

博 士 学 位 論 文

高画質映像コミュニケーションに向けた
高速光毛細管ネットワークの
システムデザイン

2014年3月

慶應義塾大学大学院

システムデザイン・マネジメント研究科

システムデザイン・マネジメント専攻

当麻 哲哉

博士學位論文要旨

高画質映像コミュニケーションに向けた 高速光毛細管ネットワークのシステムデザイン

2014年3月

慶應義塾大学大学院 システムデザイン・マネジメント研究科

システムデザイン・マネジメント専攻

当麻 哲哉

近年、医療の現場では、高精細デジタル映像を活用して患者の状態や患部の様子、病理検体の顕微鏡画像などを、現場にいない専門の医師に診断してもらったり、開腹せずに内視鏡による映像を見ながら検査や手術を行ったり、映像による迅速な分析、判断が必要となってきた。こうした環境の変化により、病院内の通信の高速化がとても重要な課題として挙げられている。

急速な高速化のニーズにより、メタルケーブルの本質的欠点であるEMI問題や信号のクロストークなどが、限界を迎えるのが間近となっており、伝送ケーブルの光化が必要な時代となってきた。医療に限らず、教育やビジネスの現場でも、あるいは一般の住宅でも同様に、屋内の高速通信が望まれていながら、現行の光ファイバーでは一般の利用者には取り扱いが難しく、簡単につなぐことができない。

本研究は、こうした屋内光通信のニーズに応えるための、「高速光毛細管ネットワーク」の実現に向けたシステムデザインの研究であり、本構想が実現すると、病院などの高度な画像技術を用いた検査や診断、緊急度の高い状況での迅速な分析、判断において、光通信が大きな威力を発揮する。一般のオフィスや住宅でも、遠隔診療や遠隔教育、エネルギーマネジメント、ゲームや映像のエンターテインメント、ライフログの記録と利活用など、様々な用途で高速通信の活用が期待される。

こうした社会の要求に応えるために、光化に当たってのひとつのハードルとなっている接続技術の研究に、本研究の多くを費やしている。一般利用者が扱い易い、柔軟で折れにくく高速な屈折率分布型プラスチック光ファイバーを、安価で簡単に接続する方式として、これまで無縁と思われてきたボールペンの製造技術を応用することを考案し、試作品を作製、映像伝送の検証を行った。

以下、本論文の構成を説明する。まず第1章で研究の背景と目的について、全体のシステムのアーキテクチャーと論文の構成を示した。続く第2章で、高画質映像を用い

リアルタイムコミュニケーションの必要性について述べたうえで、その社会的価値を示し、実現に必要な要素技術として屈折率分布型プラスチック光ファイバーの特徴をまとめた。第3章は、要素技術をインテグレートするために必要な簡単低コスト光接続技術の考案について、評価データを示しながらその特徴を説明した。第4章では、未来住宅スマートハウスを想定したミニプロトタイプを作製し、トラフィックのシミュレーションを行った。第5章は医療や医学教育への応用について、実際に医師らの協力のもとで行われた実証実験による妥当性評価結果を示した。とくに皮膚科医を中心に行われた4K高精細映像伝送実験では、肉眼で見るより優れた映像が遠隔在宅診療の可能性を示唆した。そして、第6章で考察と今後の課題を、第7章で結論を示した。

System Design of High Speed Optical Capillary Network for High Quality Video Communication

March 2014

Graduate School of System Design and Management,
Keio University

Tetsuya Toma

Recent advancement of high quality video format provides substantial improvement in medical applications. Doctors can diagnose patients using such high quality video from distance locations. This trend increases the speed of communication within hospitals. Not only medical applications, but also businesses or residential buildings are facing the similar situation of lack of high speed communication.

Because existing metal cables are insufficient to increase transmission speed without troubles from EMI or cross talk of signals, optical cables are required. However, since conventional optical fibers are fragile, they are not appropriate for consumer short-reach applications in buildings. The silica fibers also require precise alignment for fiber-to-fiber connection. Physical contact or butt-coupling connector is considered the ideal connection method, although it requires micron order precision in connection, which can only be made by a professional engineer with specialized equipment.

Lens termination of the fiber end improves the ease of use of optical fibers, since it expands and collimates output beam. A ball lens connector is a good practical solution and is called the “expanded-beam connector”. It also protects the fiber end making it more robust and less sensitive to dust and contaminations and has often been used for heavy duty applications, such as that in the military, where ease of connection under rugged conditions is required.

In this thesis, a system design of high speed in-building optical communication is discussed. Graded Index Plastic Optical Fibers were used as the most promising candidate for the in-building applications. The most significant invention in this thesis is to apply ball-point pen manufacturing processes to attach a collimator lens to a fiber end. The new connecting method improves ease of use by consumers, and the cost of manufacturing. It also gives satisfying preciseness of optical connection by its precision ball attachment processes.

目次

図目次	iv
表目次	vi
第 1 章 序論.....	1
1.1 本研究の背景と目的	2
1.2 光通信の歴史と現状	4
1.3 本研究の構成	6
1.4 本学位論文の構成	7
1.5 第 1 章のまとめ	9
第 2 章 社会的ニーズと解決のための要素技術.....	11
2.1 映像技術と通信環境の進歩	12
2.2 高精細・大画面映像による高臨場感実験	15
2.3 屋内高速通信を実現するプラスチック光ファイバー	20
2.3.1 プラスチック光ファイバー (POF)	20
2.3.2 屈折率分布型 (GI 型) プラスチック光ファイバー.....	22
2.3.3 超高速通信を可能とした全フッ素化 GI 型 POF.....	23
2.3.4 従来の通信ケーブルとの比較	24
2.4 簡単光接続のためのビーム拡大コネクタ	26
2.4.1 光ファイバーの接続方式比較	26
2.4.3 レンズ式光コネクタの現状	29
2.4.4 レンズ式光コネクタの設計要素	33
2.4.5 低コスト簡単光接続	33
2.5 第 2 章のまとめ	34
第 3 章 簡単低コスト光接続技術の研究.....	35
3.1 ボールペン技術活用による革新的光コネクタ方式.....	36
3.1.1 屋内用低コスト簡単光接続の必要性	36
3.1.2 目標とシナリオ	37
3.1.3 ボールペン型光インターコネクタの開発	41
3.1.4 実験方法と評価結果	43
3.1.5 パワーバジェットの評価	49
3.2 非圧縮映像伝送の検証	52
3.2.1 光電ハイブリッド高速映像伝送インタフェース	52
3.2.2 4K3D 非圧縮映像伝送によるシステム検証.....	53
3.2.3 ボールペン型コネクタ開発の結論	55
3.3 第 3 章のまとめ	56

第 4 章 高速光毛細管ネットワークの負荷予測	57
4.1 高速光毛細管ネットワークの実現に向けて	58
4.1.1 屋内ネットワークのアーキテクチャ	59
4.1.2 屋内ネットワークの光化	61
4.2 スマートハウスのネットワーク負荷	65
4.2.1 光通信により HEMS を進化させた HMMCS	65
4.2.2 HMMCS のプロトタイプ作成	71
4.2.3 プロトタイプによるネットワーク負荷の測定	74
4.3 高周波信号の屋内光配線	75
4.3.1 高周波信号の光化のメリット	75
4.3.2 テレビ信号光化におけるチャレンジ	77
4.4 第 4 章のまとめ	80
第 5 章 高画質映像の医療・医学教育への活用	81
5.1 医療における高速光毛細管ネットワーク	82
5.1.1 病院内ネットワークの光化	82
5.1.2 遠隔医療への応用のニーズ	85
5.2 高精細映像による遠隔診療の有効性	87
5.2.1 はじめに	87
5.2.2 方法	88
5.2.3 結果	93
5.2.4 皮膚科における高精細映像の活用可能性	101
5.2.5 高精細映像による今後の遠隔医療	103
5.3 高精細・3D映像と医学教育	105
5.4 第 5 章のまとめ	109
第 6 章 考察	111
6.1 実証実験棟「ギガハウス」の建設	112
6.2 普及に向けた今後の課題	114
6.3 高速光毛細管ネットワーク実現へのステップ	116
6.3.1 第 1 ステップ	116
6.3.2 第 2 ステップ	117
6.3.3 第 3 ステップ	118
6.4 第 6 章のまとめ	119
第 7 章 結論	121

[付録] ハイビジョン遠隔診療実験詳細	123
(付) 第1章 序論	124
1. 1 研究の背景	124
1. 2 研究の目的	125
(付) 第2章 実験と結果	126
2. 1 ビル内POF光ハイビジョンシステムの導入	126
2. 2 POF光ハイビジョン遠隔診断実験準備	147
2. 3 POF光ハイビジョン遠隔診断実験	168
(付) 第3章 考察と結論	175
参考文献	177
研究業績	182
主論文に関連する原著論文：3件	182
Full Paper 査読 国際会議 論文発表：1件	182
国際会議 論文発表：7件	182
国内会議 論文発表：1件	183
その他対外発表	184
定期刊行誌 掲載論文（共著）：2件	184
定期刊行誌 解説原稿：2件	184
Full Paper 査読 国際会議 論文発表（共著）：7件	184
国際会議 論文発表（共著）：14件	185
国際会議 招待講演：2件	186
国内会議 論文発表（共著）：18件	187
国内会議 招待講演：2件	188
国際一般講演：1件	188
国内一般講演：12件	189
その他業績	190
特許：7件	190
受賞（新製品開発導入）：10件	190
主な外部資金研究プロジェクト	190
資格	191
外部委員等	191
謝辞	193

図目次

図 1-1	屋内光毛細管ネットワークのイメージ	3
図 1-2	我が国のインターネットトラフィックの現状	5
図 1-3	本研究の二元V字開発モデル	6
図 2-1	映像技術開発の歴史	12
図 2-2	既存の各種インタフェースの伝送速度発展トレンド	13
図 2-3	今後の高画質映像の導入と通信技術トレンドの関係	14
図 2-4	大画面で楽しむ高画質映像のイメージ	15
図 2-5	等身大コミュニケーション実験	16
図 2-6	等身大コミュニケーションの機器構成図	16
図 2-7	等身大コンサート撮影&上映	17
図 2-8	ベートーベン・クラシックコンサートの3D生中継	18
図 2-9	コンサート視聴時の額と鼻頭の温度変化	18
図 2-10	鼻頭温度低下係数と精細度、次元、画面サイズの関係	19
図 2-11	GI型POFの特徴と欠点	21
図 2-12	曲げによる損失の比較データ	21
図 2-13	SI型とGI型のプラスチック光ファイバーの比較	22
図 2-14	光の波長と 100m 伝送における帯域を示したグラフ	23
図 2-15	ボールレンズの特徴	27
図 2-16	Terecasts 社のビーム拡大コネクタ―MX シリーズの例	28
図 2-17	ソニーVAIO Z に搭載された「Light Peak」	30
図 2-18	Light Peak のコネクタ―部分と光ファイバーの接続	31
図 2-19	自動車用レンズ式光コネクタ―	32
図 2-20	軸ずれによるロスと比較	32
図 3-1	一般屋内用光接続技術開発のシナリオ	40
図 3-2	ボールペン光インターコネクタの構造	41
図 3-3	一般のビーム拡大コネクタ―の構造例	42
図 3-4	試作サンプルの結合損失ヒストグラム	44
図 3-5	軸ズレによる損失の比較データ	45
図 3-6	軸方向のギャップによる損失の比較データ	46
図 3-7	ケーブル長に対するパワーペナルティと損失のデータ	48
図 3-8	トータルシステムの損失累計とパワーバジェット	49
図 3-9	光電ハイブリッドコネクタ―(試作品)	53
図 3-10	光電ハイブリッドコネクタ―を用いた検証テストのシステム構成	54
図 3-11	光電ハイブリッドコネクタ―に4K3D映像が流れたことを確認	54
図 3-12	ボールペンコネクタ技術を応用した映像伝送用コネクタ―	56
図 4-1	高速光ホームネットワークを実現するために必要なシステム	59
図 4-2	ホームネットワークの基本アーキテクチャ	60
図 4-3	FTTHで建物の壁まで光が来ているが屋内はまだ銅線である	62

図 4-4	屋内を光化することで毛細管ネットワークが構築される	62
図 4-5	屋内の高速光ネットワーク同士は既存回線でつなぐ	64
図 4-6	高速光毛細管ネットワークを持つスマートハウスのイメージ	65
図 4-7	近未来の暮らしを想像したブレインストーミング	69
図 4-8	想定されるアプリケーションのスマートハウスへの導入	70
図 4-9	スマートハウス内の高速光毛細管ネットワーク例	71
図 4-10	HMMCSネットワークの機器接続イメージ	72
図 4-11	HMMCSネットワークの接続図とデータフロー	72
図 4-12	HMMCSコンセプトの小規模プロトタイプによる検証	73
図 4-13	高周波信号を伝送する現行の同軸ケーブルとGI型POFの比較	75
図 4-14	光テレビの配線工事の施工イメージ(現状)	76
図 4-15	現行の同軸ケーブルをGI型POFで置き換え	76
図 4-16	高周波信号の光変換に必要とされる線形性	77
図 4-17	周波数とチャンネルの割り当て	78
図 4-18	高周波信号伝送のための光送信器と光受光器	79
図 4-19	チャンネル毎の電気信号入力強度とビットエラーレート	79
図 4-20	石英系光ファイバーとGI型POFのデジアナチャンネル映像比較	80
図 5-1	高速光ネットワークの医療への活用	82
図 5-2	榊原記念病院での光ネットワーク事例	84
図 5-3	大画面遠隔内科診察の風景	85
図 5-4	実験における機器接続構成図	91
図 5-5	6名の模擬患者の皮膚疾患	92
図 5-6	テレビ会議システムを使った伝送帯域による診断性評価結果	98
図 5-7	4K 実験の様子と撮影した映像例(患者 C のふくらはぎの傷)	99
図 5-8	医療映像の立体視表示方法の検討	105
図 5-9	大画面立体視スクリーンの導入	106
図 5-10	大画面立体視スクリーンの構成	107
図 5-11	高精細映像のリアルタイム中継装置	108
図 5-12	リアルタイム中継のデモンストレーション	108
図 6-1	慶應義塾大学矢上キャンパスに「ギガハウス」を建設	112
図 6-2	10 ギガネットワークを活用した 34 棟内部のシステム事例	113
図 6-3	低遅延で圧縮伝送を可能にしたIPライブで送システムの構成例	114
図 6-4	光毛細管ネットワーク導入ステップ1	116
図 6-5	光毛細管ネットワーク導入ステップ2	117
図 6-6	光毛細管ネットワーク導入ステップ3	118

表目次

表 2-1	従来の通信ケーブルとGI型POFによる高速光通信との比較	25
表 2-2	レンズ式コネクタと突き合わせ接続コネクタの比較	28
表 2-3	各社のレンズ式光コネクタ	29
表 4-1	従来のHEMSと提案するHMMCSが達成する機能の比較	66
表 4-2	想定されるアプリケーションをシナリオグラフでブレインストーミング ..	67
表 4-3	ブレインストーミング結果の行動分類ごとの整理	68
表 4-4	プロトタイプの実測トラフィックによるスマートハウス全体の予測	74
表 5-1	診療科別映像要求のヒアリング結果	94
表 5-2	映像品質による問診および身体所見の診察可能性評価結果	96
表 5-3	4K映像に対する医療従事者のコメント一覧	100

1

第1章 序論

* * * * *

医療の現場では、近年高精細映像の活用が盛んにおこなわれている。患者の状態や、患部の様子、病理検体の顕微鏡画像などを、専門の医師が診断したり、内視鏡を使い開腹せずに映像を見ながら検査や手術をしたり、様々なケースで高精細映像が活用されている。こうした高精細映像はデータサイズが大きいいため、通信速度の高速化が求められている。

高速通信として代表的な光ファイバーは、FTTHの急速な普及により、世界的に広く使用されており、21世紀は光通信の時代に入ったといえる。しかし現実には、光ファイバーによる光通信は、建物の壁までつながっているにすぎず、多くの場合は、屋内の配線はいまだにメタルケーブルによる電気通信に頼っているのが現状である。

第1章では、このような社会の背景を述べるとともに、近未来に必要とされる高画質映像を使ったコミュニケーションシステムのための屋内光ネットワークの構築に関する概論を述べ、本研究の目的を記述した。また、本論文の構成についても記載している。

* * * * *

1.1 本研究の背景と目的

現在、病院などの高度な画像技術を用いた検査や診断、緊急度の高い状況での迅速な分析、判断において、通信の高速化が必要となっており、光通信の屋内導入に大きな期待が寄せられている。金融機関のような通信のリアルタイム性がクリティカルな場面でも、同様に屋内の高速ネットワークが求められている。さらに、ビジネス経営の現場でも、遠隔地にいる相手の表情や現地の状態を細かく伝える高精細な映像、大量で緊急なデータの送信などが、重大な経営判断材料となる場面も増加しつつある。加えて、一般のオフィスや住宅でも、遠隔診療や遠隔教育、エネルギーマネジメント、ゲームや映像のエンターテインメント、ライフログの記録と利活用など、様々な用途で高速通信の活用が期待されている。

屋内通信の光化が進めば、大量のデータを建物の内部にまで送受信したり、屋内のネットワーク内で高速でリアルタイムに共有したりすることができるようになり、臨場感あふれる高画質映像を用いたコミュニケーションも可能となる。こうした屋内における高速な光通信網を、本研究では「光毛細管ネットワーク」と呼ぶことにする。図 1-1 に、本研究が目指す光毛細管ネットワークのイメージを示す。

しかし、社会の現状では、なかなか屋内の光化が思うように進んでいない。屋内の光化が進まない原因のひとつは、インフラ基盤の最大トラフィックに上限があるため、そこから分岐している末端の各利用者にまで、大量のデータを高速で流すことができない、というキャリア側の理由が存在する。たとえば、最大32分岐されるPassive Optical Network (PON) に、1Gbpsのデータが1心の光ファイバーに流れて共有される場合を考えると、単純に32分岐の各建物に平均的にデータを配るには、実効速度の期待値は約31Mbpsとなり、それ以上のデータを各戸から同時に流すとすぐに回線がパンクしてしまうからである。

インフラ基盤のさらなる高速化や、分岐方式の改善などの研究開発も、近年非常に多くの技術者や研究者が世界中で盛んに携わっているが、トラフィック量の急速な増加に追いつくのがやっとなっており、現実には利用者の多くは超高速な光通信を実体験するに至っていない。

ファイバー・トゥ・ザ・ホーム(FTTH)によるインフラ基盤の光ファイバーが、多くの建物の壁まで配線されているが、屋内ではイーサネットのツイストペア(UTP: Unshielded Twisted Pair)ケーブルや、High-Definition Multimedia Interface(HDMI)、Universal Serial Bus(USB)などのインタフェース用ケーブルなど、主流はいまだにメタル線(銅線)となっているからである。

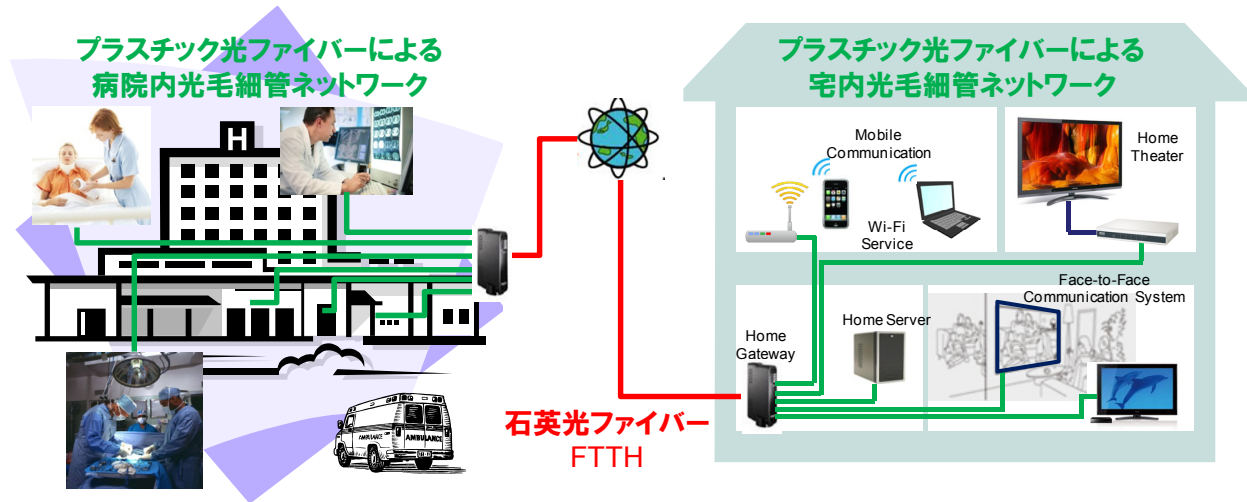


図 1-1 屋内光毛細管ネットワークのイメージ

屋内通信の光化がなかなか進まないもっと大きな理由は、現在の石英系光ファイバーが、材料面や使い易さの点で、屋内用途に適しているとは必ずしもいえないためである。このことについては、第2章から第3章にかけて、詳しく触れていくが、本研究は、このような屋内の高速通信を光ファイバーによって実現するための、ネットワークのシステムデザインに関するものである。

具体的には本研究は、高画質映像によるリアルタイムコミュニケーションを可能とした「高速光毛細管ネットワーク」の構築を目指し、それに必要な要素技術のインテグレーションと、一般利用者でも簡単に接続でき、信頼性の高い通信品質が得られるコネクタ技術の発明、そしてそのシステムを医療に応用して、社会的な価値を実証しようとすることを目的としている。

1.2 光通信の歴史と現状

ここで、光通信の社会的な背景として、これまでの光通信の歴史について簡単に記述しておく。

光ファイバーの誕生よりはるかにさかのぼり、太古の昔に、人類が小高い丘の上から火や煙で遠くにいる仲間に合図を送ったのが、光通信のスタートであろう。18世紀にフランスのClaude Chappeによって発明された腕木通信(semaphore)は、ある間隔で建てられた通信塔の上にオペレータが登り、備えられた腕木を動かすことで視覚情報の合図を送り、これを次の通信塔のオペレータが望遠鏡で読み取り、次から次へとリレー式に伝達していく方法である。テレグラフ(telegraph)とも呼ばれていた[1]。

1930年代になって、アメリカのAT&Tに勤めるエンジニア、Norman R. Frenchが、パイプの中に光を通して通信するアイデアを発明した[2]。ある意味、これが光ファイバーの原型ともいえるが、その後かなり経って、1960年代のレーザーの発明に至るまで、あまり真剣に検討されなかった。

世界初のレーザーを発明したのは、Theodore Maimanという人物で、1962年のことである。これを機に、光通信への期待が高まり、多くの研究者が光通信の研究を始めた。当時は内視鏡のガラスが最も透明だと言われたが、それでも3mで光の強度が半減、20mで100分の一に減衰してしまった。多くの研究者は、光ファイバーをあきらめて、ライトパイプや空中伝送など、空気中を伝搬する方法に逃げていた。

そんな最中に、イギリスのSTL(Standard Telecommunication Laboratory)で勤務していた二人の若い研究者、Charles KaoとGeorge Hockhamは、ガラスをいかに透明にするか、というアプローチではなく、ガラスの基礎的な透明性の限界を調べる研究を行い、透明性を損なうものは、ガラスそのものではなく、それに含有する不純物にあると主張し、長距離伝送の可能性を示す論文を1966年に発表した[3]。これをきっかけに、光ファイバーの研究が一気に花開いたのである。2009年、Charles Kaoは、ファイバー内の光伝達に関する業績を称えられて、ノーベル物理学賞を受賞した。

Kaoらの最初の論文からわずか4年後の1970年、Kaoらの理論的予測を超える超高透明な材料が、コーニング社のKapron, Keck, Maurerによって発明され、これとほぼ同時に、ベル研究所の林らによって達成された半導体レーザーの室温連続発振がきっかけとなり、現在の光ファイバーのスタートとなった[4,5]。

本研究で用いた屈折率分布型プラスチック光ファイバーは、小池らによって1980年代に発明され、2000年に旭硝子より実用化されたものである[6,7,8]。ガラスを材料とする光ファイバーに比べて、安価で作れる可能性があり、柔軟で折れにくく扱い易いことが

特徴であるが、長距離通信には向かない。短距離で素人でも扱い易い場面を考慮し、屋内配線に活用しようとするのが本研究である。詳細は2.3節にて述べる。

このようにして発展してきた光通信技術を用いて、FTTHのブロードバンドサービスが急速に普及した。現在、FTTHの契約数は約2,400万件、DSLや3.9G携帯まで含むと、ブロードバンド総契約数は7,382万件(2013年9月末)に達している[9,10]。高速通信インフラの整備も、2013年末の時点ではほぼ全国に普及し、サービスエリア内の利用可能世帯数を総世帯数で除した基盤整備率は、超高速ブロードバンドで99.4%、DSLも加えたブロードバンド全体では、すでに100%に達した[11]。

この結果、インターネットの利用者は、2012年末で9,652万人、人口普及率で79.5%となっており、微増ながら最近でもまだ上昇を続けている[12]。こうしたインフラの普及に加えて、インターネット上を流通するコンテンツも、ブロードバンドの利点を生かした動画再生などのサイズの大きいデータのダウンロードが急増している。図 1-2 は、総務省の試算によるトラフィックの推移で、2013年5月の総ダウンロードトラフィックは、推定で約2.3 Tbpsにもなり、前年同月比31.5%増と、その増加はとどまるところを知らない[13]。こうした状況は日本に限らず、世界各国で起こっており、シスコ社の試算によると、2012年の世界のIPTraフィック総量は年間523 EB(エクサバイト=10億ギガバイト)で、2017年には年間1.4 ZB(ゼタバイト=1兆ギガバイト)に達すると予測している[14]。

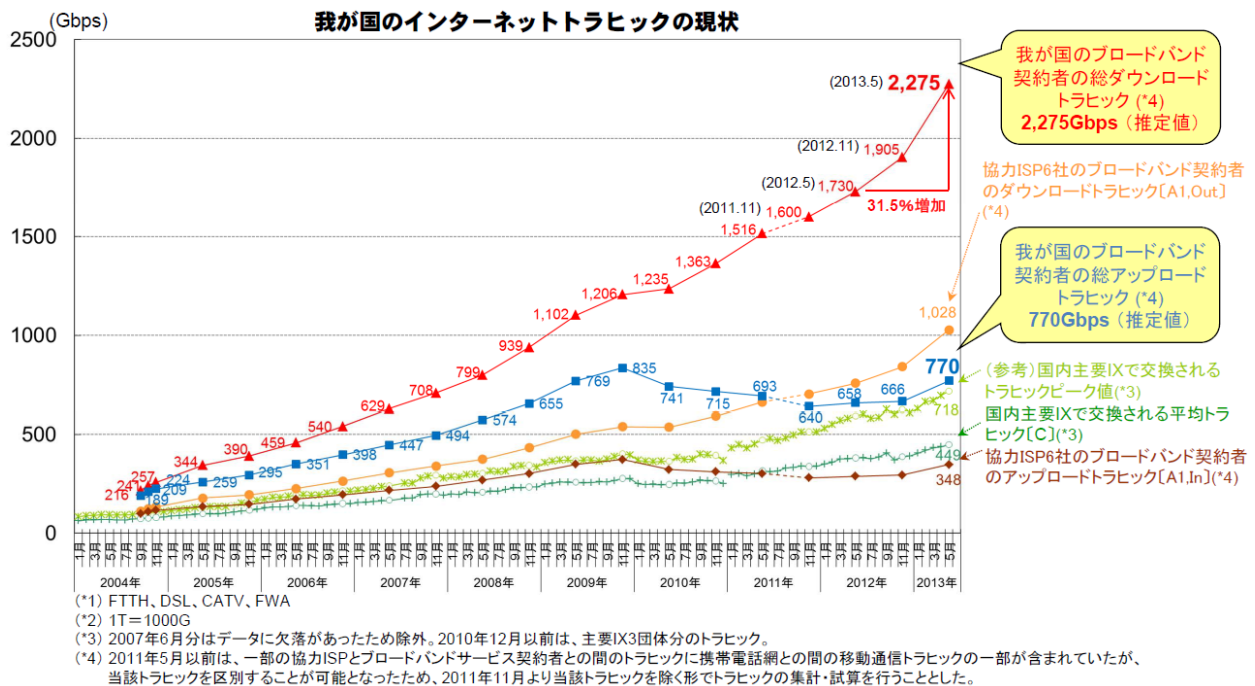


図 1-2 我が国のインターネットトラフィックの現状

(総務省公表:2013年5月の集計結果より)[13]

1.3 本研究の構成

本研究のシステム全体のアーキテクチャを、二元V字開発モデル(Dual Vee Model)で表したのが、図 1-3 である。垂直方向の「アーキテクチャのV字」は、社会的要求を具体的な価値のあるソリューションにつなげるために、アーキテクチャ分解を行って、個々の要素技術に落とし込み、それらをシステムに統合していく過程を示している。水平方向の「エンティティのV字」は、それぞれのレベルでのシステムやサブシステムを開発していく実体のある活動を表現している。

V字の左側は、社会の要求を定義し、複雑な要素の絡み合いを整理して、必要とされる要素技術へ分解していく部分であり、V字の右側は、それらの要素を統合しながら達成するシステムに向けて、検証と妥当性確認を取りながら組み上げていく部分である。本研究では、左側を背景とし、様々な技術開発や実証実験、シミュレーションなどを通して、右側のシステムの実現に向けて行われた研究である。

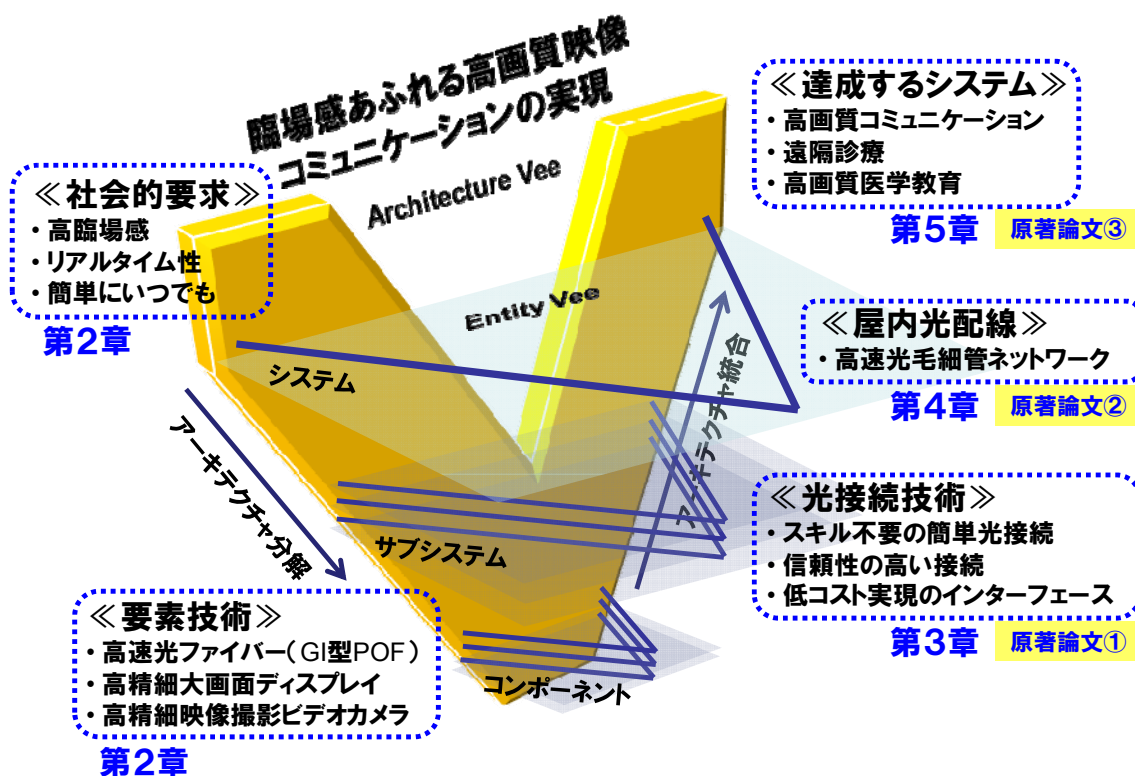


図 1-3 本研究の二元V字開発モデル

1.4 本学位論文の構成

本研究の全体は、高画質コミュニケーションを達成するための屋内光ネットワークに関するものである。IT技術の発展と映像技術の進歩により、臨場感あふれる高画質な映像製作ができるようになってきた。こうした映像をコミュニケーションに使うことを考えた場合、実現すれば、あたかも目の前にいるような臨場感を伝えることができ、離れた場所にいながら一緒にいるような安心・安全、心の安らぎを得ることができるシステムとなることが想像される。

ところが、現実のところ、今の技術でできるコミュニケーション(テレビ会議システムやSkypeなど)では、映像のクオリティと伝送遅延のないリアルタイムな通信が、トレードオフの関係にあり、高画質になればなるほど遅延による違和感が大きくなり、逆に低遅延でリアルタイムなコミュニケーションを達成するには、映像の画質をかなり落とさなければならぬのが現実である。遅延が発生するのは、単純な通信ケーブルの長さの問題や、中継点での信号処理の問題など、物理的な距離から来る課題もあるが、最も大きな影響は映像の圧縮処理にある。

通信の帯域に制限があるために、高画質な映像は圧縮して送らなければならない。このときの処理にはいろいろな手段があるが、最も効率的で広く一般に使われている方法は、フレーム間の信号の差分を取って圧縮する方式で、バッファーするフレーム数が多ければ多いほど、高画質な映像を小さく圧縮することが可能となる。つまり、高画質にしようとするほど、複数のフレームが届くのを待って、処理をすることになるために、それだけの時間的ロスを生じているのである。

低遅延で高画質の映像が伝送できれば、ステークホルダーの要求を満たした様々な用途が考えられ、その応用例のひとつとして、医療への活用がある。本研究では、杉並区医師会や、慶應義塾大学医学部の協力を得ながら、実証実験を行い、システムの妥当性の評価を行った。詳細は第5章にて述べる。

こうしたコミュニケーションの要求を満足させるためには、まずは高帯域が取れる高速通信システムが必要である。本研究では、基幹回線となる通信インフラ基盤はスコープ外とし、建物の内部に毛細管のように張り巡らされた高速ネットワークをスコープとし、それを用いた高画質映像コミュニケーションの実現を検討した。こうした建物内が高速通信網を、本論文では「高速光毛細管ネットワーク」と称する。

以下に、本論文の各章の構成について記載する。

(1) 序論

第1章の序論では、この研究の背景となった社会のニーズと、それを実現しようといわれてきた研究の歴史、そして本研究と論文の構成について述べる。

(2) 社会的ニーズと解決のための要素技術

第2章では、高画質映像を用いたリアルタイムコミュニケーションのニーズについて述べたうえで、その実現に必要な要素技術で、本研究のコアコンピテンシーとなる、屈折率分布型(GI型)プラスチック光ファイバー(POF)の特徴を解説し、そのネットワーク化の社会的価値をしめす。

(3) 簡単低コスト光接続技術の研究

続く第3章は、要素技術をインテグレートするために必要な簡単低コスト光接続技術として、これまでにない新しい光コネクタを提案し、試作品の評価データを示しながらその特徴を説明する。

屋内の光接続を実現するには、光接続の技術者でなくても、一般消費者がラフな扱いでしっかり接続できるインタフェースが必要である。現在の石英系光ファイバーは、高速長距離伝送には適しているものの、扱いが難しくスキルを必要とする問題があった。第2章で述べるプラスチック光ファイバーは、フレキシブルで折れにくいのだが、ファイバー同士の結合の場合は、ファイバー端面の物理的接触のための精度が要求される。また、端面にわずかなホコリやキズがあるだけで、接続不良が生じてしまうことが、一般消費者が扱う上での致命的な欠点であった。

本研究では、ファイバー同士の物理的接触をしなくてもしっかりとつながるコリメータレンズ付きコネクタを、従来の発想を大きく変える新たな組み立て方式を生み出し、低コストで組み立てが簡単な製造方法で実現した。

(4) 高速光毛細管ネットワークの概念設計

第4章では、本研究が提案する「高速光毛細管ネットワーク」の構想を示すために、未来の住宅「スマートハウス」の中で繰り広げられる生活シーンを想像し、具体的なアプリケーションを想定したミニプロトタイプを作製して実測したビットレートをもとに、スマートハウスのトラヒック予測実験を行った。また、テレビの高周波信号を波のまま伝搬させるRoF(Radio over Fiber)についても述べる。

(5) 高画質映像の医療・医学教育への応用

第5章では、医療や医学教育への応用について、実際に医師らの協力を得ながら、

超高精細映像を用いた遠隔診療の実証実験を実施し、システムの妥当性評価の報告を行う。

(6) 考察

そして第6章で全体の考察を行い、本技術が将来に期待されるところを議論するとともに、実現に向けた今後の課題について述べる。

(7) 結論

第7章で本研究の結論を示す。

(8) 付録

第5章の中で行われた杉並区医師会の協力で行われたハイビジョン映像伝送による疑似遠隔診断の実証実験に関して、当時(2010年)の報告書を添付することにより、実験内容の詳細を記録しておく。

また巻末には、参考文献、研究業績を参考資料として加え全体の構成とする。

1.5 第1章のまとめ

以上のように、本章では以下のことについて述べてきた。

1. 本研究の背景と目的
2. 光通信の歴史と現状
3. 本研究の構成
4. 本学位論文の構成

2

第2章 社会的ニーズと解決のための要素技術

* * * * *

第2章では、近年の映像技術の急速な発展に触れながら、屋内ネットワークの光化が必要とされる時代に突入してきたことを述べる。病院やオフィス、住宅などで、高精細・大画面のディスプレイが必要とされてきており、屋内で取り扱いが容易な光通信ケーブルとして、屈折率分布型プラスチック光ファイバー(GI型POF)が最有力である。

しかし、光ファイバーの接続はメタルケーブルのように簡単ではなく、端面のキズ、ホコリに注意を払い、精度のよい接続をするスキルが求められる。また、安価で接続ができなければ一般の利用者が屋内で使用するに至らない。本章では、このあたりの現状を整理し、求められるニーズとの乖離、解決すべき点について述べる。

* * * * *

2.1 映像技術と通信環境の進歩

近年、映像技術は目覚ましい進歩を遂げてきている。図 2-1 は、アナログ時代から、ハイビジョンの現代、そして今後のスーパーハイビジョン映像への変化と、その中に使われている要素技術、その結果として増加していくデータ伝送速度の変遷を見た図である[1]。

この図からもわかるとおり、現在標準で使われているハイビジョン映像は、1Gbpsから10Gbpsの速度が要求されており、数年後には40Gbpsの必要性があることがわかる。たとえば現在のテレビ放送であるフルハイビジョン規格では、8ビットカラー、毎秒60フレームのインターレース(2フレームで1画像)、200万画素(ヨコ1920ピクセル×タテ1080ピクセル)であり、毎秒1.5Gbpsの伝送速度を必要としている。

DVDなどでは、毎秒60フレームのプログレッシブ(1フレームで画像全体のすべてを送る方式で、走査線1本おきに送るインターレースの2倍の情報量となる)で、3Gbpsを出力している。3D映像になると、フル画像で左右の映像を同時に送るデュアルパッキングであれば、6Gbpsというように、企画がひとつずつ上級になるたびに2倍から数倍の情報量増加となる。

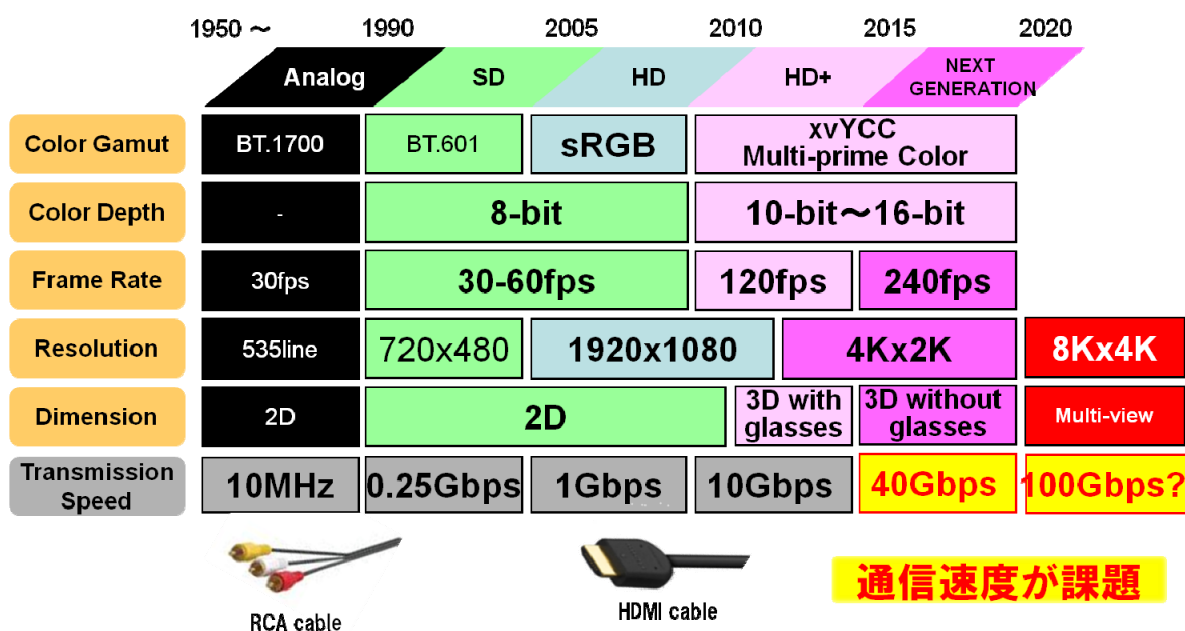


図 2-1 映像技術開発の歴史

佐藤らの文献 [1] をもとに作成

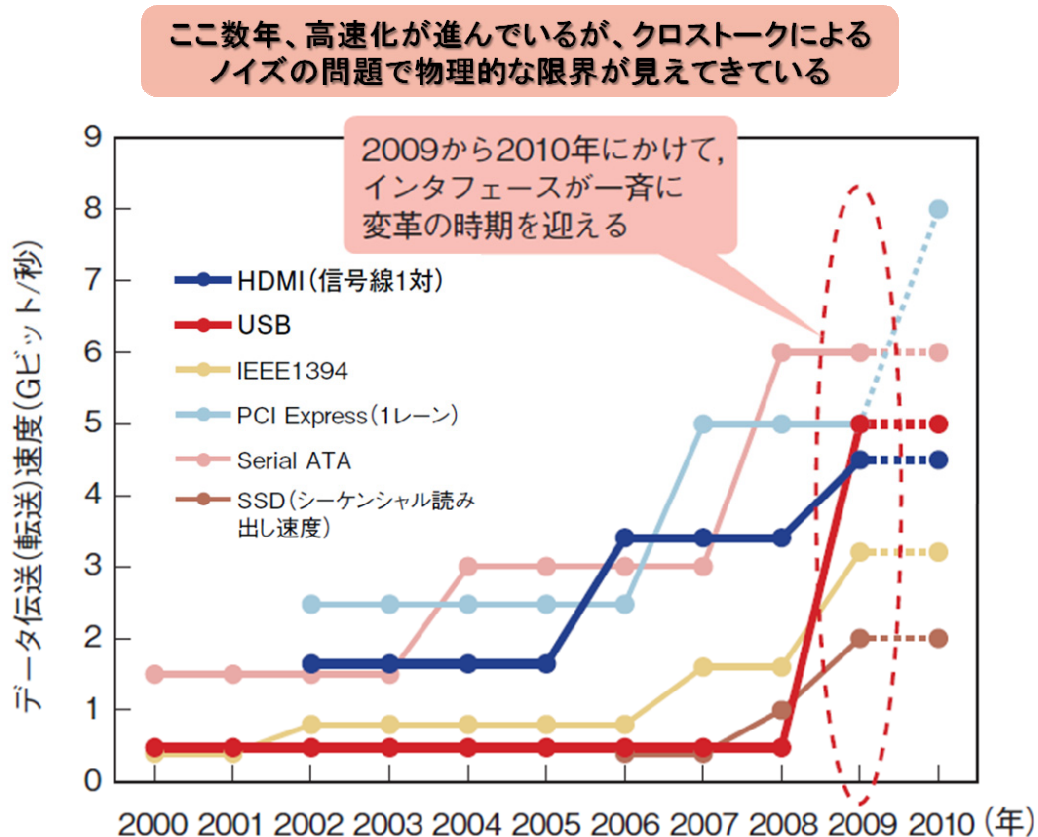


図 2-2 既存の各種インタフェースの伝送速度発展トレンド

日経エレクトロニクス(2009.2.23) [2]より抜粋

一方で、こうしたデータを送るためのインタフェースの開発は、図 2-2 のように、年々進歩してきている[2]。しかし、2倍、4倍、8倍と進歩している映像技術に比べて、インタフェースの伝送速度発展は、指数関数的な伸びは、これ以上期待できず、近年は1次直線的な進歩にとどまっており、映像の発展スピードに追いついていない。

さらに信号が流れるときに発生する電磁波や、信号のクロストークなどが、高速通信になればなるほど発生しやすくなり、ケーブルを太くしなければならないなど、細径化、軽量化を目指す時代の流れと逆行してしまう状態にあり、10Gbpsが限界ではないかとも言われている。

2013年度に発表された、HDMI 2.0で、4Kシネマの毎秒24フレームか、インターレースの30フレームが伝送できるようになったが、この伝送速度が約10Gbpsである。このあと、さらなる改良で多少伸びたとしても、映像の爆発的発展には遠く及ばないことが容易に推察できている。

つまり、映像の進歩と、インタフェースの進歩を重ね合わせてみると、図 2-3 のようになり、間もなく銅線では伝送できないレベルにまで高画質化することが予測されている。このことは、映像伝送の光化の必要性を、改めて明らかにするものでもある。

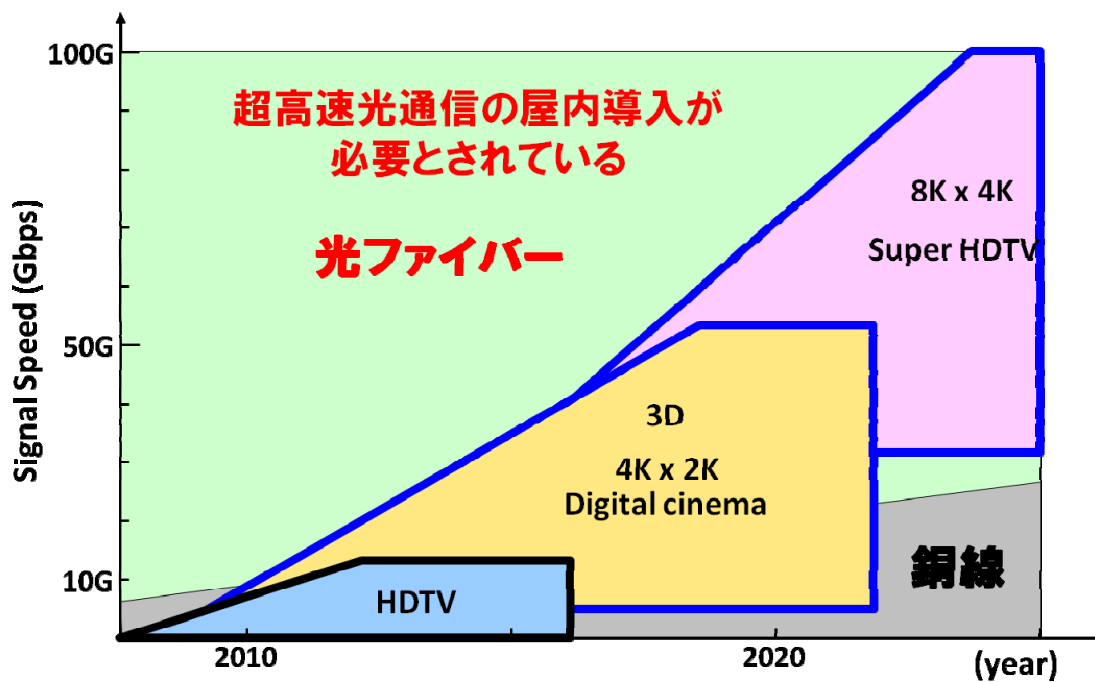


図 2-3 今後の高画質映像の導入と通信技術トレンドの関係

2.2 高精細・大画面映像による高臨場感実験

フルハイビジョンや、それ以上に高画質な映像を、大画面に映し出して楽しむ、次世代のエンターテインメント(図 2-4)が盛んに提案されている。家庭で購入されるテレビのサイズも、年々大きいものが主流になってきており、現在のところ、32～40インチ程度が売れ筋となっている。

ところが、大画面に映し出すと、高精細な映像も拡大されて画素が目視できるほどに大きくなり、解像度が落ちてしまうのが真相である。現在の映像技術、たとえばフルハイビジョンでは、住宅のリビングのような2～3メートルの距離からの視聴では、40インチクラスがちょうど良く、未来像に描かれるような窓や壁のような大画面では、ハイビジョンでは見るに堪えないほど画質が落ちてしまうのである。4Kや8Kのような、さらに高精細なスーパーハイビジョンが求められている理由はそこにあり、精細度はこれで十分、というレベルは、画面サイズに直接的な影響を及ぼされ変化してしまう。



図 2-4 大画面で楽しむ高画質映像のイメージ

コミュニケーションシステムとしての究極の画面サイズは、相手の人物が等身大に映し出されるサイズであると考えることができる。2010年に、我々のグループでは、慶應義塾大学日吉キャンパス協生館藤原洋記念ホールにおいて、数10km離れた東京お台場の科学未来館からリアルタイムライブ中継を行い、ホールの舞台に設置した特製の150インチリアプロジェクションスクリーンに、等身大で映し出すコミュニケーション実験を行った(図 2-5、システム構成を図 2-6 に示す)。

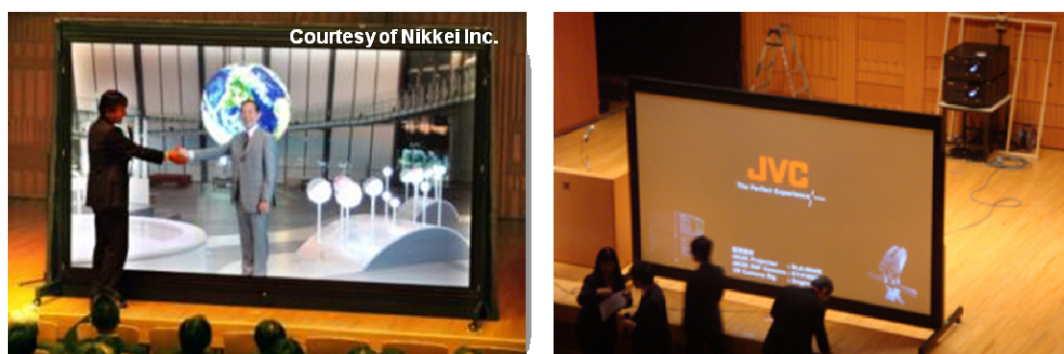


図 2-5 等身大コミュニケーション実験
(2010年、写真左は日本経済新聞社提供)

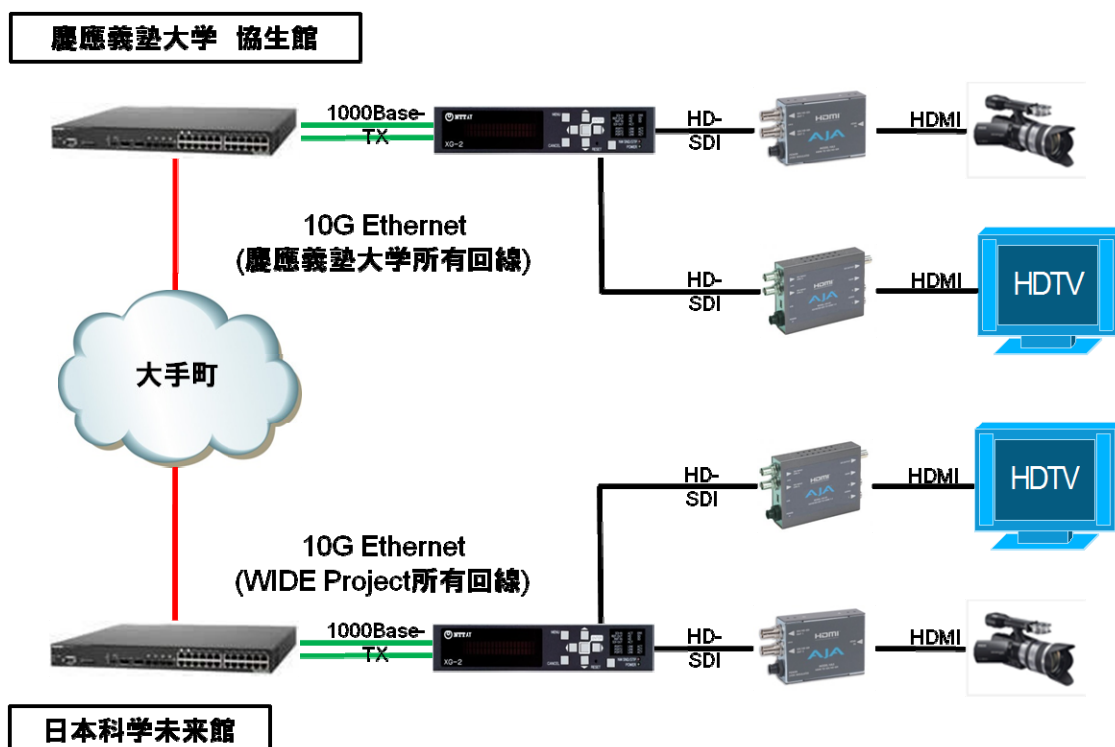


図 2-6 等身大コミュニケーションの機器構成図



図 2-7 等身大コンサート撮影&上映

2011年には等身大3Dコンサート撮影実験を行った。180インチのリアプロジェクションスクリーンに映し出したときに、等身大になるように計算された距離と画角で撮影を行い、そのスクリーンで再生した等身大映像が、高い臨場感を与えることを体験的に理解した実験である(図 2-7)。

さらに、臨場感はサイズだけでなく、その場の雰囲気を実タイムで伝えることでも高まることを、2010年大みそかのベートーベン・クラシックコンサート3D生中継で実証した(図 2-8)。180インチの大画面と3D撮影に加えて、ライブで生中継することによって、あたかも現場の空気までもが伝わっているかのごとく、上映している遠隔地においても現場の興奮を共有することができ、エンディングでは長時間にわたる拍手喝さいが遠隔地でも行われたことを観察した。

このときに、高臨場感映像を見た視聴者に、どのような生体反応が出るのかを調べるため、被験者の脳波、心電の測定のほかに、合わせて被験者の顔面温度をサーモグラフィで撮影するテストを行ってみた。その結果、臨場感のある映像が流れると、被験者の鼻頭温度が低下する現象を捉えた(図 2-9) [3]。一般に急激なストレスを与えると、鼻頭温度が低下するという報告がある[4,5,6,7]。しかし、被験者へのインタビューでは、ネガティブなストレスは感じておらず、むしろ圧倒的な臨場感に感動していたことから、鼻頭温度の低下は、ストレスだけでなく、高い臨場感を味わったときにも生じる可能性があることを示すことができた。



図 2-8 ベートーベン・クラシックコンサートの3D生中継

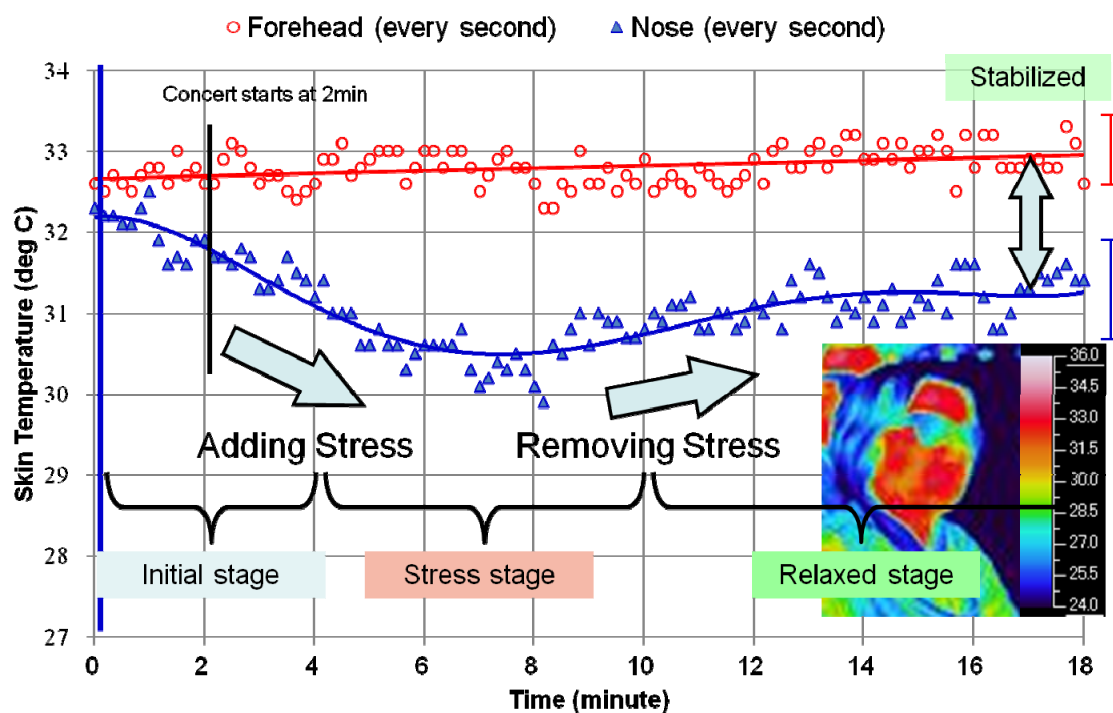


図 2-9 コンサート視聴時の額と鼻頭の温度変化

この臨場感と鼻頭温度低下の現象を、さらに明らかにする追加実験を行った。画面サイズ、精細度、映像の次元(2Dか3Dか)をそれぞれ2水準振った実験計画を立て、組み合わせ条件下での映像視聴による鼻頭温度変化を計測した。その結果、大画面、高精細、3Dという臨場感の高い組み合わせが、他の条件と比べて明らかに鼻頭温度

変化が急激であるというデータを得た(図 2-10) [8]。

したがって、本研究が求めている臨場感あふれる高画質コミュニケーションを実現するためには、次の3つの要素技術をインテグレートさせる必要がある。

1. 高画質撮像技術(4Kカメラなど)
2. 高画質表示技術(4Kディスプレイなど)
3. 高速通信技術(光ファイバーなど)

いずれの要素も伝送するデータサイズを増加させるものであり、離れた場所の様子を、臨場感を持って伝えるためには、高速な光通信が欠かせなくなってくる。第3章では、これらを組み合わせる上で重要となる光コネクタ技術についての研究を述べ、第4章で組み合わせたネットワーク環境の構築を、そして第5章でその環境を用いたアプリケーションへの応用、とくに医療への応用について述べる。

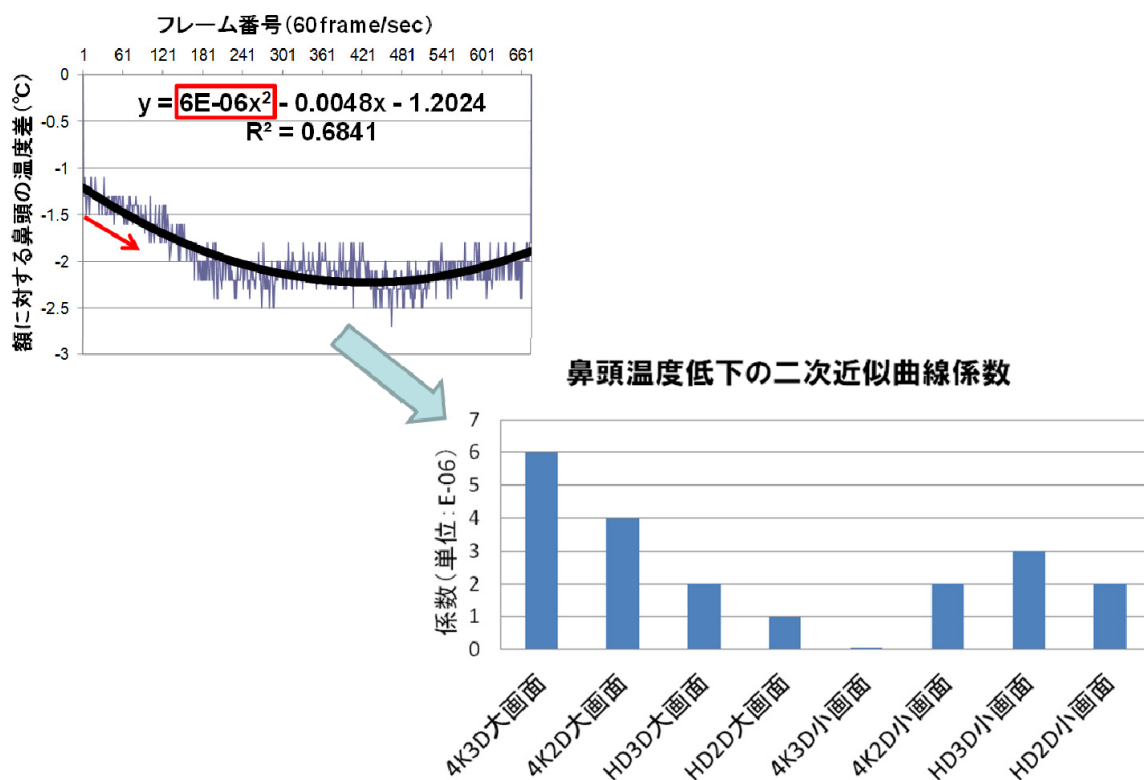


図 2-10 鼻頭温度低下係数と精細度、次元、画面サイズの関係

2.3 屋内高速通信を実現するプラスチック光ファイバー

臨場感あるコミュニケーションを行うための屋内光配線の実現には、光ファイバーが欠かせない要素である。この節では、プラスチック光ファイバーの特徴について述べる。

2.3.1 プラスチック光ファイバー(POF)

一般的に光ファイバーというと、光の伝搬媒体の材料として、石英ガラスを使用したものが代表的である。長距離通信インフラをはじめ、データセンター内の高速ネットワークなどに使われている。

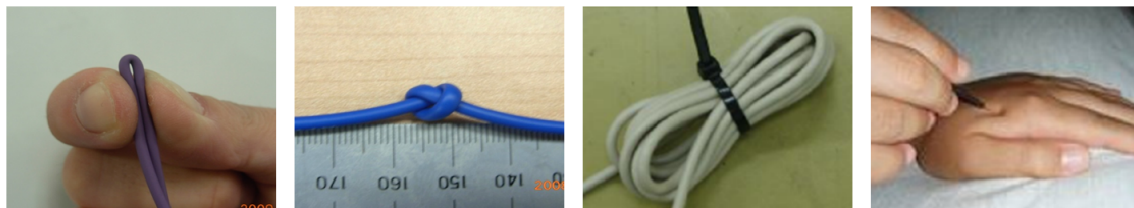
高速ネットワークを建物内に張り巡らすことを考えた場合、石英系ファイバーにはいくつかの欠点がある。まずは折り曲げに弱いこと、切断・破断面から出る破片が危険であること、接続に高精度が要求されることなどである。

これらの欠点を補うべく開発されたのが、プラスチック光ファイバー(Plastic Optical Fiber、POF)である。主にポリメチルメタクリレート(PMMA)などのアクリル樹脂が素材として使われている。樹脂の持つ柔軟性によって、しなやかで折り曲げに強いのが一番の特徴である。また材料が安価なために、大口径で製造でき、接続精度が石英ほど厳しくなく簡単につながることも、切断しても鋭利な破片が出ることなく、一般消費者が安全に使用できることも、本研究に求められる重要な長所である。

とくに後述する全フッ素化屈折率分布型プラスチック光ファイバー(全フッ素化GI型POF)においては、これらの物理特性に加えて、石英を上回る超高速伝送が可能であることから、図 2-11 に示すように、様々な一般屋内用途に適した特徴を有している。

図 2-12 は、折り曲げに対する強さを評価するために、全フッ素化GI型POFと石英系マルチモード光ファイバー(MMF)の曲げ損失を比較したデータである。評価方法の詳細は、3.2.4項で後述することにして、ここでは評価結果のデータだけを見せる。

石英系ファイバーにおいては、曲げ半径30mmの緩いカーブの状態においても若干の損失が見られ、そこから曲げ半径を小さくしていくにつれて、伝送損失が急激に大きくなっていくが、全フッ素化GI型POFの場合は、曲げ半径3.5mmに至っても全く損失が見られなかった。病院やオフィス、住宅などのような環境で、配線場所によってコーナーを這わせるために折り曲げたり、余ったケーブルを束ねたり、機械や家具等が乗って踏みつぶされたりしても損失が少ないので期待される。



《特徴》

- 石英系と同等の高速通信
- 破断面から破片が出ず安全
- 柔らかく折り曲げても断線しない
- 連続大量生産で低価格化可能

《欠点》

- × 柔らかく端面がキズつきやすい
- × 少量生産が困難で需要が必要
- × 静電気がホコリを引き寄せやすい
- × 実績が少なく採用への障壁が高い

図 2-11 GI型POFの特徴と欠点

全フッ素化GI型POF(屈折率分布型プラスチック光ファイバー)は、その物理的柔軟性によって、石英系ファイバーにはない折り曲げに対する耐久性を有し、破断による危険性もないため、一般家庭の消費者が取り扱い易い素材である半面、キズやホコリに対しては、石英系ファイバー以上に注意が必要である。

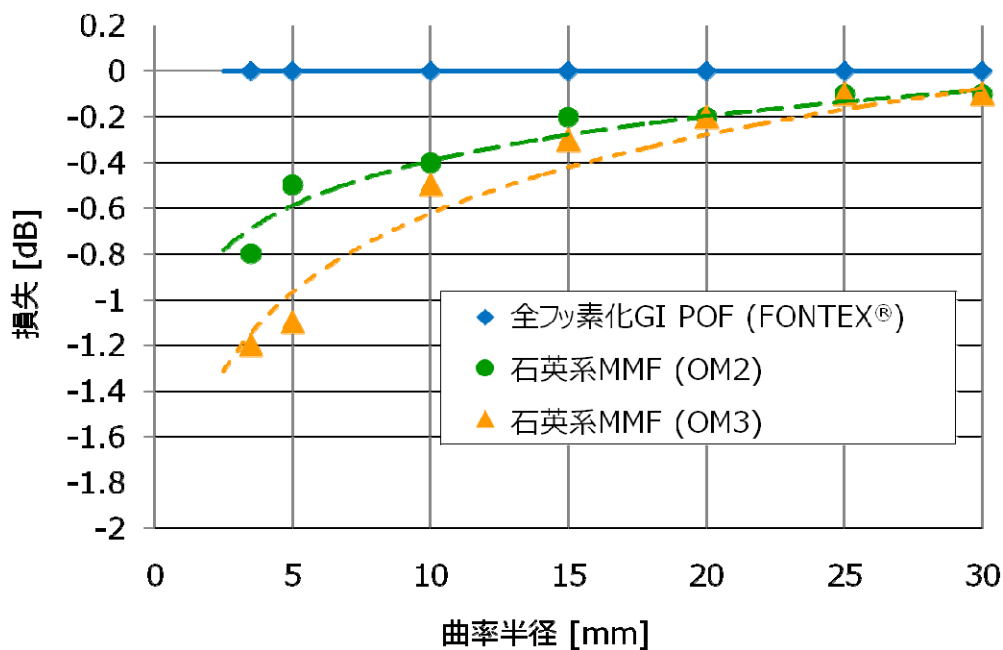


図 2-12 曲げによる損失の比較データ

ファイバーを所定の半径で曲げたときの光損失を、従来の石英系MMFと全フッ素化GI型POFで比較したデータ。POFの曲げ損失は非常に小さい。

2.3.2 屈折率分布型(GI型)プラスチック光ファイバー

このように柔軟でしなやかなプラスチック光ファイバーとして、一般的には、コアとクラッドの屈折率差による界面での全反射を利用して光を伝搬する「ステップインデックス型プラスチック光ファイバー(SI型POF)」が主流となっている。PMMAを主要材料とした安価な素材で、製造も容易なため、多くのメーカーで生産されており、日本ではオーディオケーブルなどに、ヨーロッパでは車載機器類の通信用や一般家庭のインターネット利用に、広く使われている。

しかし、光の伝搬が全反射を利用しているがゆえに、入射角度が異なる多くのモードに分散した入力があった場合に、中心を直進して進む光と、界面で反射しながら進む光との間に行路差が生じる。媒質中の光の速度はその媒質の屈折率に反比例するが、屈折率が一定の媒質中を進む場合、速度も一定であるため、行路差がそのまま端面への到達速度の差となって出てくる。この結果、入力したパルスがブロードな出力になってしまう。この様子を図 2-13 に示す。

一方、この欠点を解消するために、小池らによって発明され、安価で製造ができるように実用化されたのが、屈折率分布型(Graded index、GI型)の光ファイバーである[9]。小池らのGI型POFは、情報通信分野の国際標準会議IECにおいて規格制定されている(IEC60793-2-40 Ed.2.0) [10]。

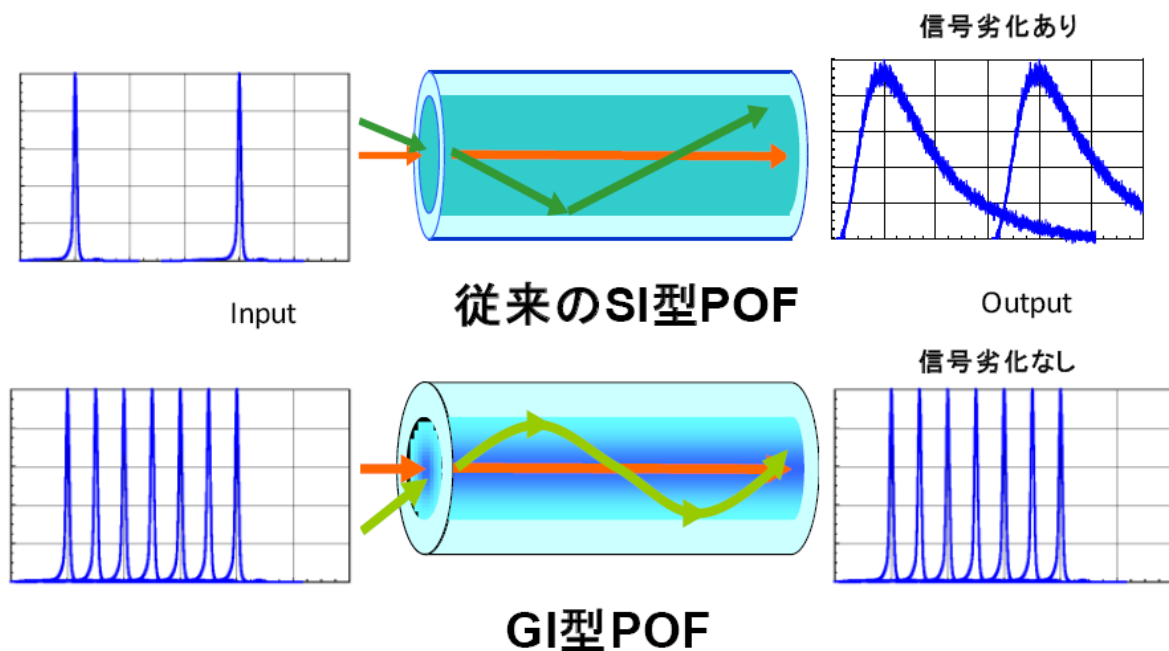


図 2-13 SI型とGI型のプラスチック光ファイバーの比較
(SI型:ステップインデックス型、GI型:屈折率分布型)

GI型光ファイバーは、プラスチックに限らずガラスでも存在するが、コアの屈折率が半径方向に連続的に変化し、中心から離れるに従って屈折率が小さくなるように設計されており、光が反射することなく徐々に屈折しながらカーブを描いて進む。光が中心部分を通るときには屈折率が高いため光の速度が遅くなっており、逆に中心から離れた場所を通っているときには屈折率が低いため光の速度が速くなっている。したがって、屈折率分布を理想的に設計すれば、中心を直進する光と、コア内をカーブしながら進む光とが、終端に同じ速度で到達することが可能になる。

図 2-13 が示す通り、GI型光ファイバーは光の経路長の差に関係なく、ファイバーの端から端までの到達時間が一定となり、パルスの形状がブロードに崩れることがない。したがってパルス間隔を狭めた信号であっても、終端で識別できる信号として取り出すことができ、SI型に比べて、はるかに高速な伝送ができる。

2.3.3 超高速通信を可能とした全フッ素化GI型POF

ポリメチルメタクリレート(PMMA)をベースとしたGI型POFの研究は、1970年代から進められ、理想的な屈折率分布の形成方法がいくつか考案されたが、基本となる材料のPMMAは、可視光領域に対しての透明度は高いものの、通信で用いられる近赤外領域の光源に対しては伝送損失が大きいことが知られていた。損失の原因は、ポリマーのC-H結合の吸収にあり、これはPMMAが持つ本質的な問題であった。

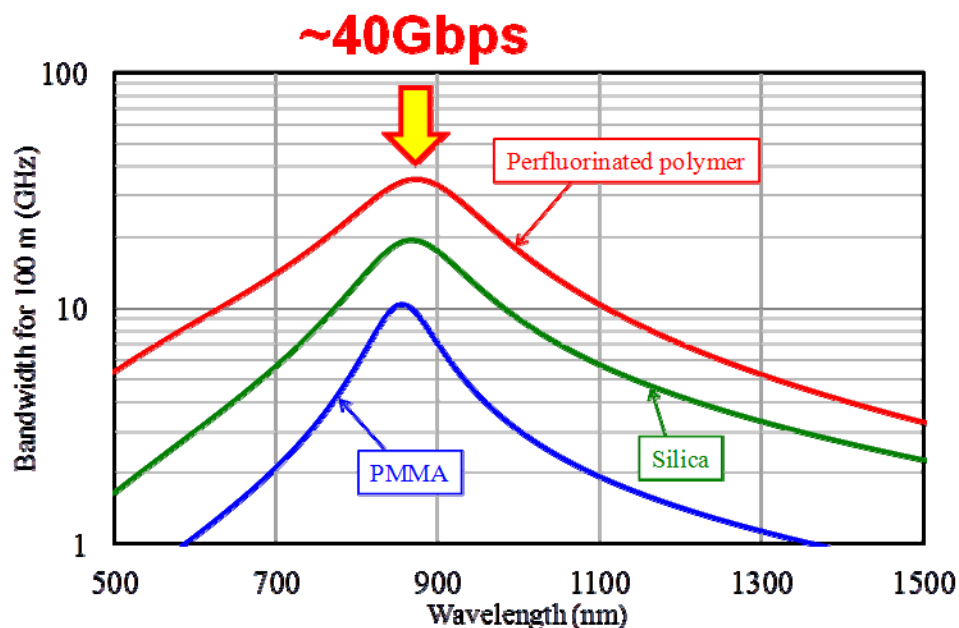


図 2-14 光の波長と 100m 伝送における帯域を示したグラフ

従来の石英系光ファイバー(緑線)と一般のPMMA材料のPOF(青線)を、全フッ素化GI型POF(赤線)と比較したもの

これを解消するために、1990年代からC-H結合の重水素化や、フッ素に置換する研究が多くなされ、その中で最も吸収損失が少なく、さらに加えて耐熱分解性や耐水性を向上させた素材として、CYTOP®という非晶性全フッ素化ポリマー、ポリパーフルオロブテニルビニルエーテル (PPFBVE) が開発された。そしてCYTOP®を用いた全フッ素化GI型POFが小池らによって開発され[11]、今日もっとも低損失で高速なデータ伝送ができる光ファイバーとして、旭硝子株式会社と、クロミス・ファイバー・オプティクス社(米国)から製品化されている。

この特徴に加えて、さらに全フッ素化GI型POFは、単に低吸収損失だけでなく、材料分散がガラスよりもさらに小さいことから、図 2-14 が示すように、100m伝送においては、石英系マルチモード光ファイバーよりも高速な40Gbpsに迫る高速通信が可能となるデータが得られている[12]。本研究は、このGI型POFを用いて行われたものである。

2.3.4 従来の通信ケーブルとの比較

このように、全フッ素化GI型POFは、超高速通信が可能で、柔軟で折れにくく住宅内への敷設が容易である。さらに人体に突き刺さる危険性がなく、一般消費者が安全に使用できる光ファイバーである。即ちGI型POFは、今後データ量の増大が予想される住宅内の通信配線に最適な伝送媒体である。

表 2-1 は、GI型POFの利点を、現行の他の通信手段と比較したものである。LANのUTPケーブルに関しては、1Gbpsを超える伝送を満足する特性を得るためには、電磁ノイズ対策が必要で、配線場所や配線状態、端末加工方法などに多くの制約がある。テレビ信号伝送の同軸ケーブルは太くて硬いため、既築住宅に工事配線する場合、配線に自由度がなく仕上りの見栄えが悪くなってしまう。

また最近では、ホームネットワークに無線LANが簡易な解決策として多く使用されているが、部屋間や上下階との接続の不確実性、盗聴などセキュリティに対する不安、今後の更なる高速化への対応が困難など、多くの問題点があるのも事実である。光通信であれば、石英でもPOFでも、接続の確実性、セキュリティの安心、高速化への柔軟な対応など、銅線や無線に対して、圧倒的に有利であるといえる。

なお、電力線搬送通信等の電気配線を共用する技術もあるが、高速伝送への対応には限界がある。光よりも2ケタくらい通信速度が遅くなってしまう。消費電力もGI型POFの約30倍と試算されている。このような結果、ホームネットワークに関しては、GI型POFが他のどのシステムよりも適していると考えられる[13,14]。

表 2-1 従来の通信ケーブルとGI型POFによる高速光通信との比較

	銅線	無線	石英	GI POF
高速性	△	△	◎	◎
消費電力	△	△	○	○
ノイズ・障害	△	×	◎	◎
小曲げ	○	－	△～×	◎

2.4 簡単光接続のためのビーム拡大コネクタ

高速データ伝送用広帯域GI型POFは、コア径が50～100 μm と小さいため、その接続には石英マルチモードファイバー(石英MMF)と同様の端面突き当て方式の光コネクタが用いられている。しかし、GI型POFのコアの材質は柔らかく容易に変形してしまうため、端面の突き合わせをせずに低損失接続を実現できるコネクタ方式のほうが望ましい。また、病院はオフィス、住宅等の民生用の屋内ネットワークで使われるコネクタとしては、光通信のコネクタということを意識することなしに、メタルケーブルと同じような感覚で取り扱いできることが求められる。

これらの要求は、端面のゴミやキズにセンシティブな石英系光ファイバーでも必要とされ、それを満足する接続方式の光コネクタとして、ビーム拡大コネクタが存在している。実用化されているビーム拡大コネクタの多くは、ボールレンズなどの曲面レンズを使った構造のものであり、この方式の延長上にPOFにも有効な、コスト・パフォーマンスに優れた解が存在するものと考えられる。

本項では、GI型POF用ボールレンズ光コネクタの開発にあたり、すでに市場に発表されているレンズ式光コネクタを調査し、同時にコネクタ設計の基本要素を整理する。さらに開発するコネクタについてコスト・パフォーマンスの観点からの優位性を明確にする。

2.4.1 光ファイバーの接続方式比較

(1) 突き合わせ接続(But-Joint)

光ファイバーのコネクタ接続では、光ファイバーの端面を互いに直に押し当てて接続する「突き合わせ接続」の方法が一般的である(図 2-15 左)。光ファイバー接続の低損失化のためには、光ファイバーのアライメントが基本であり、光コネクタでは軸ずれや角度ずれを最小限にする構造が採用されている。光ファイバーの端面をゆるやかな凸面に研磨してフィジカル・コンタクトさせることにより、フレネル損失が無くなり更なる低損失化が図れる。このようにして、挿入損失0.3 dB以下のコネクタ接続が容易に実現できている。

コア径50 μm または62.5 μm の石英マルチモードファイバーの場合、1 μm の寸法精度を持つセラミック製フェルールに光ファイバーを固定し、割りスリーブでフェルールを整列させる方式が一般的である。この方式の単極プラグコネクタは、BNCコネクタなどの汎用同軸コネクタと同等の価格帯に入っている。

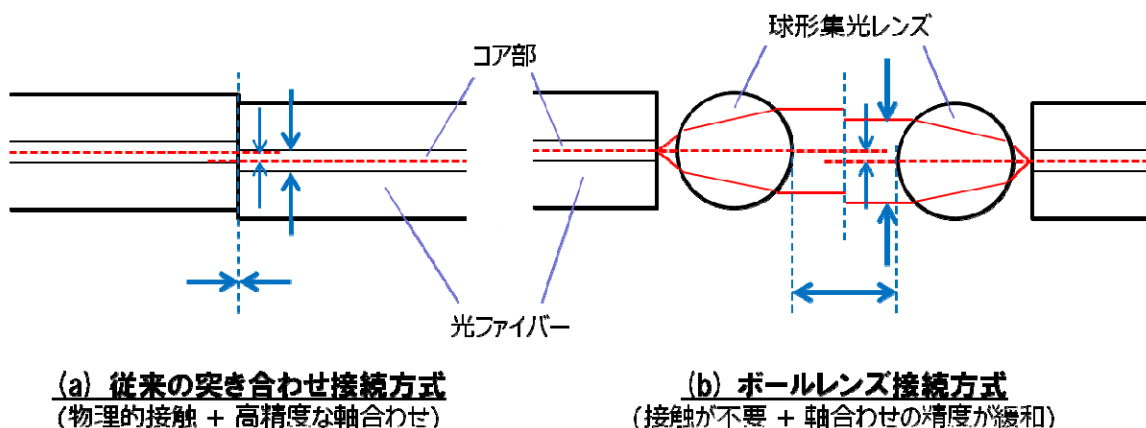


図 2-15 ポールレンズの特徴

従来の光ファイバー接続は、端面を突き合わせて接触させ、光軸を正確に合わせる必要があった。これに対して、ボールレンズを終端に付けた光ファイバーは、コア径よりも拡大されたコリメート光が射出され、軸ズレの精度が緩和されるうえ、ギャップを開けて非接触でもつながるため、結合がとても簡単になる。

低損失を特徴とする光ファイバー伝送路において接続点の低損失性は当然の要求であるが、そのために抜き差しを想定したコネクタとしては弱点となっていることがある。光ファイバー端面に付着したホコリや汚れにより損失が著しく増加し、最悪の場合は通信不可能な状態までに陥る。光コネクタに防塵キャップは必須であり、フェルール端面が汚れた場合は所定の方法でクリーニングしなければならない。

(2) レンズによる接続

光ファイバーからの出射光をレンズ系によりほぼ平行光に拡大し、入射側では同じくレンズ系で集光させてコアに入れる方式のレンズ式光コネクタは、その方式から一般的には「ビーム拡大コネクタ (Expanded-Beam Connector)」と呼ばれており(図 2-15 右)、前述のつき合わせ接続と比較したのが表 2-2 である。

表 2-2の比較表からわかるように、レンズ式光コネクタと突き合わせ接続光コネクタとはそれぞれの弱点をカバーするような補完関係にある。環境およびアプリケーションにより使い分けることが必要である。ホコリや汚れに強く、激しい振動や急激な環境変化においても安定した性能を保つことができるというレンズ式光コネクタの特徴は、一般の電気コネクタと同様な取り扱いで利用できる民生用光ファイバー・コネクタの設計コンセプトとして注目すべきものである。図 2-16 はその代表的な製品の例として、Terecasts社のコネクタ製品である。レンズ系を介して光ファイバー同士を接続するた

めに挿入損失はやや大きく、0.7dBから1.5dB程度の製品が多い。また、光学部品をコネクター内に組み込むことがコストアップの要因の一つになっている。

表 2-2 レンズ式コネクターと突き合わせ接続コネクターの比較

タイコエレクトロニクス社の白書[15]をもとに作成

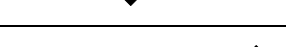
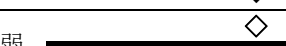
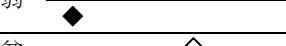
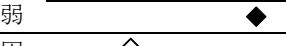
比較項目	性能	
	◇--- 突き合わせ接続コネクター	◆--- レンズ式コネクター
挿入損失	大  小	大  小
リターン・ロス (SMF)	小  大	小  大
軸ずれ	弱  強	弱  強
角度ずれ	弱  強	弱  強
防水性	貧弱  優秀	貧弱  優秀
耐塵性	貧弱  優秀	貧弱  優秀
耐振動性	貧弱  優秀	貧弱  優秀
着脱耐久性	貧弱  優秀	貧弱  優秀
クリーニング	困難  容易	困難  容易
コスト	高  低	高  低



図 2-16 Terecasts 社のビーム拡大コネクターMX シリーズの例

プラグ外径:21mm、プラグ嵌合時のコネクター部全長:約200 mm

2.4.3 レンズ式光コネクタの現状

(1) 市販されているレンズ式光コネクタ

製品化されているレンズ式光コネクタにおいては、直径3mm程度のボールレンズを使ってビームを拡大する方式が一般的である。光ファイバーが接着固定され端面処理されたフェルルールは、コネクタ・ハウジングに内蔵されたボールレンズに軸合わせされて組み込まれる。嵌合相手のハウジング同士はガイド・ピンによって整列され、ウェーブ・スプリングによって押圧される。アライメント・スリーブは使われない。通常、ボールレンズはARコーティングされたものが使われ、フレネル損失を極力低減している。

表 2-3 各社のレンズ式光コネクタ

(注: インサーション・ロスILは代表値)

メーカー	コネクタ名称	MMF IL (dB)	SMF IL (dB) RL (dB)		コネクタ 極数	プラグ 外径 (mm)	雌雄 同形	備考
TE Connectivity	PRO BEAM Sr.	0.7	0.7	>34	2, 4	39	○	MIL-C-38999
	PRO BEAM Jr	0.7	0.7	>34	2, 4	27	○	MIL-C-38999
	PRO BEAM Mini.	0.7	0.8	>34	2, 4	21	○	小型汎用
Emerson (Stratos)	S960	1.5	---	---	2,4,8,12	59	○	ミリタリー向け
	S900	0.8	1.0	>45	2, 4	36	○	ミリタリー向け
	HMA	0.8	1.0	>45	1,2,3,4	26	○	汎用
	HMC	0.5-1.0	0.5-1.0		2, 4	21	○	小型汎用
	HTC	1.0	---	--	1,2,3,4	31		MIL-C-3899 Hsg
Amphenol	CTOS	1.5	0.8	50	1, 2, 4	38	○	ミリタリー向け
	CTOL	1.5	0.8	50	2,4 6 8	52	○	ミリタリー向け
	CROS	3.0	---	---	2, 4	40	○	鉄道用
	CNOS	1.6	1.8	50	2, 4	43	○	船舶
	AXOS-e	1.6	---	---	1, 2, 4	27	○	小型
	HMAtwo	2.5 max	---	---	2, 4	27.2	○	
	LPP	0.8	---	---	1	12.5		プッシュプル式
	PRLC	0.9	---	---	1, 2, 4	28		D38999
	HLM	0.9	---	---	1, 2, 4	28	○	ミリタリー向け
Telecast	MX	0.8	1.0		2, 4	21	○	小型汎用
Diamond	X-BEAM	0.7	0.9	30	2, 4	28	○	汎用

表 2-3 は、代表的な各社のレンズ式光コネクタ（ビーム拡大コネクタ）をまとめたものである。用途は、軍隊、航空機、船舶、鉄道、放送中継などで、厳しい環境下での使用を想定して設計されている。全製品がメタルシェルであり、雌雄同形プラグの嵌合方式のことが多い。

(2) インテルLight Peak における光コネクタ

ソニーのノートPC VAIO Zの2011年夏モデルに、インテル社が開発したLight Peakシステムが搭載された（図 2-17）。ノートPC本体とドッキング・ステーション（パワー・メディア・ドック）を、10 Gbps双方向の光データリンクでつなぐ。本体のPCI Expressバスを、光ファイバーにより外部に延長した形となっている。光ファイバーには、80/100 μ mの石英ファイバーが使われ、コネクタ挿抜信号用電線（4本）および電源線（2本）と一緒にケーブル化されている。

このインタフェース・ケーブル内の光ファイバーは、USBコネクタに内蔵されたレンズ式光コネクタにより本体側と接続される（図 2-18）。レンズ部と嵌合ガイド部を持ったプラスチック一体成型のハウジングに、光ファイバーが接着固定されている。

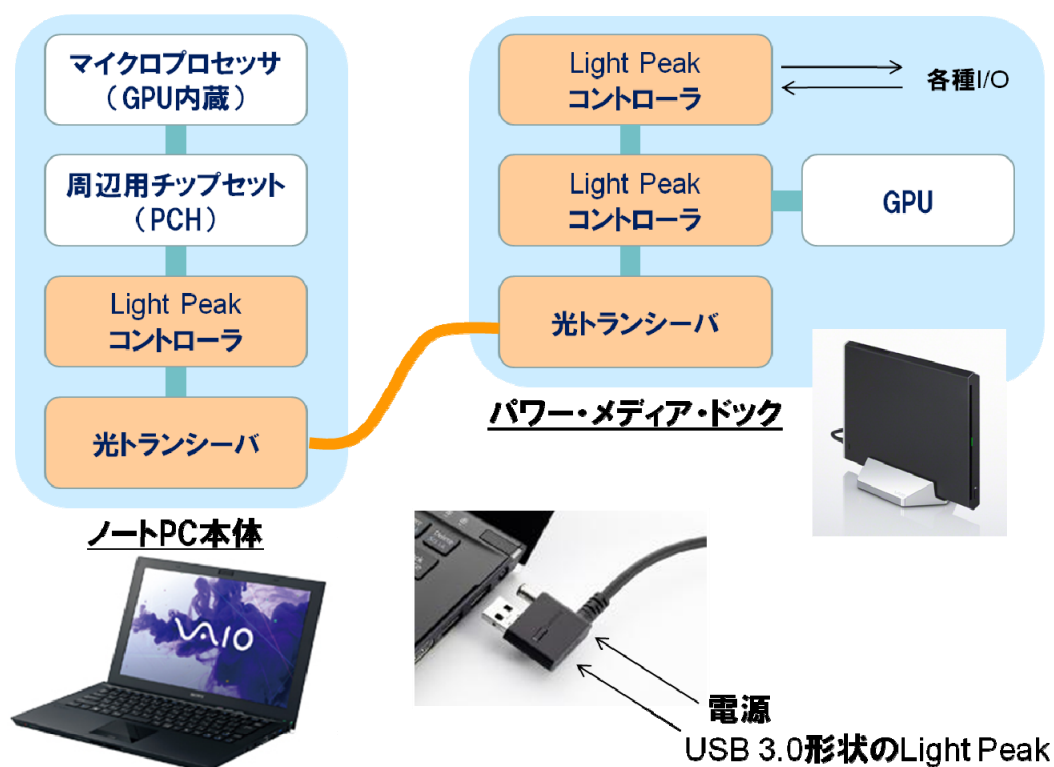


図 2-17 ソニーVAIO Zに搭載された「Light Peak」

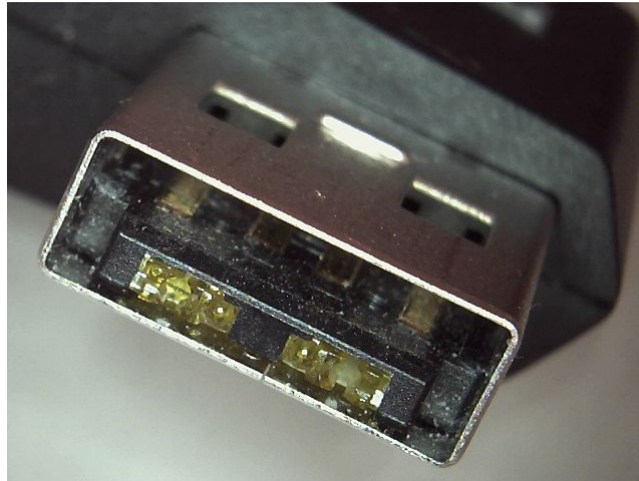


図 2-18 Light Peak のコネクター部分と光ファイバーの接続

また、パワー・メディア・ドック側のコネクター内にコイル・スプリングを内蔵し、接続の安定化を図っている。レンズの曲率半径は0.6 mm程度であり、ビーム拡大率は10倍程度と推測される。PC本体側のコネクターおよびパワー・メディア・ドック・ケーブルのプラグ共に防塵キャップは付属していない。光コネクターと意識せず、通常のUSBコネクターと同様の取り扱いができるよう配慮されている。

(3) 自動車用レンズ式光コネクター

自動車内の光通信における通信容量の増大化により、使われる光ファイバーはコア径が小さい広帯域のものが要求されるようになってきている。コア径の小さい光ファイバーでは、軸ずれによる挿入損失増大が顕著であり、また、車載による振動や衝撃による影響のため光ファイバーの端面を接触させることができず、一般的な通信用光コネクターのようにフィジカル・コンタクトによる低損失化ができない。このため、自動車業界においても、先端に凸レンズ部を設けたフェルルールを使うレンズ式光コネクターが提案されるようになってきている。

図 2-19 は、若林らの特許(特開2010-96903)に記載されたレンズ付きフェルールの断面図である[16]。被覆むきされた光ファイバーは、サブフェルルールに固定され、端面処理される。屈折率整合フィルムを挟み込みながらサブフェルルールをレンズ付きフェルルールに挿入して係止させる。これにより、屈折率整合フィルムはフェルルール孔最奥部と光ファイバー端面のそれぞれに密着し、その間の空隙を無くすることができる。

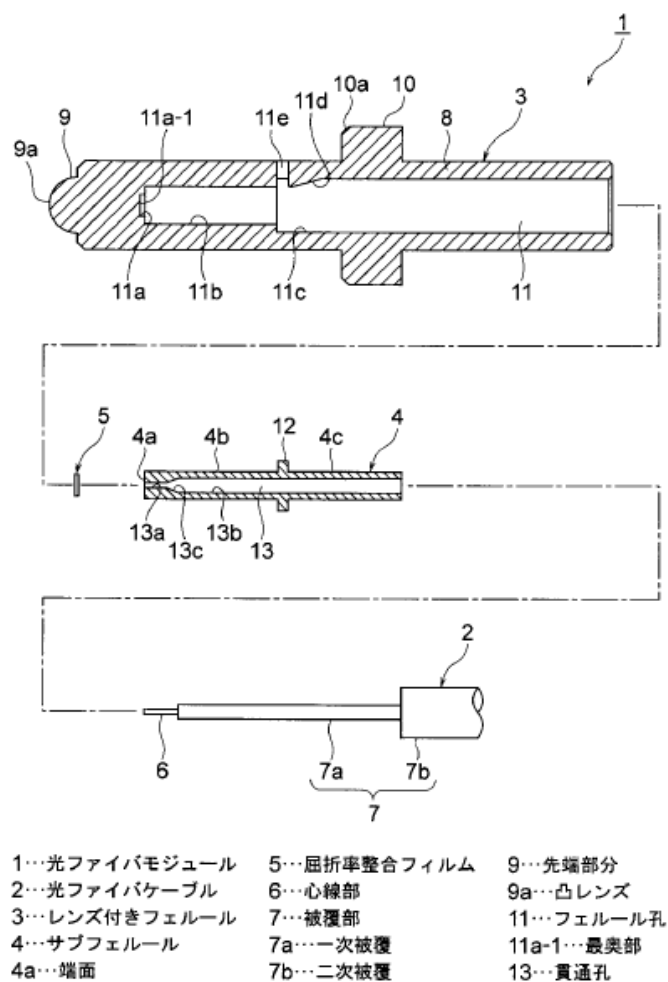


図 2-19 自動車用レンズ式光コネクタ

(特開2010-96903 図1より)[16]

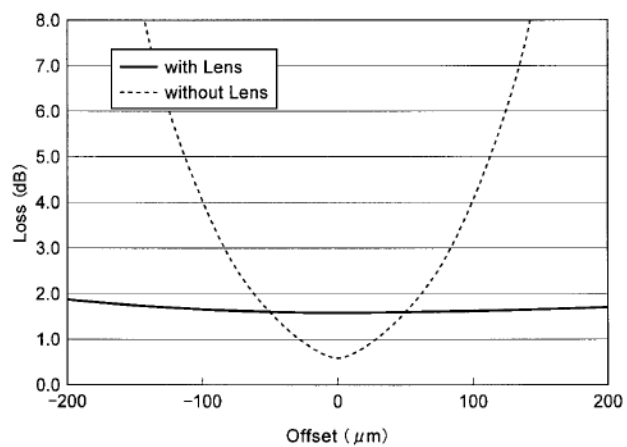


図 2-20 軸ずれによるロス比較

(特開2010-96903 図7より)[16]

レンズ付きフェルルールによるビーム拡大接続の効果は、特許の中で図 2-20 によって説明されている。コア径 $200\mu\text{m}$ の光ファイバーの接続において、軸ずれ量が $50\mu\text{m}$ まではレンズなしの突き合わせ接続のほうが挿入損失は小さく抑えられる。しかし、安価にコネクタを製造できるプラスチック成型において、できあがる部品の寸法精度を $50\mu\text{m}$ 以下にコントロールすることは困難であり、レンズ付きフェルルールを使用したほうが低損失となる。より小さいコア径の光ファイバーでは、レンズ式フェルルールの優位性はより顕著となる。

2.4.4 レンズ式光コネクタの設計要素

レンズ式コネクタでは、ボールレンズが使われることが多い。レンズを介した光ファイバーの接続においては、光ファイバーとレンズの軸合わせが重要である。ボールレンズの場合、その外形により自動的にレンズの中心軸を求めることができ、レンズ式コネクタの性能に大きく影響する「光ファイバーとの角度ずれ」を最小限にすることができる。

ボールレンズと光ファイバーの間の空隙は屈折率整合材によって埋められ、フレネル損失の低減が図られる。この場合、屈折率整合材の屈折率がボールレンズのそれと等しい場合には、ボールレンズは厚肉平凸レンズと等価となる。したがって、前項で紹介した2件のプラスチック一体成型によるレンズ式フェルルールと同様のレンズ系が形成される。

実際の設計に当たっては、光学的にレンズの焦点距離からファイバーの端面とレンズの位置を計算して求めることが重要である。ビーム拡大率が5倍以上のレンズ式光コネクタでは、レンズ間の距離はコネクタ挿入損失にはあまり影響しない[17]。

球面レンズでは、球面収差により光軸に平行に入射した光は焦点の一点に集まらず、中心から離れた光線ほど焦点より手前で光軸をよぎる。この結果、光軸上でスポットサイズが最小となる位置は焦点距離の5%前後レンズ側になる。このときの最小スポットは最小錯乱円と呼ばれ、レンズ式光コネクタにおいては、光ファイバー端面の固定位置を最小錯乱円の位置にすることでロス低減が図れる。

2.4.5 低コスト簡単光接続

このように、端面処理の欠点を解消する「ビーム拡大コネクタ」は、レンズを装着することにより、軸ズレ精度に余裕を持たせ、端面のキズやホコリの影響を解消するため、過酷な屋外の条件下で扱われる航空機や船舶、車両、軍事用途などで用いられている[18]。ところが光ファイバーの軸とレンズの軸を精度よく合わせるためには、コネクタ

のハウジング部分の設計や組み立てにコストがかかり、大量生産に向かないうえに、小型化が難しい。ビーム拡大コネクタの先端のコネクタ部分の価格は、1個数万円という高価なものになっている。

このような背景の中で本研究では、信頼性の高い簡単接続を、低コストで実現しようとするものである。具体的には、第3章で述べるように、ボールペンの製造技術を応用することにより、プラスチック光ファイバーの端面に小さなボールレンズを装着できる新しい方法を提案する。この技術を応用することにより、低コストで大量生産ができ、かつ超小型な光インターコネクが達成される。

2.5 第2章のまとめ

以上のように、本章では以下のことについて述べてきた。

1. 映像技術の進歩は、屋内ネットワークの光化を必要とする時代をもたらした
2. 高精細で大画面なディスプレイに対するニーズが高まっている
3. プラスチック光ファイバーが屋内高速通信メディアとして最有力である
4. レンズコネクタは簡単接続が可能だが現状では民生用途に向かない

3

第3章 簡単低コスト光接続技術の研究

* * * * *

第3章では、第2章でふれたボールレンズ付きコネクタに関し、本研究が目指す屋内高速光毛細管ネットワークに適した新技術の研究を行った。その結果、ボールペン製造技術を応用することにより、ファイバーの先端に小型のボールレンズを、安価で精度よく装着できる方法を考案した。

また、この超小型ボールレンズコネクタ技術を利用して、複数チャネルを束ねた高速光コネクタを開発した。とくに現行のHDMIと同等の電気信号も伝送でき、かつ最大40Gbpsの光信号も伝送できる、新旧技術コンパチブルなハイブリッドコネクタを開発し、4K3D映像が流れることを、実証実験によって検証した。

* * * * *

3.1 ボールペン技術活用による革新的光コネクタ方式

ハイビジョン映像の品質を超える高精細なビデオフォーマットが開発されているが、その伝送のための高速データ通信技術は、必ずしも一般利用者への適用が容易ではない。一般向けには、高速通信というテクニカルな要求だけではなく、取り扱い易さ、接続不良のない信頼性、入手しやすい価格などの条件が満たされる必要があり、高速通信で代表的な石英系光ファイバーは、脆く折れやすい上、低コストで精度のよい簡単接続が困難なため、消費者のニーズに合わない。

本項では、折れにくく高速通信が可能な屈折率分布型プラスチック光ファイバーの端面に、球状のガラス・コリメータレンズを組み込んだ超小型ビーム拡大インターコネクタを、低コストで精度の高いボールペン製造技術の応用で実現し、4K3D高精細非圧縮映像伝送実験によるシステム検証を行った。

3.1.1 屋内用低コスト簡単光接続の必要性

屋内の通信の中で非圧縮映像の伝送は、かなり広い帯域が要求されている。近年、急速に普及したハイビジョンテレビの映像フォーマット(画素数1920×1080、毎秒60フレーム、インターレース)は、消費者には十分な高画質であると思われてきたが、リビングルームのテレビ画面サイズが年々大型化してきており、それに伴い同じ精細度では画素が拡大されて画質が落ちることから、さらなる高精細映像技術が必要とされ、研究開発が盛んに進められている。たとえば画面サイズが2倍になった場合、リビングルームの同じ距離から視聴して同じ解像度を得るためには、画素数を縦横2倍ずつ、合計4倍に増やし、さらに動きの速い映像に対応したフレームレートである4Kフォーマット(画素数3840×2160、毎秒60フレーム、プログレッシブ)が必要で、データサイズはフルハイビジョンの8倍、伝送には、10Gbpsを超える帯域が必要になってくる。立体視(3D)映像を高精細にデュアル伝送するにはさらに2倍のデータ転送速度を要する。

こうした高精細映像の非圧縮伝送には、目標伝送速度を達成するために、既存の銅線、例えば同軸ケーブル、DVI (Digital Visual Interface)、HDMI (High-Definition Multimedia Interface) などでは不十分であり、銅線に代わる光通信の宅内導入が必要となっている。一般に短距離の光データ通信には、石英系マルチモード光ファイバー(MMF)が広く使用されているが、病院やオフィス、住宅等の室内用途では、ケーブルを折り曲げたり束ねたり、むき出しで床に這わせたりするために、取り扱いに気を付けないと折れてしまうという欠点を持っている[1,2]。また折れたファイバーのガラス破片が被覆を破って飛び出しユーザーを傷つける危険性もはらんでいる。さらに破損したガラス

は、通常の燃えるゴミとして廃棄できない。さらにファイバーの端面にキズやホコリがつくと、接続不良が起こりやすく、接続にあたって端面の汚れをアルコールで拭き取ったり、ホコリをエアブローで除去したりする必要がある、一般消費者にとっては扱いにくい。

端面処理の欠点を解消するために、3.1節で述べたような、光ファイバーの端面にボールレンズを付けて、端面から広がる光をコリメートし、コア径よりも出射光のビーム径を拡大させる「ビーム拡大コネクタ」が知られている[3]。通常は端面同士を精度よく接着させる必要がある光ファイバー接続において、ボールレンズを装着することにより、軸ズレ精度に余裕を持たせ、接着の必要性がなくなる上に、端面のキズやホコリの影響を受けにくくすることができる。過酷な屋外の条件下での光通信接続を可能にするため、航空機や船舶、車両、軍事用途などで用いられている[4]。

ところが光ファイバーの軸とボールレンズの中心の位置関係を精度よく固定するためには、コネクタのハウジング部分の設計および組み立て精度が必要で、大量生産に向かない上、非常にコストがかかることから、特殊用途にしか使われていない。コネクタ一部分の価格は、1個数万円という高価なものになる。またハウジングが大きくなりがちで小型化ができない。また、石英ファイバーの欠点である脆くて折れやすい点については、近年では折り曲げに強いものも出てきているが、被覆を厚くするなどケーブルが太くなってしまうという欠点がある。

このような背景の中で本研究では、一般利用者における高精細映像の非圧縮伝送を可能とするための、安全で扱い易く、信頼性の高い低コストの高速光通信システムを提案するものである。具体的には、プラスチック光ファイバーの端面に小さなボールレンズを装着した、超小型光インターコネクトを開発し、このインターコネクトを複数本組み合わせた新規コネクタ付きケーブルを試作、高精細映像を実際に流して検証を行った。

3.1.2 目標とシナリオ

一般利用者に普及可能な光通信システムを導入するにあたり検討しなければならない課題は、その通信速度(伝送帯域)というテクニカルな要求を満たすことだけでなく、ユーザーの視点に立って、安全で扱い易く、簡単に信頼性の高い接続が可能で、かつ低価格で提供できるかどうか、という点である。

この点で要求を満たすことが困難な石英系光ファイバーに代わって、プラスチック光ファイバー(POF)は、優れた柔軟性と物理的耐久性を示し、大量生産で安く製造することが可能な媒体として最も有力な候補である。

POFは石英系光ファイバーに比べて、折り曲げに強く、踏みつけても断線することが

ない。一般に普及しているPOFは、伝送帯域の狭いステップインデックス型(SI型)であり、コア径が大きく接続時の軸ズレや端面のキズ、ホコリに気をを使う必要がないので、消費者が使う室内の配線用途に向いていると考えられる。しかし、本研究が目指している非圧縮高精細映像の伝送を考えると、数100Mbpsの帯域では、伝送速度が不足している。

一方で小池らの発明した全フッ素化屈折率分布型プラスチック光ファイバー(GI型POF)は、高速通信にも対応できるものとして商品化されており、プラスチックの素材の特徴である柔軟性を兼ね備えながら、40Gbpsに迫る世界最速の伝送帯域を持つ。小池らは全フッ素化GI型POFを用いた大画面高精細ディスプレイによる遠隔地間の「Face-to-Faceコミュニケーションシステム」を提案している[5]。

この全フッ素化GI型POFは、石英系MMFと同等の広い帯域を有しており、材料の物理特性では石英よりも優れているため、Deckerらにより高く評価された[6]。プラスチック素材のため、押出成形技術で大量生産すれば低コストでの製品化が可能である。ただし、高速通信を可能にするために、コア径を小さくしており、接続の容易さの点ではSI型のような利点はなく、石英系MMFと同様に軸ズレ精度のよい接続が求められ、端面のキズ、ホコリにも気を遣う必要があり、防塵キャップを付けたり、接続前に端面クリーニングをしたりすることが求められる。このキズ、ホコリについて言えば、プラスチックは石英よりも材料が柔らかいうえに静電気を帯びやすく、むしろ石英以上に気を使っているのが現状である。

前述のボールレンズを組み合わせ、端面処理を改善する方法も考えられるが、低価格短距離通信を特徴とするPOFのビジネス展開の上で、高コストになるボールレンズ装着は常識ではありえない選択であった。GI型POFが発明されて20年、特性の良さは理想的でありながら、実用性を考えると、このようなトレードオフのために普及する用途が限定された状態が長年続いてきた。今回の我々の研究は、この事実をブレークスルーできるイノベータティブな統合技術である。

開発のシナリオを図 3-1 で説明する[7]。光ファイバーの欠点である接続の精度要求の高さと端面のキズやホコリのケアについて解消する技術として、ボールレンズを装着する「ビーム拡大コネクタ」があることをすでに述べたが、POFを使うとコストが見合わないし、石英ファイバーでは、一般消費者に使用に耐える柔軟性がない。つまりボールレンズの機能は優れているが、ビーム拡大コネクタの組み立て技術では、トレードオフを抜け出せない。

一方、一般用ではなくエレクトロニクス部品の用途で、基板上の狭く小さな場所をジャンパー線のようにつなぐことができる光コネクタを目指していた鳥飼(当時日本航空電子工業勤務)は、ボールレンズがあれば接続は容易になるものの、ジャンパー線に

必要な超小型形状にすることに困難を憶えていた。2009年、異業種交流で出会ったボールペンメーカー三菱鉛筆の技術者とのディスカッションがその方向性を大きく変えるきっかけとなった。「ボール」の材質においてはガラスと金属の違いはあるものの、細いチューブの先端にボールを装着する、という構造概念の共通性に気づいたのである。

さっそくニードルチップ型のボールペンに石英系光ファイバーを挿入し、超小型コネクタを開発する研究が2社の共同で始まった。しかし、ペン先の金属製スリーブに石英系光ファイバーを差し込み、通常のボールペンインクチューブと同じ方法で、外側からかきつけて固定しようとする、石英の材質の脆さゆえに破損してしまうことがわかった。開発を断念せざるを得ない状況にあった2010年、偶然に三菱鉛筆の技術指導に当たっていた小池に相談したところ、石英ファイバーを小池らが開発したGI型POFに置き換えるアイデアが出された。インクチューブのようなプラスチック素材の柔軟性を利用すれば、実現できるという発想である。

さらに、ボールペン技術を使えば、ボールレンズの装着が低コストで実現することから、エレクトロニクス分野に限らず、コスト面で困難とされていた住宅用にもボールレンズ付きのコネクタが導入できると予想された。実験の結果、ボールペン製造と同じかきつける固定方法で、ファイバーを破損することなく固定できることが明らかになり、本研究が本格的にスタートすることになったのである。

以上要約すると、本研究では一般利用者が、低コストで簡単に接続できる高精細映像光伝送システムの基盤形成と実証を目標とし、主要な要素技術としてのボールペン製造技術により、GI型POFの端面に超小型で高精度でありながら低コストでボールレンズ装着を可能とし、その実現を図るというシナリオで研究を遂行した。

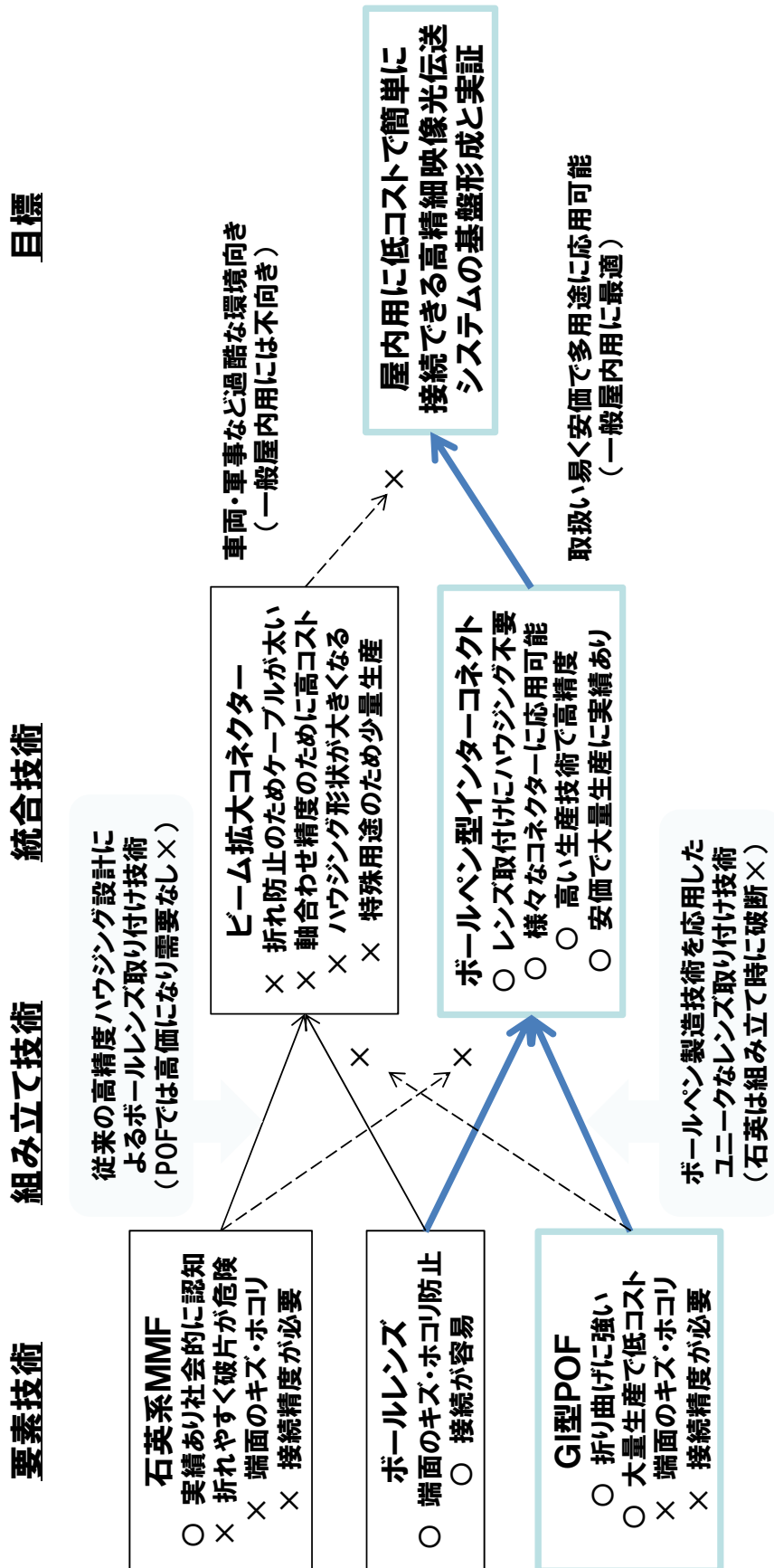


図 3-1 一般屋内用光接続技術開発のシナリオ

ボールレンズの効果はかつてより知られていたが、取り付けのためのハウジングと組み立てに精度が必要で、安価に製造することが難しく、特殊な用途にしか使われなかった。本研究は、ボールペン製造技術を応用することで、極めて精度良く低コストでボールレンズの取り付けを可能とした。「○」は一般屋内用途に有利な特性、「×」は屋内用途に不利な特性。

3.1.3 ボールペン型光インターコネクットの開発

こうした経緯を経て、光ファイバーの端面にボールレンズを精度よく装着する方法として、世界で初めて、ボールペン製造技術を応用することに成功し、極めて低コストでの光インターコネクトを実現した[7,8]。このユニークで全く新しい概念のレンズ装着方法について、その構造を図 3-2 に示す。

ニードルチップ型ボールペンのペン先は、3種類の部品から構成されている。ニードル部分にあたる金属製スリーブ(内径0.5mm、長さ7.8mm)、スリーブの先端に取りつける金属ボール(直径0.55mmの真球)、インクが流れるキャピラリーの3点である。このうち、金属製スリーブはそのままに、先端の金属ボールを高透明度の球状ガラス(材質BK7、直径0.55mm、研磨して真球状にしたもの)に替え、インクのキャピラリーの代わりに、旭硝子株式会社製の全フッ素化GI型POF「FONTEX®」を挿入した。金属製スリーブには、POFの位置合わせのためのポンチ加工があり、挿入してポンチ加工までつき当てることで、先端のボールと端面の距離が正確に固定される。また、挿入したファイバーが抜けないように、スリーブの外側からかしめることで固定した。

このときのボールレンズの中心とファイバーの中心軸は、精度よく位置合わせされていなければならない。その点で、ボールペン製造技術はもともと、高い精度のもとに設計、製造がなされてきたために、光通信の要求を満たす高精度のアライメントを実現することができた。また、先端に装着するボールは、光学特性を高めるために、真球でかつ表面に凹凸のないなめらかさが必要であるが、この点においても、従来からのボールペン技術で培われてきた金属球の研磨方法が、ほぼそのまま生かされた。

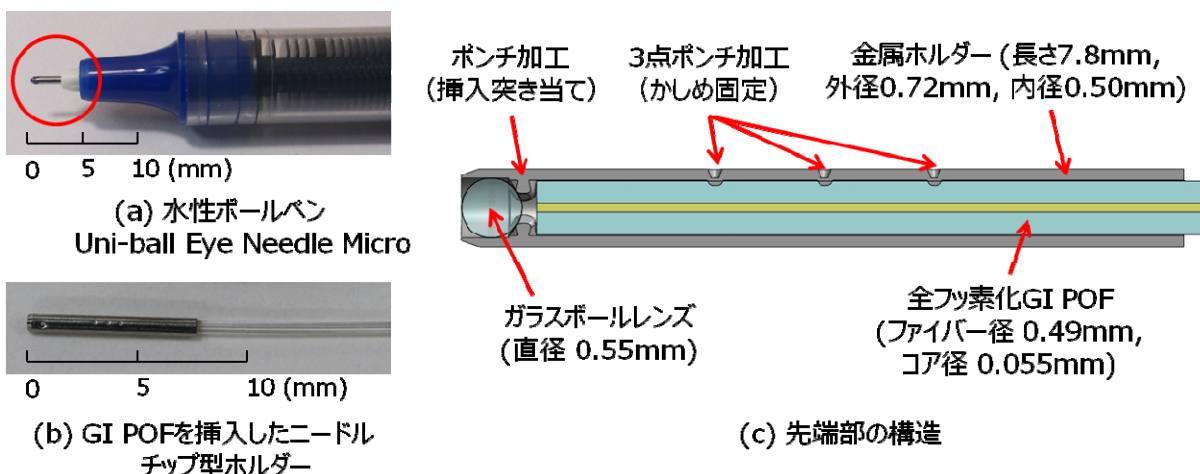


図 3-2 ボールペン光インターコネクットの構造

ニードルチップ型のボールペン製造技術を応用することで、光ファイバーの先端にガラスのボールレンズを安価に精度よく装着することができる。コネクタのハウジングにボールを付けるのではなく、ハウジングレスでファイバー端に直接ボールが装着できるため、このあとのコネクタ設計に自由度が高い。

このあたりを従来のビーム拡大コネクタの構造と比較したのが図 3-3 である[9]。従来は、光ファイバーを組み込んだフェルール(図中の番号:30)とボール(20)のアライメントを取るために高精度なハウジング(10)と、ファイバー端面とレンズの距離を正確に合わせるための高精度なブロック(40)が必要であり、総じて様々な工程でコストがかかり、コネクタが大型な設計になる。一方、ボールペン式は金属ホルダーがフェルールとハウジングを兼ねていてボールと光ファイバーの位置合わせが不要、低コストで超小型にできるのが特徴である。

挿入したPOFを抜けないように固定する「かしめ」についても、ほぼ現状のボールペン製造技術が使われた。かしめの位置と箇所、かしめ強度については、POFの光学特性にダメージを与えることなく、十分な引き抜き強度が出るように最適化されたが、この点についても現状の生産工程における調整の範囲内で可能であった。

これらの工程が、石英ファイバーでは達成できず、POFの特性がそのまま生かすことのできた、本研究におけるもっとも本質的にユニークな発見である。つまり、従来からのボールペンに必要とされてきた高精度のアライメント、ボールの研磨、チューブの固定が、まさに光インターコネクに求められる精度の高さと一致し、かつ極めて低コストでそれを実現するという、これまでの常識を覆す発見だったといえる。

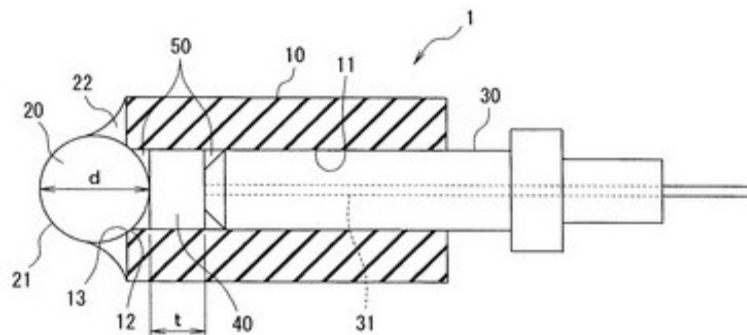


図 3-3 一般のビーム拡大コネクタの構造例

従来のビーム拡大コネクタは、光ファイバーを組み込んだフェルール(図中の番号:30)とボール(20)のアライメントを取るために高精度なハウジング(10)が必要。またファイバー端面とレンズの距離を焦点距離に合わせて一定の間隔を空けるための高精度なブロック(40)の必要であり、総じて高価で大型な設計になる。金属ホルダーがフェルールとハウジングを兼ねた構造になっているボールペン式では、ボールと光ファイバーの位置合わせが不要であり低コストで小型化が可能となる。(上:特開2007-241094 タイコエレクトロニクスアンプ社の挿入図より)[9]

3.1.4 実験方法と評価結果

それではここで、開発された新規光インターコネクトの性能を測定するための実験方法と、その結果を示す。

(1) 結合損失の評価

結合損失を測定するために、グレイテクノス社の光パワーメータ「Photom 205A」を使った。軸ズレ測定治具の上で、2本の光ケーブルを端部で結合させ、正確にその軸ズレ距離をx、y、zの3軸方向で制御して固定し、その2本のケーブルをパワーメータの入力と出力にそれぞれ接続し、各条件下で伝送される光のパワーを読みとった。光源の波長は850nmである。ファイバー端部のゴミは取り付け前に、エアクリーナーで除去した。パワーが最大となるxyz座標を原点と設定し、ここを起点にx、y、z方向に軸ズレさせたときの光パワーをdBm単位で測定し、原点での光パワーを基準に差を取って結合損失(単位dB)を計算した。

結合損失を実測するとともに、レイトレーシング法による工学設計ツールZEMAX™を用いて20万回のシミュレーションを実行し、実測データが理論的に間違っていないことを確認しながら実験を行った。シミュレーションで入力した条件は、現物に近い状態を再現するように、ファイバーの直径 0.49mm、コア径 55 μ m、屈折率 1.350、開口数 0.245、ボールレンズの直径 0.55mm、屈折率 1.51とした。ファイバー端とボールレンズの距離は最適化された長さに設定した。

結合損失は、最適な状態で結合したときの損失量と、結合時に軸ずれが生じて増加する損失量、端面間のギャップから生じる損失、光ファイバーの曲げから来る損失の4つに分けて評価した。その結果を以下に示す。

① 結合そのものによる損失

ボールレンズにより終端処理をしたGI型POFサンプルを40本作成し、そのうちの1本をマスターとして、残りの39本を1本ずつ、マスターに結合しながら損失量を測定した。平均損失は、-1.36dBであった。その結果のヒストグラムを図 3-4 に示す。この結果から、パワーバジェット(送信側の最低出力と受信側の最低感度の差で、使用する機器での最悪の条件を想定した数値)の推定(3.2.5項で後述)に使用される結合損失は、両端の結合を考慮して2倍し、2.72dB (1.36dB $\times$ 2)となった。

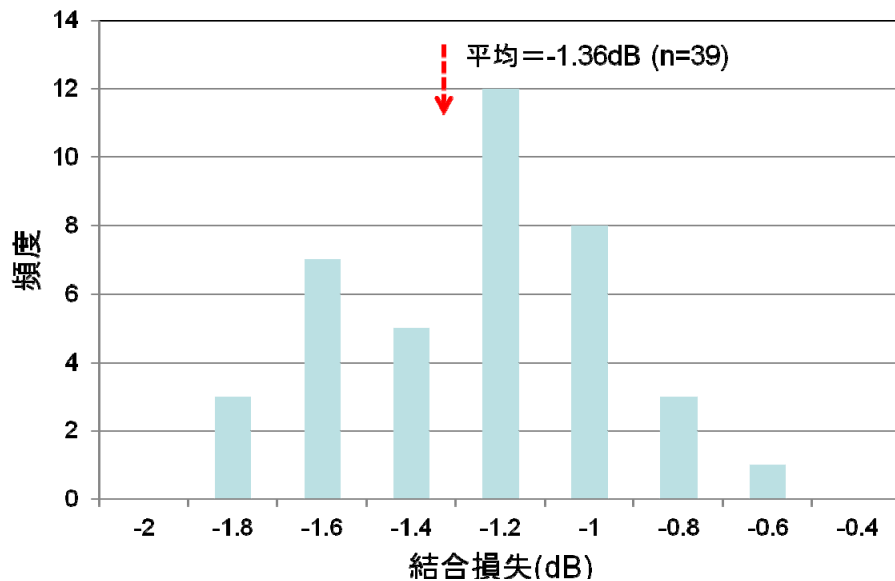


図 3-4 試作サンプルの結合損失ヒストグラム

試作した40本のボールペン型インターコネクトサンプルの結合損失測定データ。平均損失は、1.36 dB。

② 軸ズレによる損失

2本のケーブルを結合において、軸ズレ（軸に垂直なx、y方向にずれるもの）が生じた場合の結合損失を、ボールペン技術によりボールレンズが装着されたコネクタ同士の間接と、ボールレンズのない通常のファイバー端面つき合せ接続とを比較して評価した。

図 3-5 は、パワーが最大となる点を原点とし、軸に垂直な方向に平行ずれを生じさせた場合の損失増加量を測定したデータを示している。この図が示すように、ボールレンズが装着されたものは、軸ズレの許容が高まり、高精度な結合を必要としなくてすむ。あるいは同じ精度の結合では損失を軽減することができる。

ボールがない従来のファイバー結合では、1dB以下の損失に抑えるためには、10μm以内の精度での結合が要求されるが、ボールレンズコネクタでは60μmのズレまで許容され、6倍広いマージンを持つことが分かった。この特徴は、周辺のあらゆる部品の設計精度、組み立て精度、寸法安定性に影響して自由度を増すことにより、製造コストの削減に寄与できるものである。

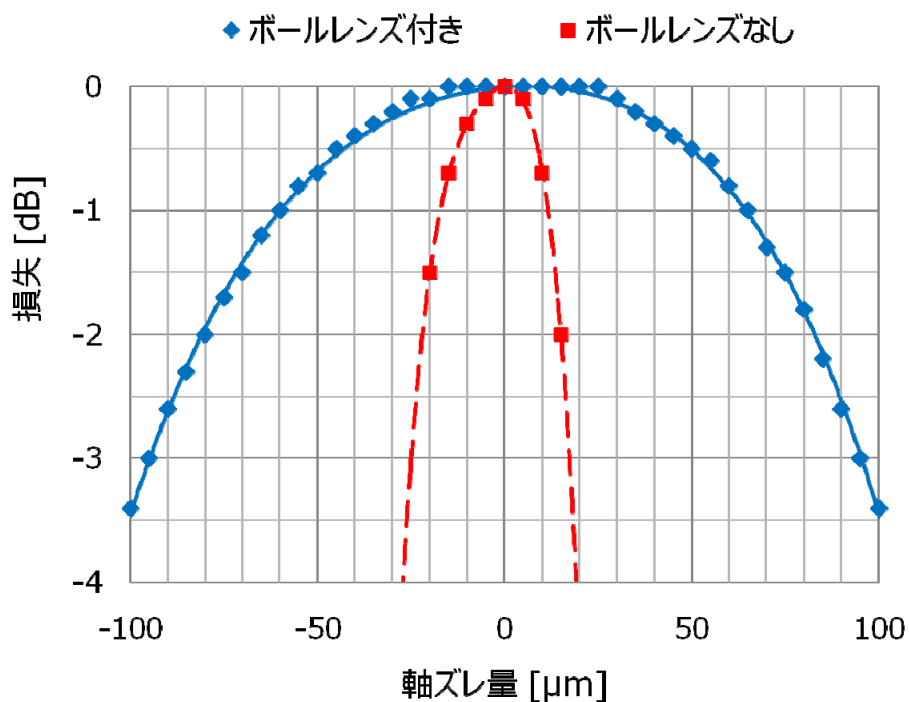


図 3-5 軸ズレによる損失の比較データ

軸に垂直な方向のズレ量による光損失を、ボールレンズ装着の有無で比較したデータ。ボールレンズにより許容ズレ量が広くなる。

③ ギャップによる損失

図 3-6 は、ファイバーの端面間のギャップに対する損失量を示したものである。1dB 以下の損失に抑えるためには、従来の結合方式では、ギャップはわずか0.05mm (50 μm)しか許されないが、ボールレンズを装着することにより、許容度が非常に大きくなり、10倍の0.5mmのギャップでも損失はほとんどなく、測定された最大ギャップ0.8mmにおいても、損失は0.5dB以下であった。ボールレンズによるビームのコリメート出力が、この重要な利点を提供しているといえる。

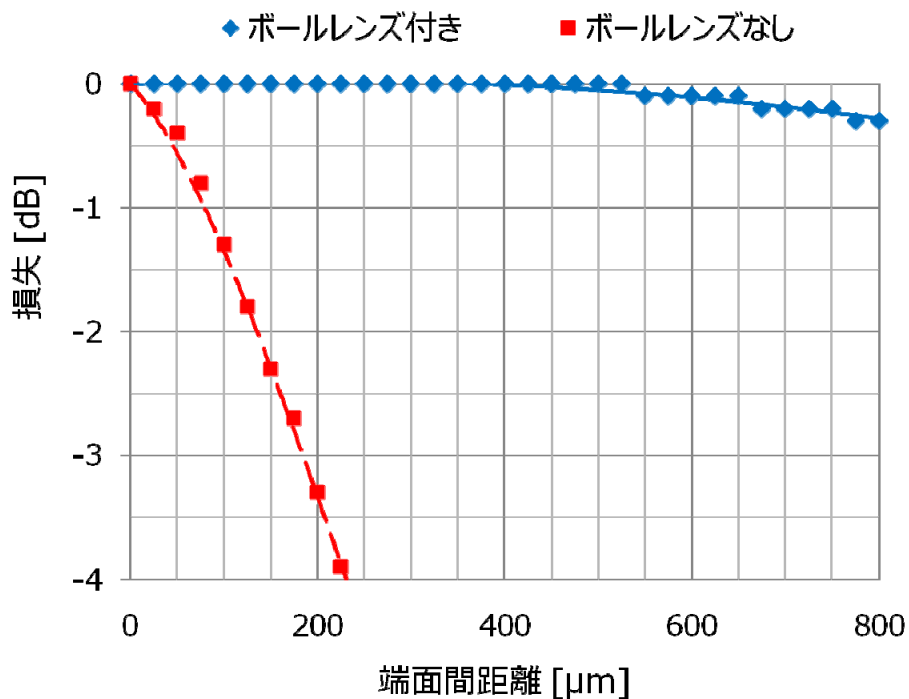


図 3-6 軸方向のギャップによる損失の比較データ

軸方向のギャップによる光損失を、ボールレンズ装着の有無での比較データ。ボールレンズは間隔が空いても損失が非常に少ない。

④ 曲げによる損失

また、全フッ素化GI型POFと石英系MMFの曲げ損失の比較も、同じ測定方法を用いて評価された。評価は、市販の石英系MMFとして古河電気工業製「OM2」と「OM3」の2製品を、また市販のPOFとしてAGC製全フッ素化GI型POF FONTEX®を比較して行われた。

図 2-12 (2.3.1項にて前出)に示したように、GI型POFの曲げ損失は、ケーブルをしっかりと結んだ状態 $R=3.5\text{mm}$ まで全く認められず、 R が小さくなるほど損失が大幅に増大していく石英系MMFよりはるかに低く、病院やオフィス、住宅等のネットワークへの応用が期待される。

(2) 光強度測定による特性評価

光パワーメータを使った光の減衰量等の測定により、本研究の光インターコネク特の特徴を調べた。

① BERTによるパワーペナルティの測定

ビット誤り率 (BER: 一定時間内に符号化して送られるデジタル・データの総数に対して、誤って受信された符号の数の比率) は、アンリツ社の「BERTWave MP2100A」(BERT、サンプリング・オシロスコープ) を用いて測定された。アジレント社の光減衰器 N7766A を介して、測定対象サンプルを BERT 測定器に接続し、減衰量を調整しながら、エラーが 1 となったときの光パワーをパワーメータで測定した。0.5dBm ずつ変化させながらビット誤り率をプロットしていき、バックツーバック (送信機と受信機を直結し、損失が最も少ない基準となる状態) の石英系ファイバーのデータをリファレンスとして、ビット誤り率 $1E-12$ におけるパワー値の差を、パワーペナルティ (伝送路での損失を補うために増加させなければならないパワーの増加量) として算出した。

この方法により、ケーブル長とパワーペナルティの関係を評価した結果を、図 3-7(a) に示す。長さ と パワーペナルティ との間には、ほぼ直線関係があることがわかる。100メートルのケーブル長のためのパワーペナルティは、1.12dB であるが、50メートルでは 0.66dB、20メートルでは 0.29dB、10メートルで 0.11dB であった。これらの値は、3.2.5 項のパワーバジェットの計算で使用された。

② ケーブル損失の評価

アジレント社の PNA-X ネットワーク・アナライザ「N5242A」と光コンポーネント・アナライザ「N4376B」を使用し、ケーブルの周波数特性ならびに、ケーブル損失 (ゼロ周波数での DC モード値) を求めた。

様々な長さのケーブルを測定し、損失量を長さの関数として示したものが図 3-7(b) である。100メートル長のケーブル損失は 3.76dB で、50メートルで 1.87dB、20メートルで 0.75dB、10メートルで 0.38dB となった。これらの値も同様に、5 章のパワーバジェットの計算で使用された。

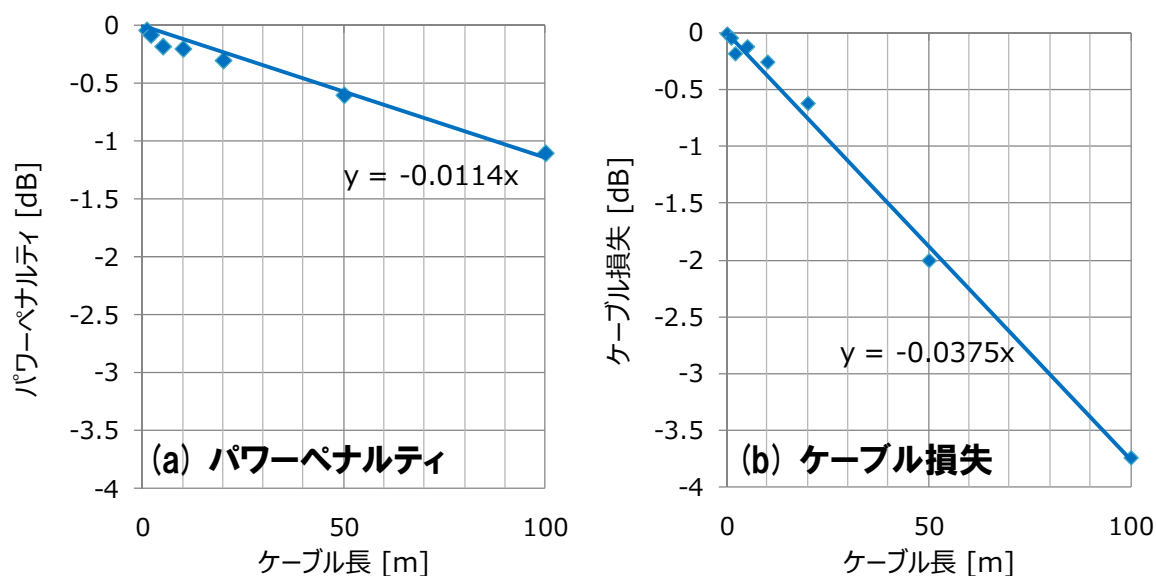


図 3-7 ケーブル長に対するパワーペナルティと損失のデータ

左(a):長さの異なるサンプルのパワーペナルティを実測し、近似直線の数式を求めた。右(b):光損失とケーブル長の関係を測定し、近似直線を求めた。

③ レーザーの安全性評価

次に、万が一のケーブル破損による光漏れを想定し、レーザー光線による人体への影響、とくに目の安全のために被ばく放出限界(AEL)値に基づいた光パワーを評価した。ADCMT社の光パワーメータ「8250A/82311」と、NEC製の850nm光源 (Tx:OD-TS01A0300A1P/Rx:OD-RS01A0300A1P) の光トランシーバ、その受信機を使用して安全性評価を実施した。

その結果、AEL値のファイバー1本当たりが-1.57dBmと算出され、家電向けクラス1のアイセイフティ安全基準[10](レーザー光の安全性の規格で、家庭用機器では、もっとも安全なクラス1の規格値を守ることが要求される)を満たしていることを確認した。

3.1.5 パワーバジェットの評価

本提案システムが、目標とする屋内高精細映像通信システムに適しているかどうかを確認するために、3.1.4項で述べた実験結果を組み合わせ、パワーバジェットの評価を行った。

図 3-8 は、10メートル、20メートル、50メートルの3種のケーブル長における結合損失、メカニカルロス、パワーペナルティ、およびケーブル損失の4つの損失を積み上げて、目標とするパワーバジェットに対する余裕度(マージン)を推定した結果である。

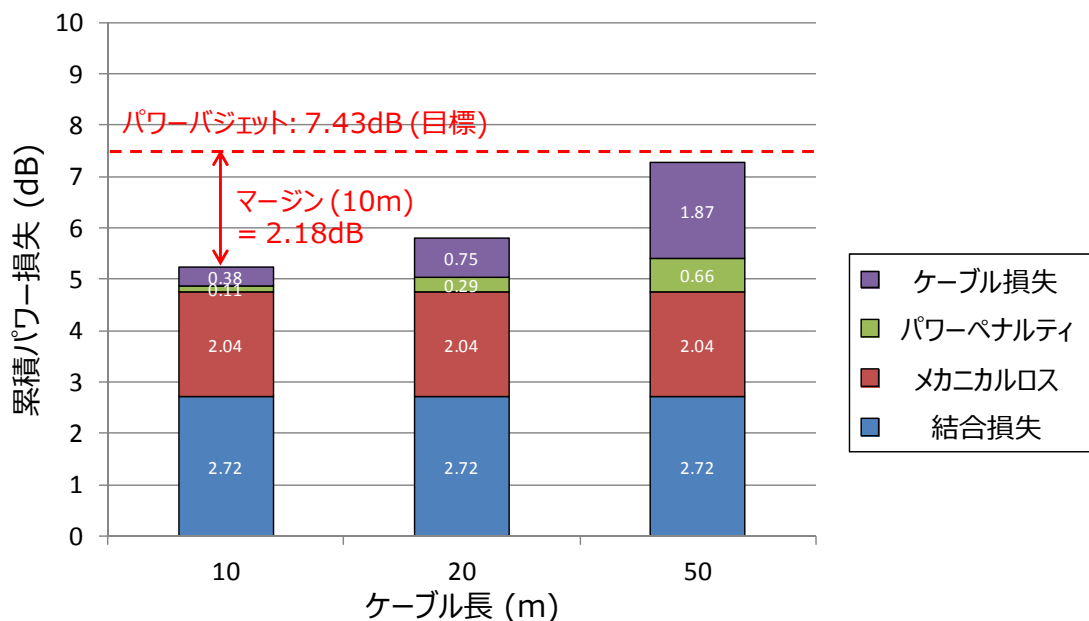


図 3-8 トータルシステムの損失累計とパワーバジェット

損失の測定値を積み上げて累計し、トータルシステムのパワーバジェットに対する余裕度を求めた。10mでは2dB以上の余裕があり、20mまでは問題なし、マージンがほとんどなくなる50mくらいまで、用途拡大ができると予測できる。

パワーバジェットの目標値(7.43dB)は、IEEE802.3aeの受光感度(Stressed Receiver Sensitivity: SRS)の数値(-9dBm)をもとに、アイセーフティを考慮して、Launch Powerの値(レーザーの出射パワー:-1.57dBm)を差し引いた分である(9dB - 1.57dB = 7.43dB)。

結合損失の値(2.72dB)は、図 3-4 の平均値(1.36dB)を2倍にしたもの(ケーブルの両端に結合損失があるため)である。メカニカルロスは、次の3.2節で述べる8チャネルの

GI型POFを束ねて作られたコネクタの総損失(4.76dB)から、各チャンネルの1本のファイバーの結合損失分(2.72dB)を差し引いて算出したもの($4.76\text{dB} - 2.72\text{dB} = 2.04\text{dB}$)である。つまり結合損失とメカニカルロスを含めたものが、コネクタ全体の総損失量となる。またケーブル長に依存するパワーペナルティ、およびケーブル損失の2つの損失値については、それぞれグラフ図 3-7(a) および図 3-7(b) の近似直線から計算によって求めた。

たとえば、10メートル長のGI型POFにおけるパワーバジェットは、長さに依存しないコネクタの総損失(4.76dB)と長さに依存するパワーペナルティ(10メートルで0.11dB)とケーブル損失(10メートルで0.38dB)をすべて合計した値(5.25dB)となり、目標バジェット(7.43dB)に対して、2.18dBの十分なマージンがあることがわかる。ここで示した10メートルという長さは、家庭用電化製品の室内配線接続には十分な長さであり、また、3.2.2項のシステム検証で実際に使用したプロトタイプケーブルのサンプル長でもある。

これらのほかに3.1.4項では、軸ズレ損失(図 3-5)、ギャップ損失(図 3-6)、曲げ損失(図 2-12)の3つのミスアライメントによる結合損失の評価を行ったが、これらによって生じる損失を、図 3-8 で示したパワーバジェットのマージンから切り崩していくことになる。マージンの量が多ければ、接続精度が低くても目標に収まるが、マージンが少なく厳しければ、損失を最小限に抑える接続精度が必要となる。

本研究で提案しているボールレンズを端面に装着することによって、ラフな精度で結合しても損失の増大が小さいことから、パワーバジェットのマージンに対する接続精度の設計が楽になり、部品製造工程や品質管理にも良い影響を与え、部品コストを抑えることが可能となる。逆に言えば、ボールレンズがない従来の結合方法の場合には、かなり精度良く接続しないと、パワーバジェット内に収まらないことが想像でき、通信不良を起こす危険性が高く、屋内での使用はあまり勧められない。要求を満たすために接続精度を高めようとするれば、コストがかかり消費者価格へも影響する上、接続時の取り扱いも難しくなってくる。したがって、本提案システムは屋内での使用に十分耐えられる性能とコストを持つと考えられ、住宅の通信配線設計において、高い自由度をもっていることを示唆している。

図 3-8 が示す通り、ケーブルが長くなると、パワーバジェットのマージンが少なくなってくる。長さが2倍の20メートルになった場合を考えると、長くなることで室内にとどまらず部屋間の機器接続も可能となって利用価値が高くなる。パワーバジェットは、5.80dBとわずかに上昇し、目標に対するマージンが1.63dBと若干下がるものの、まだ十分なマージン(1.63dB)がある。

本研究では屋内ネットワークへの活用を目指している。これまでのところ、パワーバジェットの目標以下に抑えるには、50メートルが最長である(図 3-8)。マージンがほとんど

ない(0.14dB)ので、リスクは高くなるが、本提案のボールレンズ方式であれば、ミスマライメントによる結合損失が非常に少ないので、50メートルまでの長さであれば十分に期待が持て、たとえば距離の長くないホームネットワーク市場への光通信実現の有力候補となり得る。

病院やオフィス、集合住宅などの屋内ネットワークは、50メートルより長い配線が必要な場合もあり、こうした用途に展開するためには、コネクタのメカニカルロス(2.04dB)を低減する改善が課題である。

3.2 非圧縮映像伝送の検証

この3.2節では、開発された光インターコネクットの活用事例として、高精細映像伝送のための光ケーブルとコネクタのプロトタイプを開発し、その妥当性の検証のための映像伝送実験を行ったことについて述べる。

3.2.1 光電ハイブリッド高速映像伝送インタフェース

高精細映像伝送の光化のためには、映像機器類からの信号出力、それとつなぐ映像機器への入力に光化されていることが前提である。しかし現実問題として、機器の入出力端子が光化されているものは非常に少ない。急にすべてを光化することは難しいため、過渡期として電気信号での入出力と光での入出力の両方ができるようにしておくことが重要である。

端子は全く電気のまま、伝送路は光に変換して伝送するアクティブ光ケーブル(AOC)も盛んに開発が進んでいるが、我々はもう一步進んで、映像端子の横に、新たに光端子を設けて、電気だけで接続することも、光と組み合わせて接続することもできる「ハイブリッドコネクタ」のプロトタイプを開発した。

このハイブリッドコネクタは、図 3-9 に示すような構造になっている。既存の映像電気信号の入出力方法としては、コンテンツ保護を厳格に行っているHDMIが消費者にも一般的に使われていることから、今回のプロトタイプ試作では、HDMIとの互換性を重視し、HDMIが規定するものと同等な信号の入出力ができる端子を基本に、その横に並べて、最大40Gbpsの伝送を可能とした光入出力端子を組み合わせて、コネクタ設計を行った。

この光端子の中には、本研究で開発した超小型ボールペン型光インターコネクタが、8チャンネル組み込まれている。各チャンネルに最大10Gbpsの信号が流せることから、4本ずつを双方向で利用すれば、最大40Gbpsの双方向伝送ができる。

プロトタイプ試作は、オスのコネクタ(プラグ側)とメスのコネクタ(レセプタクル側)をそれぞれ作成した。レセプタクルの左側、プラグの右側にHDMI Type-Aと同等のコネクタを付けた。通常のハイビジョン映像を伝送するためにはこちらが使われ、さらなる高精細映像の伝送には、光端子が使われる。

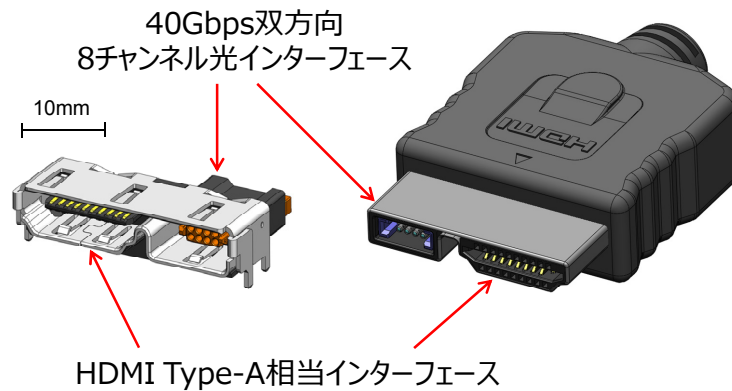


図 3-9 光電ハイブリッドコネクタ(試作品)

従来のハイビジョン映像伝送用コネクタ「HDMI」と同様の機能を備えながら、さらに高精細な映像を光通信で送受信できる光コネクタを組み合わせたもの。光コネクタには、8本のボールペン型光インターコネクタが組み込まれている。

3.2.2 4K3D非圧縮映像伝送によるシステム検証

本研究で開発したハイブリッドコネクタのプロトタイプを使用して、慶應義塾大学内の施設を利用して、4K3D 60i(画素数 3840×2160 、立体視左右デュアルストリーム、毎秒60フレーム、インターレース)の非圧縮映像を一方方向に、反対方向はフルHD 60p(画素数 1920×1080 、毎秒60フレーム、プログレッシブ)の非圧縮映像を同期させて伝送、同一部屋内の離れた2箇所の場所間で通信を行い、映像が途切れたり止まったりすることがなく、システムとして正常に伝送できる性能を持つことを検証した。

使用した映像は、2010年に慶應義塾大学とNHKメディアテクノロジー株式会社が共同で制作した約10分程度の4K3D映像コンテンツで、米国のRed.com社の4Kカメラ2台を、3Dリグを使ってハーフミラーを介してお互いに垂直に配置する3D撮影方式で収録を行ったものである。

映像は計測技研株式会社のUDR-20Sにデータ保存されているものを再生して上映された。図 3-10 は、その検証実験におけるデバイスとその接続を示すシステム構成図である。実験は、日吉キャンパスの協生館3階に設置されているCDF教室(Concurrent Design Facility)において2012年5月に実施し、非圧縮の4K3D映像を正常に伝送できることを確認した(図 3-11)。

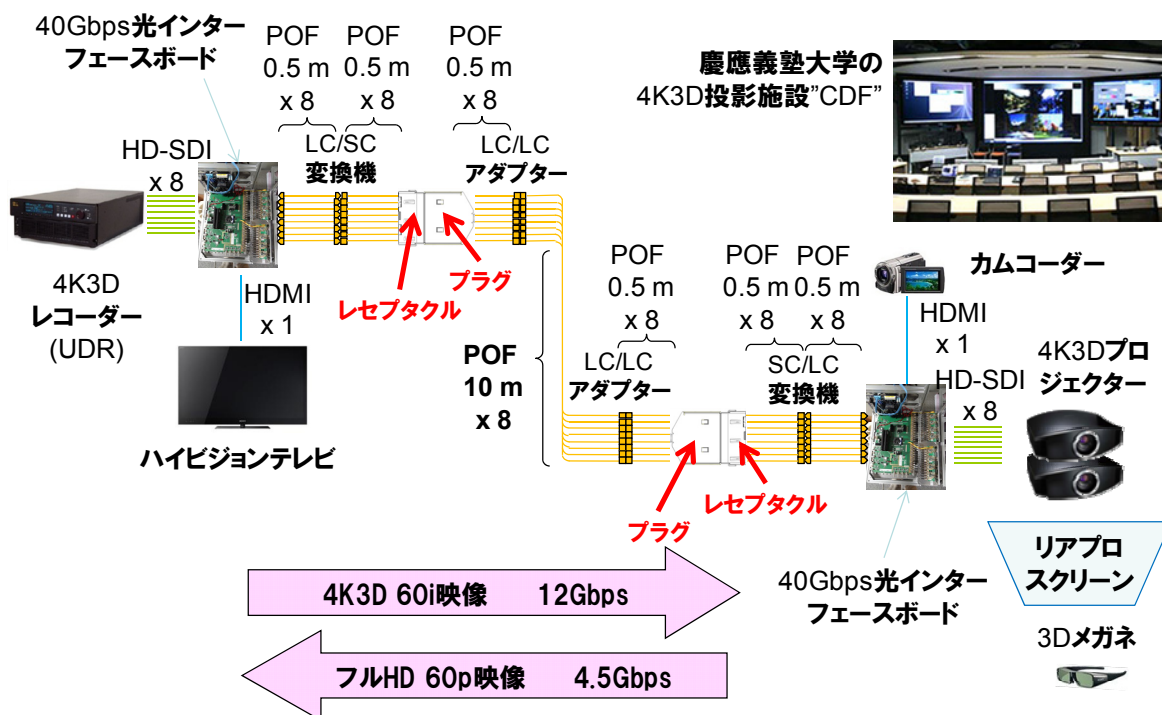


図 3-10 光電ハイブリッドコネクタを用いた検証テストのシステム構成

8チャンネルのボールペン型光インターコネクタを用いた4K3D高精細立体視映像を片方向に伝送し、逆方向にハイビジョン映像を返す現場を想定した検証テストを実施。



図 3-11 光電ハイブリッドコネクタに4K3D映像が流れたことを確認

光電ハイブリッドコネクタのプラグ(上)、4K映像伝送実験風景(左)、ライブ撮影の4Kカメラ(右)。4K3D映像は、別に録画しておいた「Light Connects」(慶應義塾大学とMHKメディアテクノロジーで撮影)を再生して流した。

3.2.3 ボールペン型コネクタ開発の結論

本研究では、ボールペンの製造技術を応用することで、一般屋内における高精細映像の非圧縮伝送に求められる低コストで接続が容易で、かつ安全で信頼性の高い高速光通信システムを提案し実証を行った。具体的には、全フッ素化屈折率分布型プラスチック光ファイバー(GI型POF)の端面に、ボールペン製造技術を応用して小型ボールレンズを装着した超小型光インターコネクタと、これを複数本組み合わせた新規コネクタつき光伝送ケーブルのプロトタイプを試作し、高精細映像を実際に流して検証を行った。

本研究の提案する全く新しいボールペン型光インターコネクタは、これまでハウジングの設計でボールレンズを組み込む必要があったのを、POFの末端に直接ボールレンズを装着する形で、ハウジングレスに超小型化していることが特徴であり、そのまま機器内の基板接続を行うジャンパー線としても使用できるほか、複数本組み合わせることで、高速通信コネクタとすることもでき、その本数や形状の設計も自由度が高い。

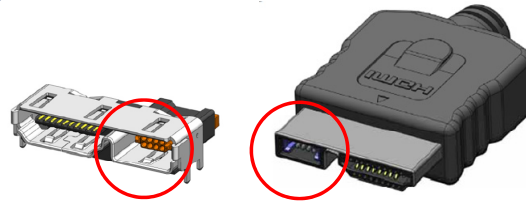
また、ボールレンズの装着工程が、ボールペン製造技術を応用しているために、非常に安価に大量生産ができ、かつ実績のある高精度のアライメントを達成できることから、極めて実現性と完成度の高い技術であるといえる。その性能についても本論文の中で示したが、ボールレンズによる接続の容易性、すなわち軸ズレやギャップが生じても、損失を最小限に抑えて結合できることが証明された。

パワーバジェットの評価結果では、ケーブル長50メートルを超える中距離伝送、たとえば病院やオフィス、集合住宅等のネットワークの光化などへの活用にあたっては、パワーバジェットにあまり余裕がないため、さらなる損失低減の改善が必要であるが、機器間接続のような室内の短距離伝送では、かなり余裕があることも分かり、実用性の高さを示すことができた。

この研究の応用として、これまでに図 3-12 のようなコネクタも開発している。ボールペンコネクタのサイズが超小型であるため、このように様々な応用が可能となっている点も、本研究成果の大きなメリットであるといえる。

- **40Gbps HDMI-like光電ハイブリッドコネクタ**

- 光8ch
- 4K3Dを光伝送
- FHDはHDMI伝送



- **120Gbps光コネクタ**

- 光12ch
- 8K伝送
- 5V電源供給



図 3-12 ボールペンコネクタ技術を応用した映像伝送用コネクタ

3.3 第3章のまとめ

以上のように、本章では以下のことについて述べてきた。

1. ボールペン技術を活用した新規光コネクタを開発した
2. 新規光コネクタが、要求された高精細映像の伝送が可能なことを検証した

4

第4章 高速光毛細管ネットワークの負荷予測

* * * * *

第4章では、高速光毛細管ネットワークの実現に向けたシナリオを提示し、その設計のために、近未来のスマートハウスを想定した小規模プロトタイプを作製、ネットワーク負荷を実測して、スマートハウス全体のトラフィックを予測した。このとき、高速光毛細管ネットワークがもたらす、スマートハウス内の新しい生活シーンのアプリケーションを、ブレインストーミングをもとに議論し、ネットワークを設計した。

また、高周波テレビ信号を光化する際の問題となっていた、デジアナチャンネルにつき、GI型POFで光伝送するとノイズが出ないことに着目し、このための送受信機を開発し、実際にテレビ信号が全チャンネル流れることを確認した。

* * * * *

4.1 高速光毛細管ネットワークの実現に向けて

これまで述べてきたように、屋内のネットワークを光通信により高速化するニーズと必要性は、近年十分に高まってきている。その実現に向けて、様々な分野で研究開発がなされてきているが、光通信で代表される石英系の光ファイバーは、扱い方に気を付けないと折れやすいため、現在使われているインフラやデータセンターでは問題ないものの、一般消費者が使う屋内使用には適していない。

インフラの場合、激しく折り曲げることなくほぼまっすぐに、空中または地中に敷設されることで、直接触れたり、物が載ったり、踏まれたりすることがない。データセンターの場合も、ガラスの欠点を十分理解した技術者によって接続され、パネルの裏側などに配線して通路に露出することがないので、触ったり踏まれたりすることがない。

しかし病院や住宅、オフィスなどの室内では、配線にあたって折り曲げが必要な部分も多く、余長は束ねて整理されるのが通常である。また、人の手に触れる場所に配線されており、その上を歩いたり、家具や椅子で踏みつけられたり、過酷な環境になることも多い。そのようなラフな使用には、現行の石英系光ファイバーでは耐えられず、曲げ箇所で光の減衰が生じたり、折れてしまったり、接続不良が生じたりしやすい。

こうした中で、高速光毛細管ネットワークを実現するには、図 4-1 が示すように、折れにくい光ファイバー(2.3節で述べた屈折率分布型プラスチック光ファイバー)や、そのための光のコンセント、レーザー光源と受け側のフォトダイオードなどの光モジュール、機器類のインタフェース、臨場感のある高精細・大画面ディスプレイなどが、順次開発されていかなければならない。

本節では、こうした高速光毛細管ネットワークの実現に向けたシナリオを提案する。

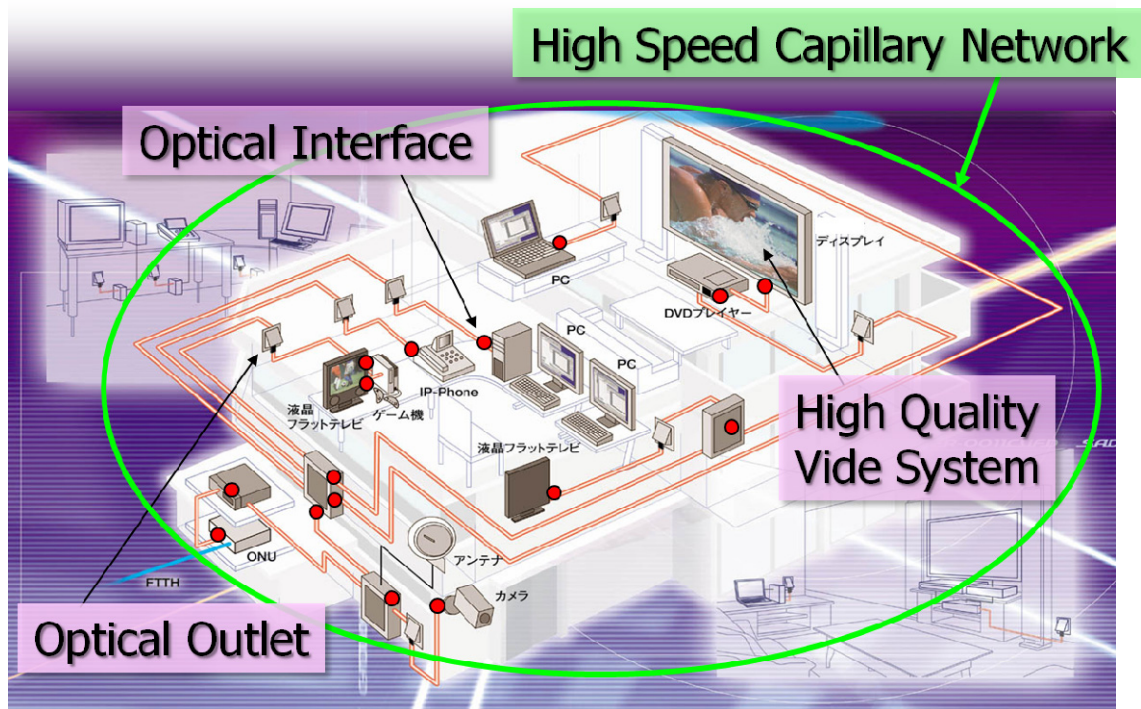


図 4-1 高速光ホームネットワークを実現するために必要なシステム
(慶応工学会 GigaHouse Town™プロジェクトの作成した図をもとに作成)

4.1.1 屋内ネットワークのアーキテクチャ

住宅やオフィス、病院、店舗、工場などの屋内ネットワークにおいて、通信の高速化のニーズと、その光化推進のための課題について述べる。

現在、住宅やオフィスなどの屋内ネットワークでは、映像の流れ(テレビ、DVDなど)、データの流れ(インターネットやPC作業など)、電話やFAX回線、その他の通信(エアコンや家電製品の制御、インターフォン、電力監視など)の4つ、またはそれ以上の異なる流れが存在している。

これらのデファクト標準が屋内に入り込んでいる状況で、複数の標準を接続する基本的なホームネットワーク校正を基本モデルとして提案したのが、住宅情報通信・放送高度化フォーラム(通称 宅内フォーラム)である[1]。宅内フォーラムで提案されたモデルは、ホームネットワークアーキテクチャとして、ITU-Tにて勧告化されている(ITU-T J.190)[2]。ここでは、上記4種類の流れを、それぞれ独立のサブシステムとして分類し、IPプロトコルとして束ねる概念が提案されている(図 4-2)。

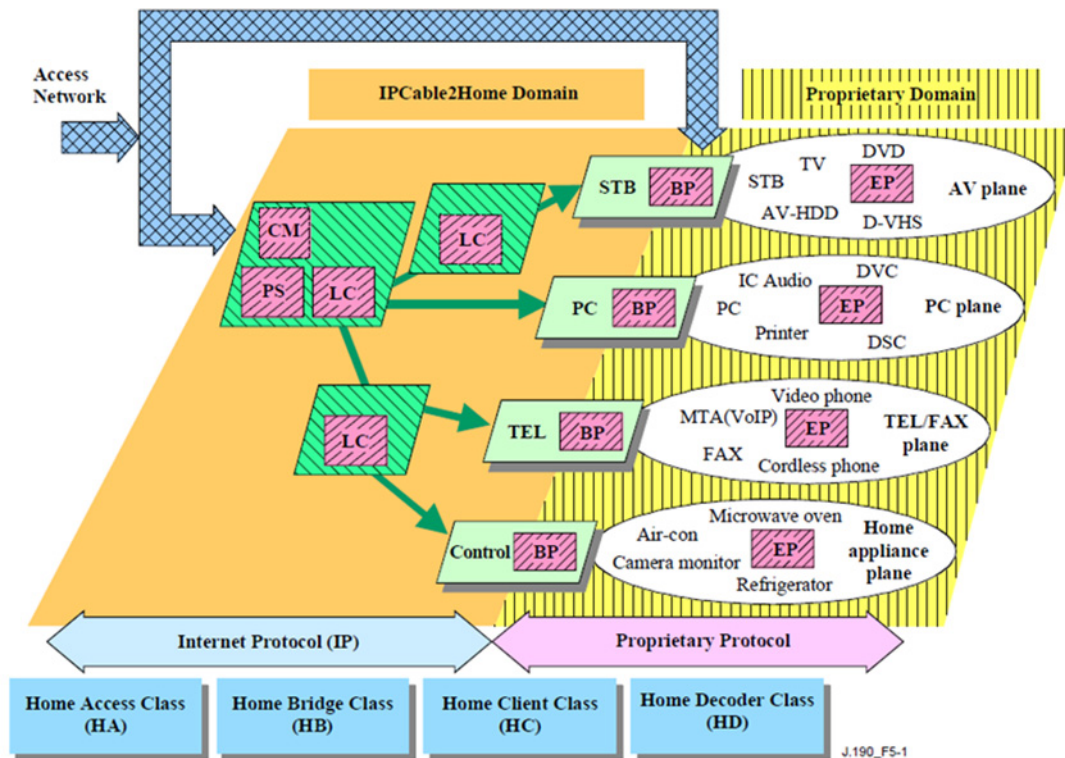


図 4-2 ホームネットワークの基本アーキテクチャ
(ITU-T Rec. J.190(07/2002)より) [2]

このアーキテクチャにおいて、右側のサブシステム(プレーン)は、それぞれのアプリケーションに相当する。図 4-2 では4種類のプレーンに分類されているが、これらは代表的なものであり、時代の変遷に応じてこれ以外のものも登場しうる。

それぞれのプレーン内では、独自のプロトコルや物理媒体が使われることもあり、特定領域プロトコル(Proprietary Protocol)ドメインと呼ぶ。たとえば、HEMSの通信プロトコルとして家電メーカーや電力・通信事業者などで策定したECHONET(Energy Conservation and Homecare Network)や、Zigbee、Z-Waveなどで接続された暮らし環境プレーン、IEEE1394、HDMI(High-Definition Multimedia Interface)、DLNA(Digital Living Network Alliance)などで接続されたAVプレーンなどがある。

そして左側がそれらを束ねる屋内IP(Internet Protocol)のネットワークで、IPドメインと呼んでいる。ここではプロトコルとして、TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)が使われている。これらのプレーン間の相互接続を行う際に、IPという共通のプロトコルを用いて、すべてのプレーンが相互に接続する形式を取っているのが、このアーキテクチャの指向するところである[3]。

本研究で注目している高精細映像に関して述べると、従来はアナログのAVケーブル

ルや、デジタルのHDMIなどに代表されるような、機器間をつなぐだけの一対一接続が主流であった。近年、ネットワークの発展により、映像データをホームサーバーに保存するなど、映像データの伝送がネットワーク経由でなされる必要性が増してきており、前出のDLNAなどは、デジタル信号をコンテンツの保護を維持したままネットワーク化するための標準となっている。

また、映像はエンターテインメントの領域だけでなく、住宅のインターフォンの画像なども、単純に映像をモニターするだけでなく、ネットワークを経由することで、映像を記録、解析することが可能となり、住宅の防犯などホームセキュリティの増強、安心・安全な暮らしにもつながっている。

さらにこうした環境は、一般の住宅だけでなく、ビジネス活動におけるオフィスや、病院・工場・店舗などの建物内の環境においても、高精細なテレビ会議、高容量データの伝送、防犯や機密保持等の部分で、屋内のネットワーク化が進んできており、高速通信の必要性が高まってきている。

4.1.2 屋内ネットワークの光化

こうしたニーズをもとに、屋内のネットワークを従来の電気による通信から、光ファイバーによる通信へと置き換えるべきであるという考え方は、長い間検討されてきているが、現状の石英系光ファイバーが長距離インフラ回線用に開発されてきた関係で、屋内用途に必ずしもミートしていない。(この詳細については、2.3節、および3.1節でプラスチック光ファイバーとの比較として述べた。)

FTTHの普及により、日本では大多数の建物の壁までは、図 4-3 のように、光で接続されている。しかし、その光が、建物内の光回線終端装置(ONU)まで達した後は、インターネットも電話も、ケーブルテレビも、すべて電気信号となって、LAN、電話線、同軸ケーブルを介して伝送されているのが現状である。

もし、ONUの先も光で伝送できるとしたら、より多くの情報を高速で得ることができるとともに、外部との通信のみならず、内部の環境も大きく変化すると考えられる。つまり、光によって作られた屋内ネットワークが、ローカルな高速通信環境として機能することによって、屋内に存在するあらゆる機器類を集中管理することができ、建築物の経年劣化の記録管理や、居住者のライフログの蓄積・解析、データや映像の共有など、様々な用途がスムーズに行えるようになり、生活の質の向上につながると考えられる。

従来、データ伝送はツリー型の考え方で、外部と内部のダウンロードとアップロードのやり取りを中心に考えてきたが、今後はメッシュ型となり、内部だけでも情報のやり取りが盛んになり、新しい機能が生まれてくるものと期待される。

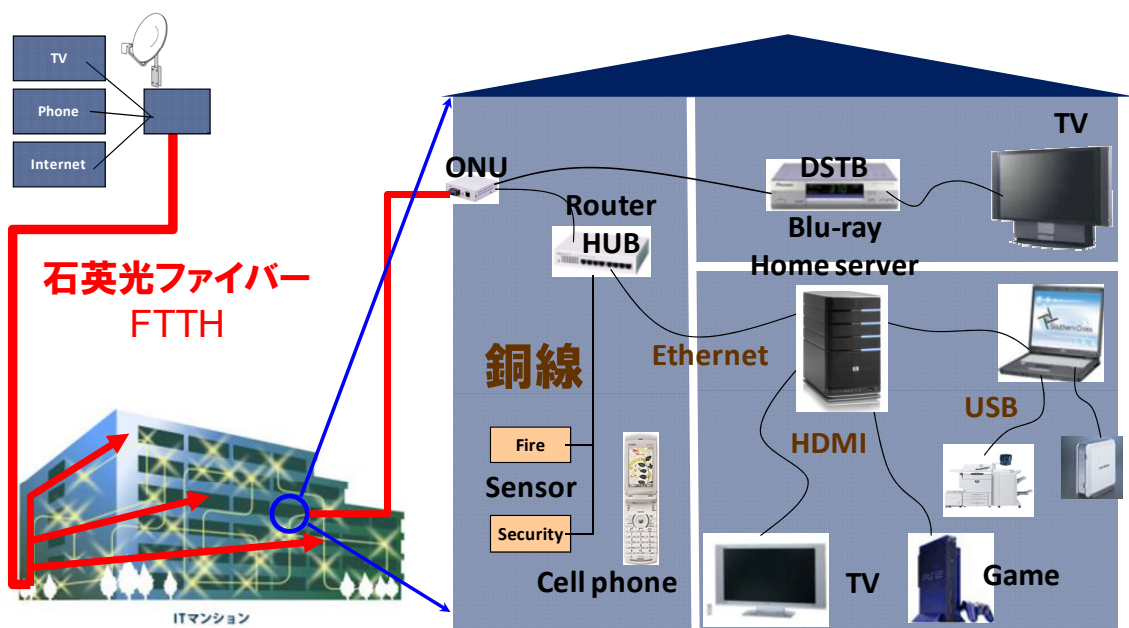


図 4-3 FTTHで建物の壁まで光が来ているが屋内はまだ銅線である

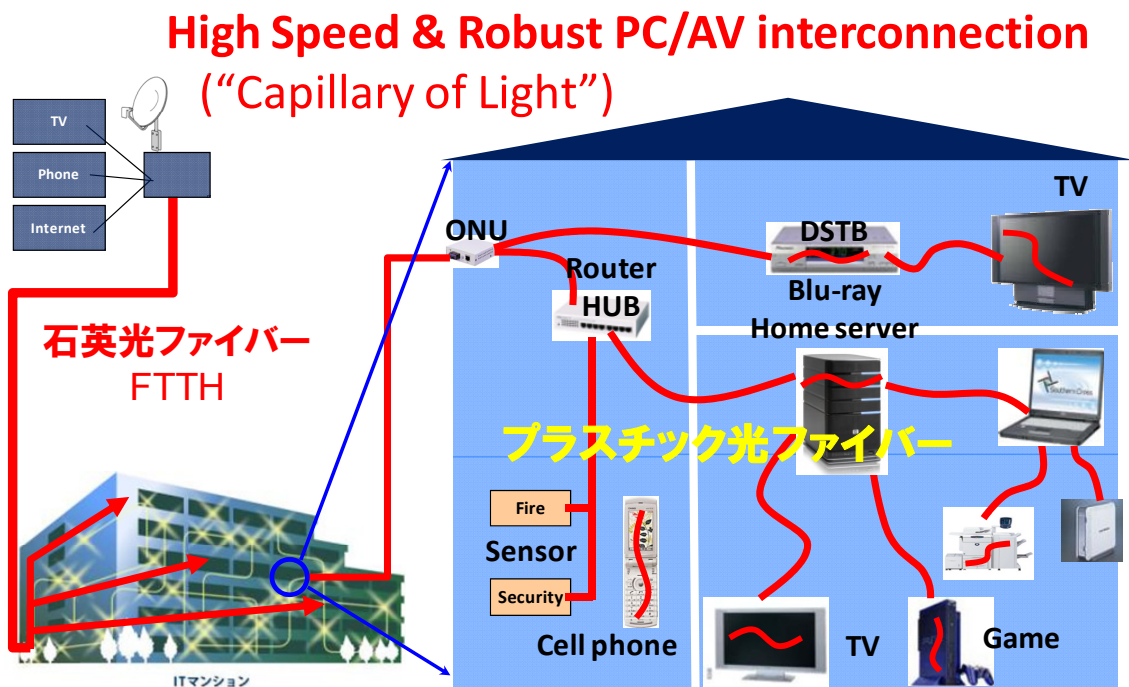


図 4-4 屋内を光化することで毛细管ネットワークが構築される

図 4-4 は、現状の銅線による建物内配線を、将来の光によるネットワークに置き換えた想像図である。高速の通信環境が、建物内でネットワークになっており、ルーターやホームサーバーを介して、あらゆる機器がつながり、相互のデータ共有がなされる状態になる。本研究では、このような屋内の光ネットワークの将来像を「光毛細管ネットワーク」と呼ぶことにする。

これまでの通信は、屋外のインフラ基幹回線から、ツリー状に情報が流れ、ダウンロード、アップロードする形であるが、この状態のままでは末端の各々の機器類が、大量のデータの送受信を行うと、基幹回線の負荷が高くなりすぎて、スムーズな送受信ができなくなる。光毛細管ネットワークは、基幹回線からのツリー型ではなく、建物内のネット枠でのメッシュ型になっており、情報のやり取りが必ず屋外に出ていくということはない。ホームサーバーが、データセンターになった小さなコミュニティの状態と考えることができる。

外部との映像によるコミュニケーションが必要な場合は、テレビ会議システムやSkypeのようなウェブチャットを用いることになる。しかし、本研究が目標としている臨場感あふれるFace-to-Faceの対話ができるようになるには、高画質な映像を遅延なくリアルタイムで伝送することが必要になってくる。

フルハイビジョン映像の場合は、そのまま非圧縮でリアルタイム伝送すれば遅延を起こさないリアルタイム対話ができるが、伝送容量が大きく、1.5Gbps～3Gbpsの帯域が必要で、現在のネットワークやインフラシステムでは流すことができない。

そこで、ソニー株式会社の協力によって特別に開発された低遅延伝送装置 Communication Boxを、Home Gate Wayの手前に、置くことを提案した[4]。図 4-5 に、このCommunication Boxを用いた遠隔コミュニケーションのイメージを示す。このBoxは、高画質の映像を、200Mbpsくらいのサイズに軽く圧縮をかけて、NGN (Next Generation Network) または専用回線を介して1フレーム以下の遅延で通信するものである。

このCommunication Boxを用いることで、遠隔地にいる家族や同僚、ビジネスパートナーなどと、あたかも目の前にいるような臨場感にあふれ遅延のないコミュニケーションが可能となる。遅延がなければ、双方で一緒に歌を歌ったり、じゃんけんをしたり、インタラクティブな遊びや会話が可能となり、現状のテレビ会議システムでは得られない臨場感が出てくる。

本研究論文では、このBoxの開発についてはスコープ外として詳細に触れない(6.2節にて今後の課題として簡単に紹介する)が、基本となる技術は、ソニーが放送局の中継用に、スタジアムなどの広い場所の映像を中継車まで低遅延で圧縮伝送するための技術を応用しており、遠隔通信用ではないが、我々の研究によって遠隔通信への応用が可能なことを証明することができた。建物内のLANを使った実験[4]では、医師と患者

を両側に置いて映像を流し、インタラクティブに患者の様子を問診と視診で診察することに成功している。また、慶應義塾のキャンパス間通信として、信濃町キャンパスと矢上キャンパスの間の専用回線を用いて、ハイビジョン映像及び、4K 60i映像をこのBoxを使って低遅延圧縮して長距離伝送することにも成功している。

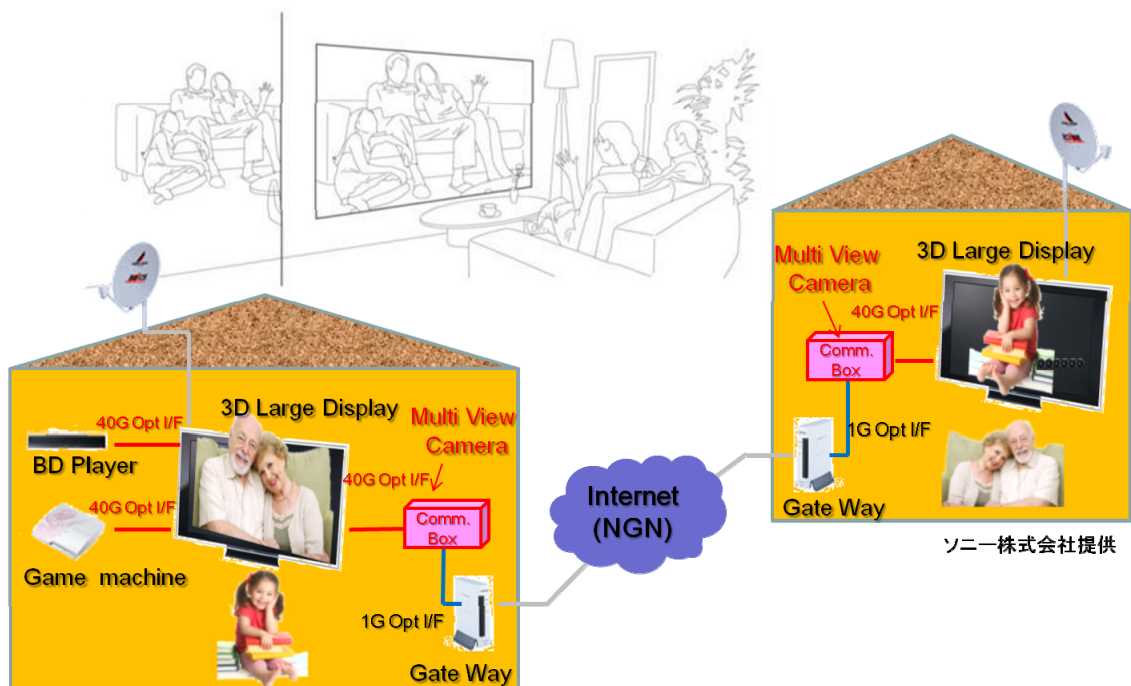


図 4-5 屋内の高速光ネットワーク同士は既存回線でつなぐ

4.2 スマートハウスのネットワーク負荷

高速な光ネットワークが住宅内に張り巡らされていると、どのようなことが可能になってくるのか、本節では光によるスマートハウスについて考えてみる。

4.2.1 光通信によりHEMSを進化させたHMMCS

光による高速通信ネットワークは、現在の電力消費量の制御を中心とする、ホームエネルギー・マネジメントシステム (Home Energy Management System; HEMS) [5,6] に加えて、高精細映像を使ったコミュニケーションシステム、大画面高臨場感のエンターテインメントシステム、玄関監視モニターなどのセキュリティシステム、住宅の環境や住人の行動をモニタリングするライフログシステム等を付加させても、ネットワークに過剰な負荷をかけることがない。これを本研究では、ホームモニタリング・マネジメント&コミュニケーションシステム (Home Monitoring, Management, and Communication System; HMMCS) と呼ぶことにする。HMMCSのある家庭のイメージを図 4-6 に、またHEMSとHMMCSとの違いを表 4-1 に示す。

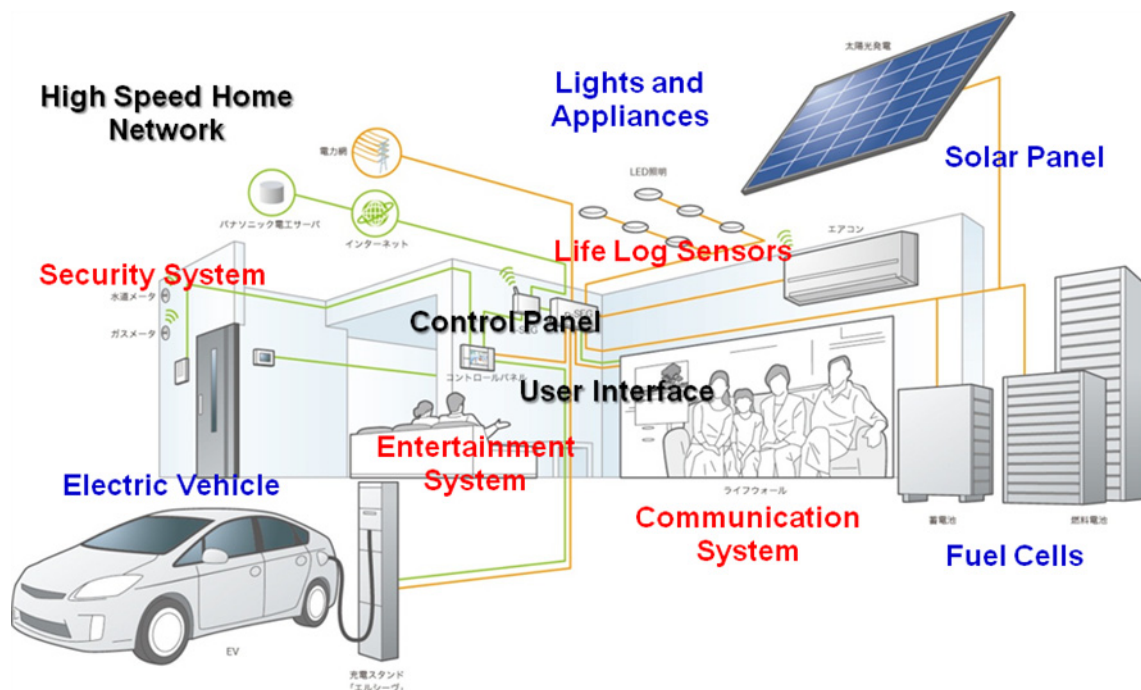


図 4-6 高速光毛細管ネットワークを持つスマートハウスのイメージ

表 4-1 従来のHEMSと提案するHMMCSが達成する機能の比較

	HEMS	HMMCS
Monitor electricity consumption	✓	✓
Show history of electricity consumption	✓	✓
Control appliances	(✓)	✓
Monitor room environment	(✓)	✓
Interconnect with web services	(✓)	✓
Record life log	(✓)	✓
Store & broadcast movies		✓

こうした高速光毛細管ネットワークを活用したHMMCSが建物、とくに住宅に導入された近未来を想像し、私たちの生活がどのように変化するのか、ブレインストーミングを数回繰り返して議論してまとめた結果を示す。参加したチームメンバーは、慶應義塾大学大学院の学生・研究員10名、および関連する産業界から8社22名である。

まず参加者全員で、HMMCSの導入されたスマートハウスを想定し、「誰が何時、何処で何をどうするのか」の4W1H(Who, When, Where, What, How)を思い描き、自由にアイデア出しをして代表的なものをまとめたものが表 4-2である。これを、NHK放送文化研究所の「国民生活時間調査報告書」[7]における行動分類に合わせて整理し、より具体的な145件の生活行動に落とし込み、HMMCSに含まれる機能と関連付けたものを、表 4-3 に、そしてこの中から主要なものをいくつかを抜きだして、一日のスケジュールとして可視化したものが、図 4-7 である。

このようにして得られたHMMCSによるアプリケーションを、近未来のスマートハウスの設計に当てはめたものを、図 4-8 に、それらに必要な機能と関連付けたネットワークの構成例を、図 4-9 に示す。

表 4-2 想定されるアプリケーションをシナリオグラフでブレインストーミング

エンタメ	コミュニケーション	省エネ・エコ	健康・UD	快適・便利	学習	セキュリティ	防災
・大画面アルバム ・大画面スポーツバー ・大画面ゲーム ・大画面旅行計画 ・大画面アクアリウム ・バーチャルライブ	・リアルサイズ 双方向映像ネット ・運動会シアター ・訪問・話し相手 サービス ・交流ライブログ ・内線通話時刻 ・外線通話時刻 ・外線通話時刻 ・だんらん時刻 ・だんらん時間 ・親子交流時間 ・双方向利用時刻	・エコマネシステム (ライフインティイ) ・環境ライブログ ・部位別温度/湿度 ・温度/湿度変化 ・空気清浄度 ・換気頻度 ・外気温/湿度 ・家族別 快適温度/湿度 ・設備運転ログ ・エアコン設定 ・エアコン動作 ・空気清浄機設定 ・空気清浄機動作 ・IH動作 ・電気設備ライブログ ・機器経年 ・機器修理メンテ ・機器別消費電力 ・機器別劣化状態 (照度劣化など) ・マイカーライブログ ・スベック管理 ・ガソリン/電気消費 燃費 ・部品交換情報 ・ETC情報 ・カーナビバージョン ・音楽データ	・介護予防サービス ・医療情報サービス ・サブリアドバイス ・食事指導 ・オーラルケア ・筋力トレーニング プログラム ・生体ライブログ ・体温 ・血圧 ・心拍数 ・血糖値 ・尿検査 ・運動量 ・顔色/表情 ・栄養診断ライブログ ・摂取カロリー ・摂取栄養素 ・塩分摂取量 ・等分摂取量 ・サブリアルライブログ ・常用サブリ名称/数量 ・病歴ライブログ ・健康診断情報 ・かかりつけ医師 ・病歴 ・摂取薬物名/量/日時 ・カルテ情報 ・体カライブログ ・体力測定情報 ・基礎体力情報 ・トレーニングログ ・トレーニング効果情報	・快適環境サービス ・経作業駆け付け サービス ・バーチャル自然癒し ・行動ライブログ ・家族認識 ・移動パターン ・利用部位 ・利用時刻 ・部位別滞在時間 ・消費ライブログ ・消耗品購入記録 ・ネットショッピング記録 ・食品ストック情報 ・料理ライブログ ・メニュー記録 ・食材記録 ・家族別カロリー記録 ・消費電力/ガス/水 ・入浴ライブログ ・家族別入浴時刻 ・家族別入浴時間 ・消費電力/ガス/水 ・ワードローブログ ・ワードローブ管理 ・コーディネート ・クリーニング日時 ・着衣 ・建材ライブログ ・部材スベック ・部材経年トレース ・耐力壁負荷量 ・リフォームトレース ・定期診断情報	・カルチャースalon ・大画面アトラス ・大画面ドキュメンタリー ・天井ブラネタリウム ・学習ライブログ ・学習時刻 ・学習時間 ・回答時間 ・正解率 ・学力 ・得意/苦手分野	・AI目番サービス ・AI目番者警備 ・町内セキュリティ ・訪問者ライブログ ・顔認識データ ・音声認識データ ・コスチューム ・ロゴマーク ・姓名 ・訪問日時 ・訪問回数 ・家族との関係 ・対応(入・不・無視) ・近隣ライブログ ・顔認識データ ・音声認識データ ・車種 ・車ナンバー ・コスチューム ・ロゴマーク ・姓名 ・観察日時 ・観察回数 ・家族との関係 ・警察情報	・火災見張りサービス ・近隣火災通報 ・逃げ遅れ通報 ・防災ライブログ ・住警器動作ログ ・住警器テストログ ・喫煙検知日時 ・近隣火災情報 ・家計マネジメント ・資産管理 ・わが家スケジュール

表 4-3 ブレーンストーミング結果の行動分類ごとの整理

[illegible]

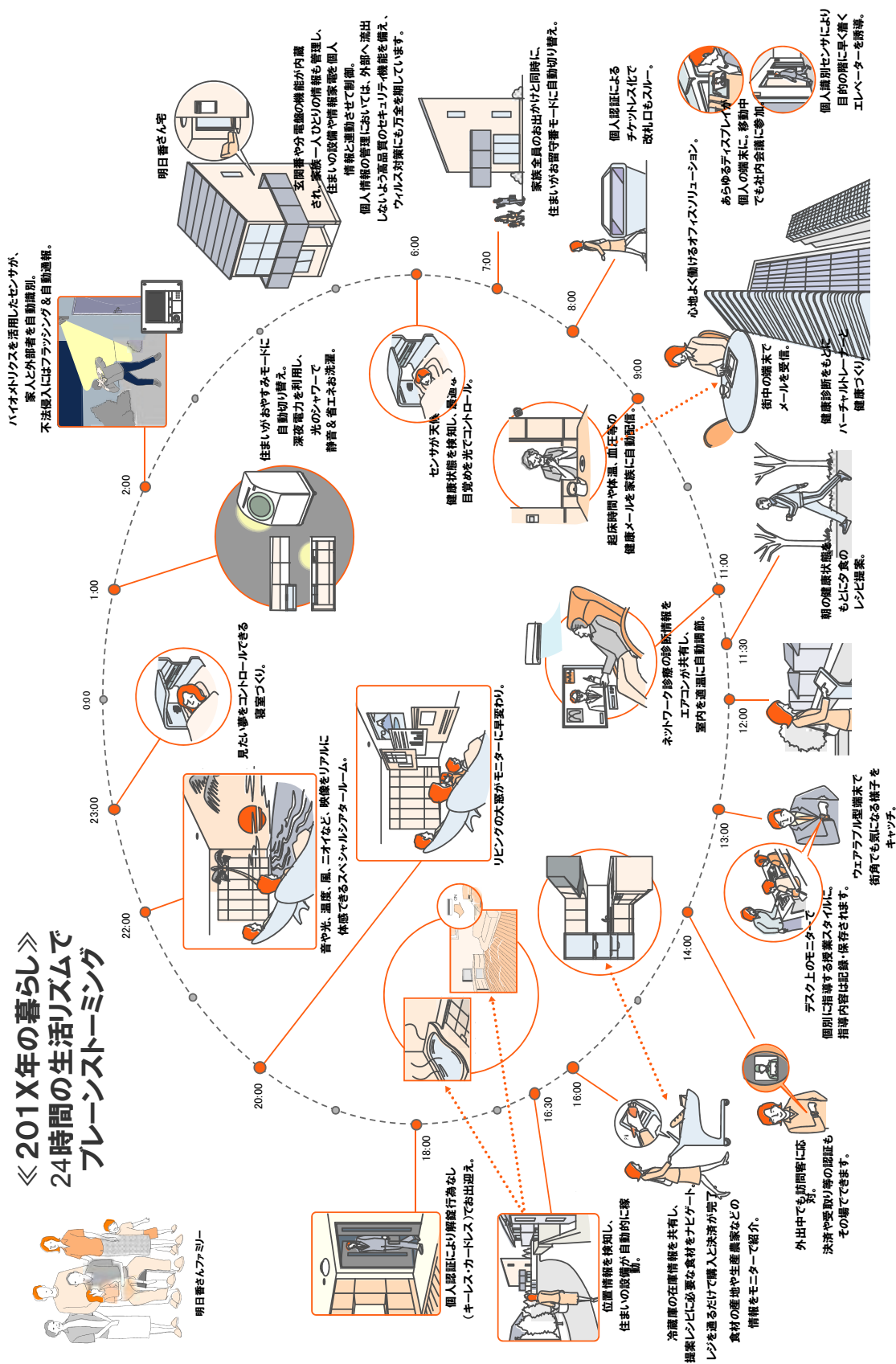


図 4-7 近未来の暮らしを想像したブレインストーミング

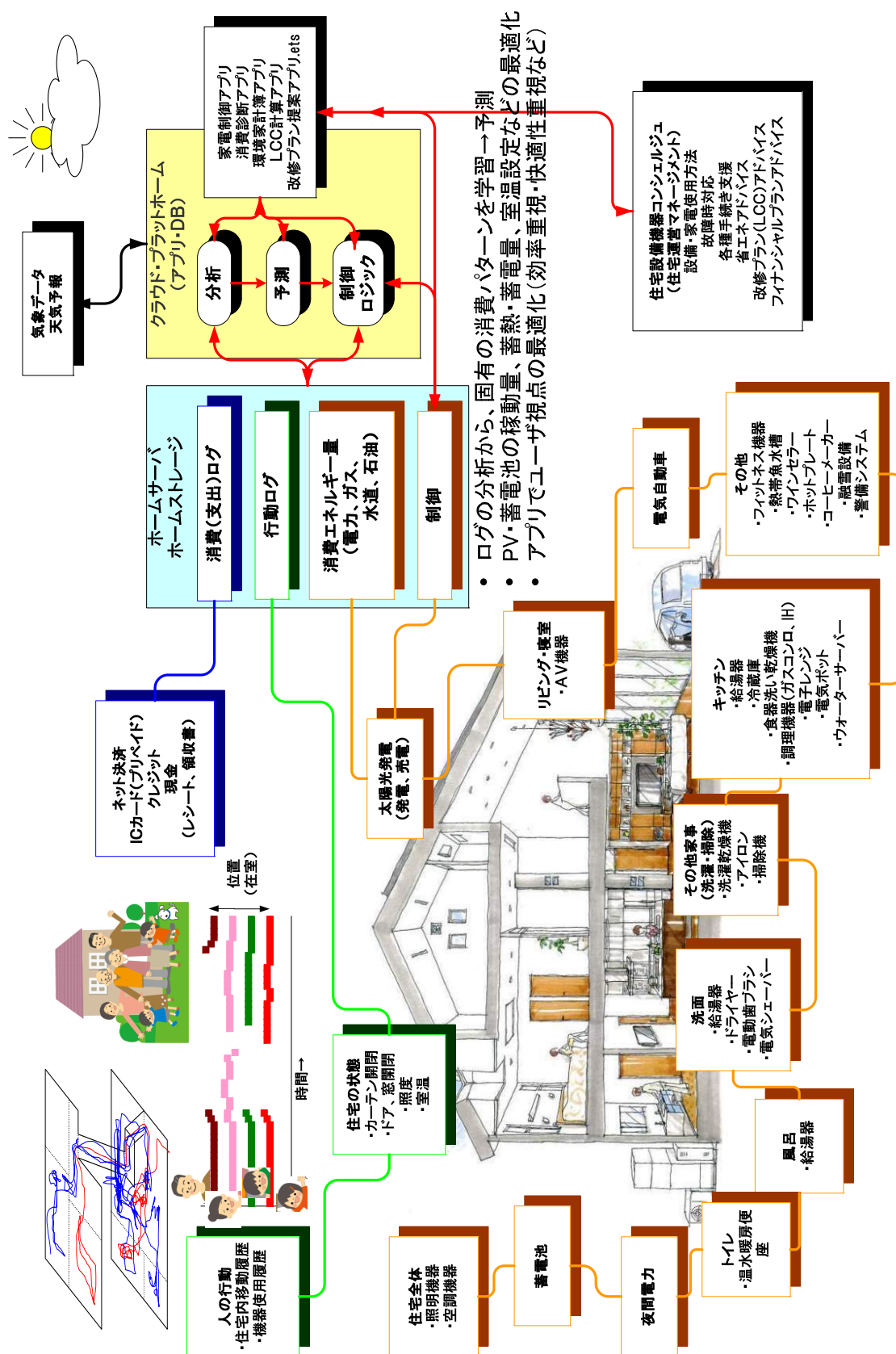


図 4-8 想定されるアプリケーションのスマートハウスへの導入

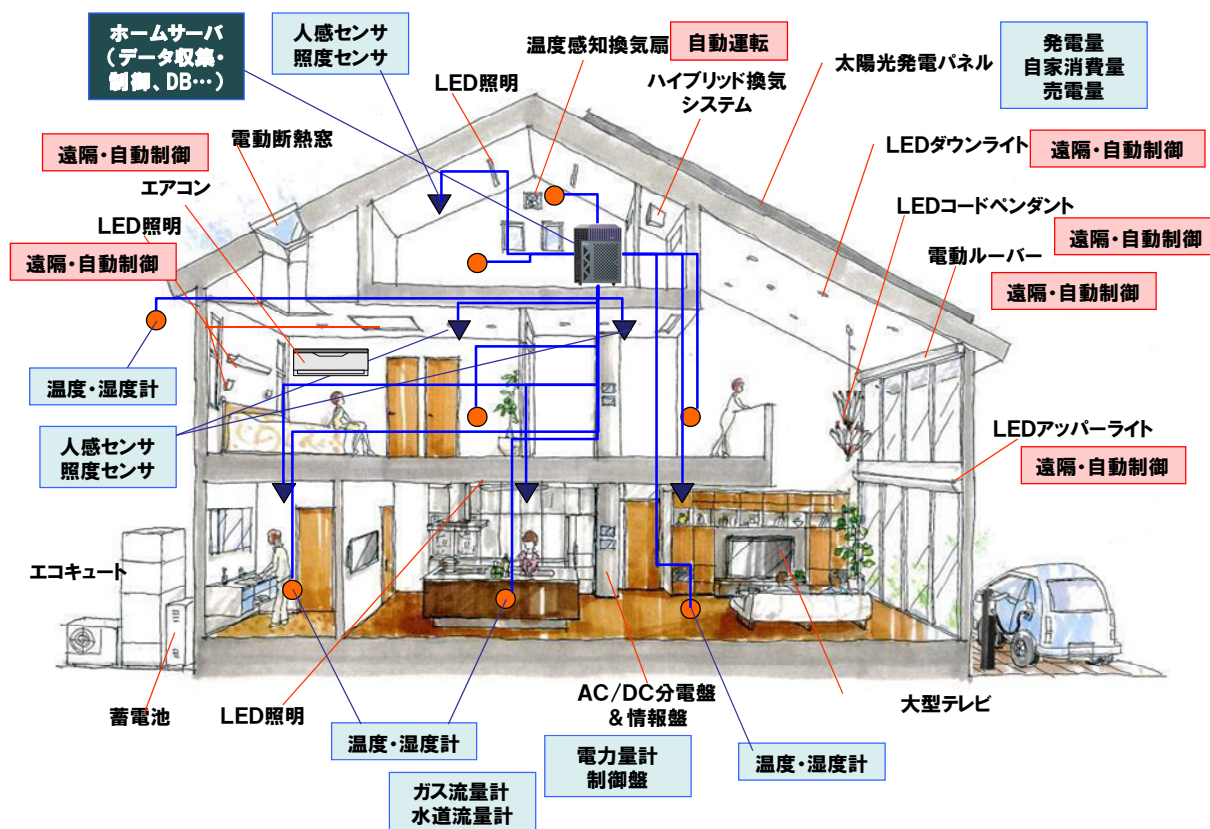


図 4-9 スマートハウス内の高速光毛細管ネットワーク例

4.2.2 HMMCSのプロトタイプ作成

HMMCSの有効性を評価するために、まずはスマートハウスを模したミニスケールのプロトタイプを作成した。このプロトタイプを使って、スケールアップした際の通信環境の負荷がどの程度になるかを試算し、光通信の必要性を述べる。

(1) ユーザーインタフェース端末の試作

ネットワークを集中管理できることも、HMMCSの特徴である。住宅内のあらゆる環境をモニターし制御するためのモバイル端末を、タブレットPCを改造して試作した。電化製品や照明器具のON/OFF、ビデオの再生、エネルギー管理などを可能とする端末を想定したが、試作品はミニスケールのHMMCSプロトタイプを動かす機能だけを実際に組み込み、その他の機能(エネルギーマネジメントなど)は、モックアップでダミーの画面だけ作成した。

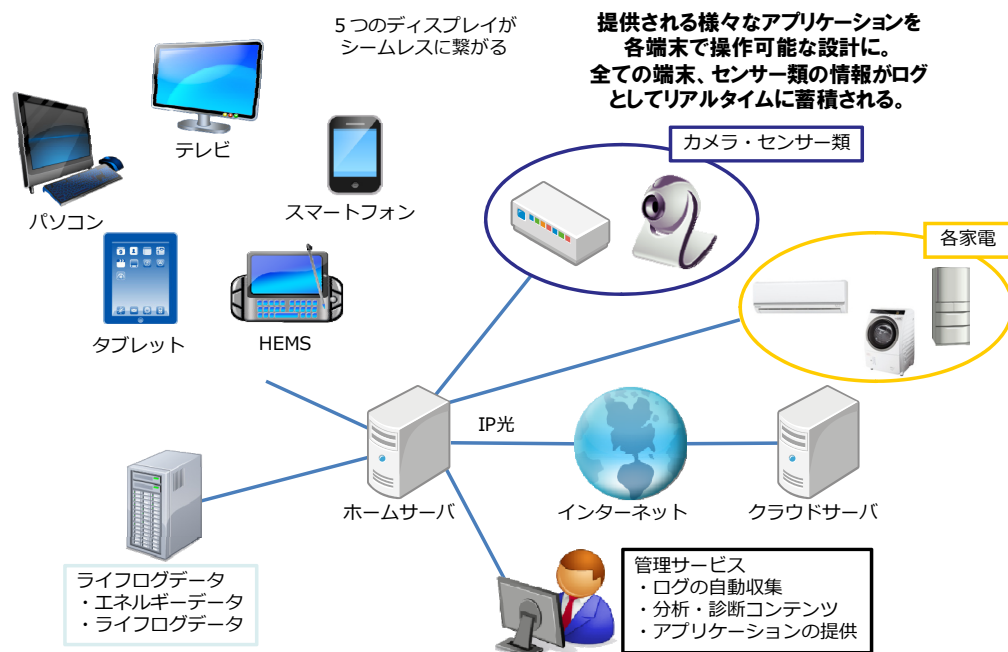


図 4-10 HMMCSネットワークの機器接続イメージ

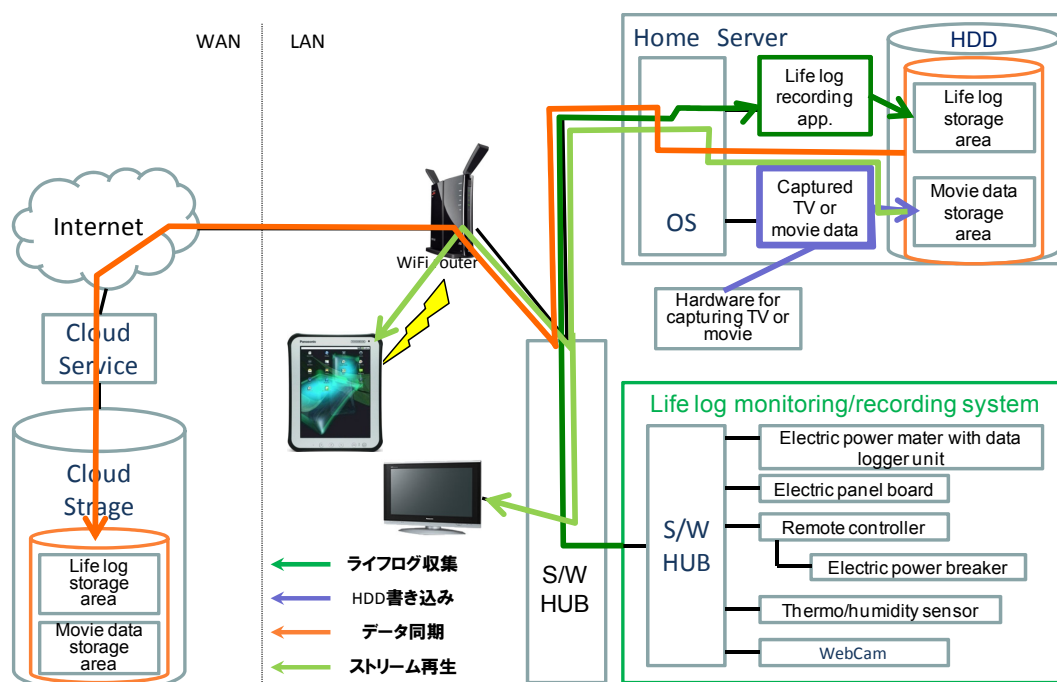


図 4-11 HMMCSネットワークの接続図とデータフロー

(2) ミニスケールのHMMCSプロトタイプ

次に、HMMCSスマートハウスをミニスケールで再現したプロトタイプを作成した。スケールは小さいが実際に動作するように作成している。プロトタイプのネットワークには、現状手に入りやすい銅線ケーブルを中心に構築し、一部に光ファイバーを用いた。スケールが小さいために通信環境の負荷が少なく、光ネットワークにする必要がなかったことも理由の一つである。

ネットワークに接続する機器類を並べて図式化したものが、図 4-10、そのネットワーク構成図を、図 4-11 に、実際のプロトタイプの写真を、図 4-12 に示す。

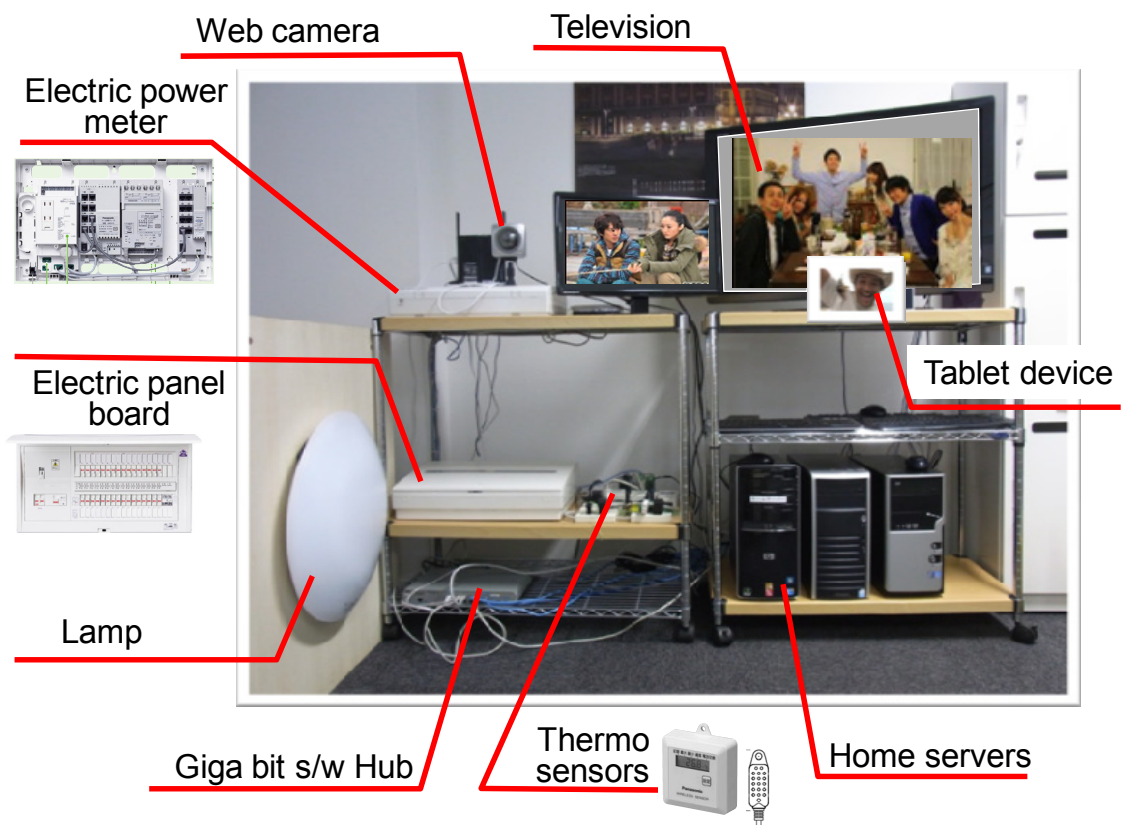


図 4-12 HMMCSコンセプトの小規模プロトタイプによる検証

4.2.3 プロトタイプによるネットワーク負荷の測定

作成したミニスケールのプロトタイプを、ユーザーインタフェース端末を用いて実際に動作をさせ、各作動時のトラフィック量を計測したのが、表 4-4 である。この表には、それぞれの機器をスケールアップ時に想定する台数を係数として掛けたスケールアップ時の想定値を載せている。表の「Qty.」の欄が掛け算した係数である。

これらの合計からわかったことは、HMMCS環境のスマートホームにおいて、再大事には連続して300Mbps近くのデータが流れる可能性があることである。1G LANで足りるトラフィックではあるが、第5章で述べるような高精細な映像を必要とする場合には、映像は非圧縮伝送が求められ、フルハイビジョンの場合は1.5Gbpsのトラフィックが流れ、1G回線では間に合わなくなる。もし4部屋で同時使用すると6Gbpsまでトラフィックが増加することから、非圧縮映像を考えた場合、10G回線が好ましい。

また、将来のさらなる高精細化(4Kや8K放送)を考慮すると、圧縮した映像であっても、高速な通信を準備しておく必要性が十分にあるといえる。とくに8K放送は、2020年東京オリンピックで実用放送の予定になっている[8]。

表 4-4 プロトタイプの実測トラフィックによるスマートハウス全体の予測

Category	Action	Qty.	Data traffic [Mbps]	Frequency
Home movie sharing	Capturing TV programs	8 channels	12.8	All time
	Playing Recorded TV	4	55.36 (6,000)*	* 非圧縮ハイビジョンのテレビ視聴の場合
	Playing on tablet device	4	55.36	
	Getting program info.	4	7.31	
Following the fashion	Getting contents	4	14.71	
	Getting hot keywords	4	1.56	
Web camera movies /pictures sharing	Watch web camera movies	4	55.36	All time
	Watching recorded movies	4	6.24	
Energy & environment monitoring	Electric power	30	0.01	All time
	Thermo/humidity sensor	4	0.03	All time
	Watching recorded data	4	11.37	
Food management	Stocked foods management	4	33.89	
State of appliances	Monitoring	4	33.89	
Maximum total data traffic [Mbps]			287.9 (6,000+)*	

4.3 高周波信号の屋内光配線

ホームネットワークの光化、「光の毛細管」構想の実現には、まず初めの段階として、テレビ信号を流す太くて硬い同軸ケーブルを、細くて曲げやすいGI型POFに置き換えていき、光配線の実績を作ることにある(図 4-13)。

4.3.1 高周波信号の光化のメリット

FTTHが普及し、インターネットのみでなく従来アンテナから受信していたTV-RF信号も、NTTのフレッツテレビサービスでは光ファイバーを通じて送信され、GV-ONUから同軸ケーブルで屋内のTVまで配線されている。この同軸ケーブルを柔らかく曲げに強く折れない安全なPOFに交換できる光送信器受信器を、イーラムダネット株式会社と共同で研究開発した。

今ではテレビはどの家庭にも存在し、そのほとんどが同軸ケーブルによってアンテナから、もしくはFTTHを経由してONUから繋がっている。図 4-14 は、典型的な戸建て住宅のテレビ受像のための配線施工図である(ケイ・オプティコムによるFTTH光テレビの事例)。とくに既築の住宅にあとから配線施工するような場合、太いケーブルを配線するために壁に穴をあける必要が生じたり、室内にむき出しで配線せざるを得なくなったりする 경우가多く、美観上の問題となっている。

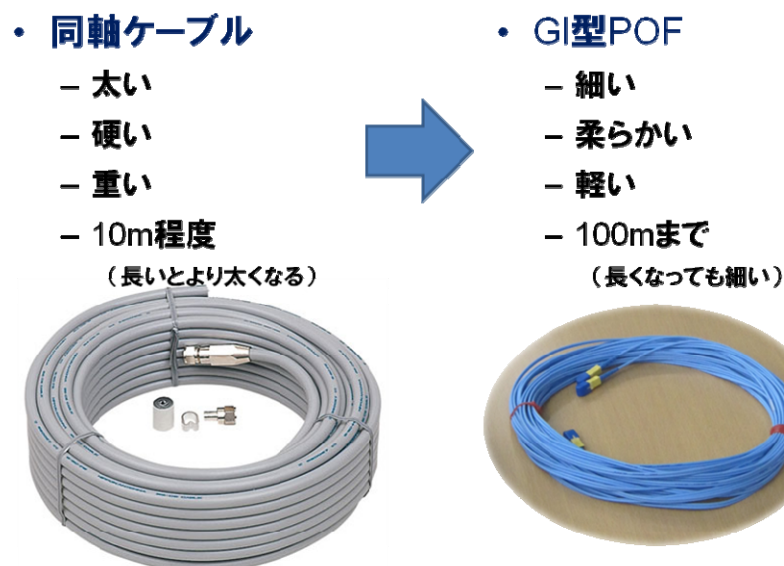


図 4-13 高周波信号を伝送する現行の同軸ケーブルとGI型POFの比較

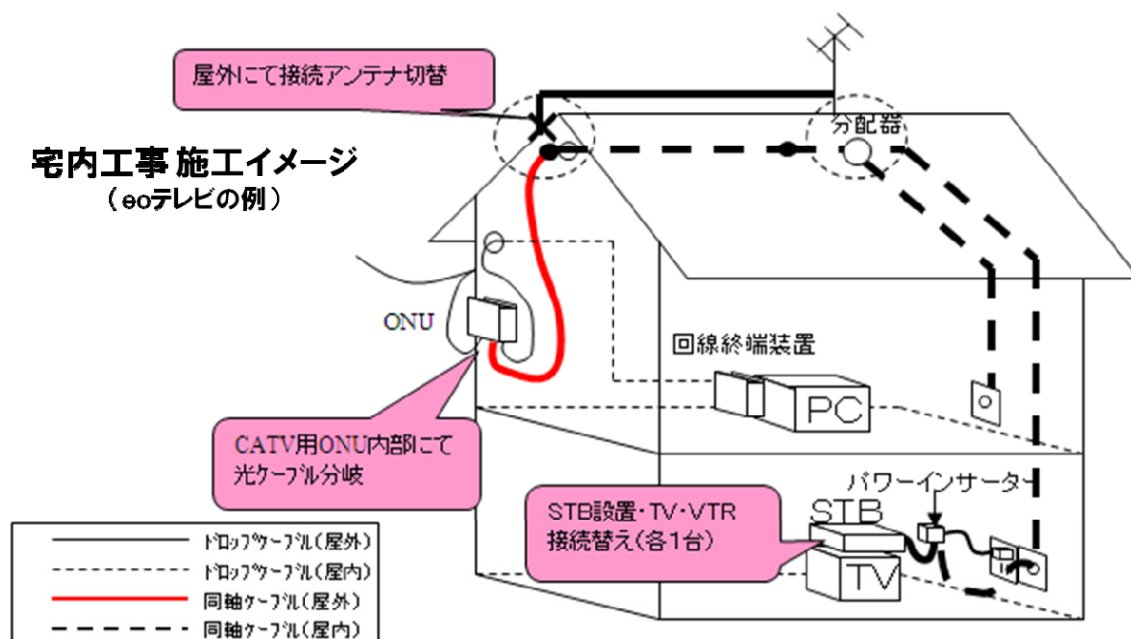


図 4-14 光テレビの配線工事の施工イメージ(現状)
(ケイ・オプティコム提供)

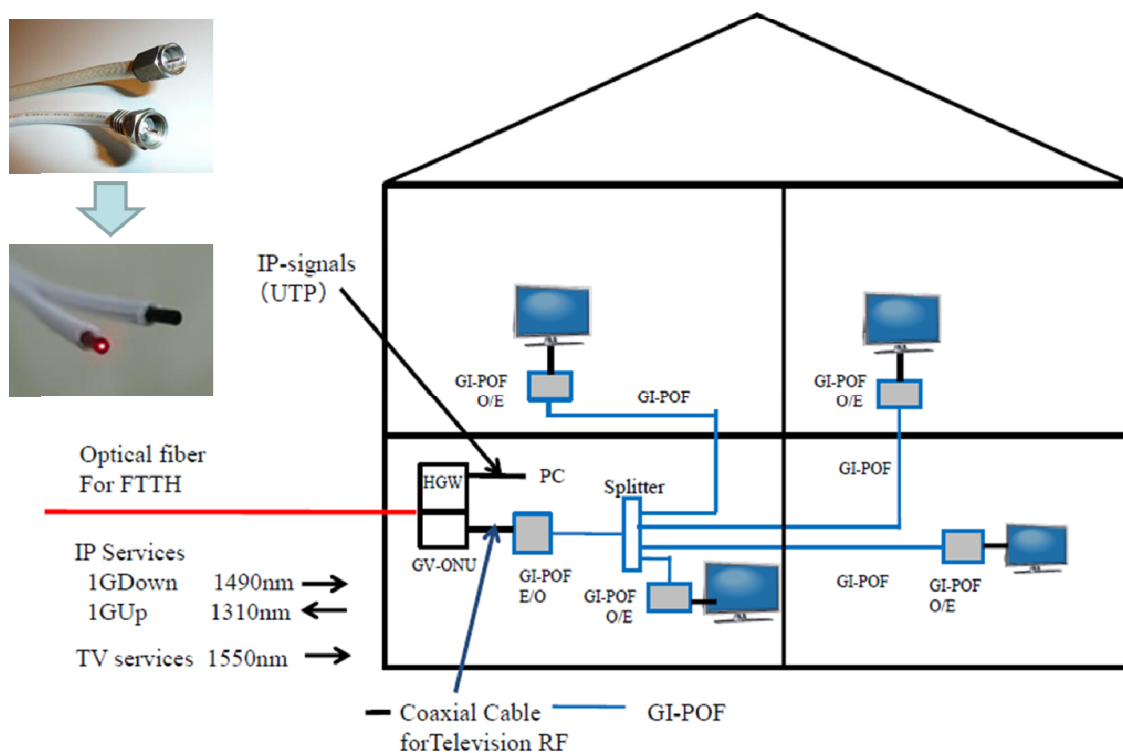


図 4-15 現行の同軸ケーブルをGI型POFで置き換え

細くて柔軟なPOFであれば、壁に沿って配線してもほとんど目立たず、隣の部屋や上下階をつなぐ際にも、壁に穴をあけることなく、ドアの隙間を配線してもドアの開け閉めに影響することがない。石英系ファイバーの場合は、ドアにはさまれて折れてしまう危険性があるが、POFでは問題にならない。また、長尺になっても重さが同軸ケーブルより格段に軽いので、施工作業がしやすいメリットもある。GI型POFでテレビ信号を戸建て住宅の各部屋まで張り巡らせたイメージを図 4-15 に示す。

4.3.2 テレビ信号光化におけるチャレンジ

テレビの光化におけるチャレンジは、信号がデジタルではなく、高周波変調された搬送波である点にある。デジタルのON/OFF識別とは異なり、光電変換部分において、電流値を光の強度にリニアに変換する必要がある。光源になる面発光レーザー (Vertical Cavity Surface Emitting LASER、VCSEL) の選択に当たって、このことが非常に重要になる。

図 4-16 は変換の直線性に優れたVCSELの評価結果である。図の中に赤いだ円で示したところが直線性のある領域であり、変換に当たっては、これより電流が少なくてもいけないし、多すぎてもいけない、決まった範囲に入っていることが必要とされる。

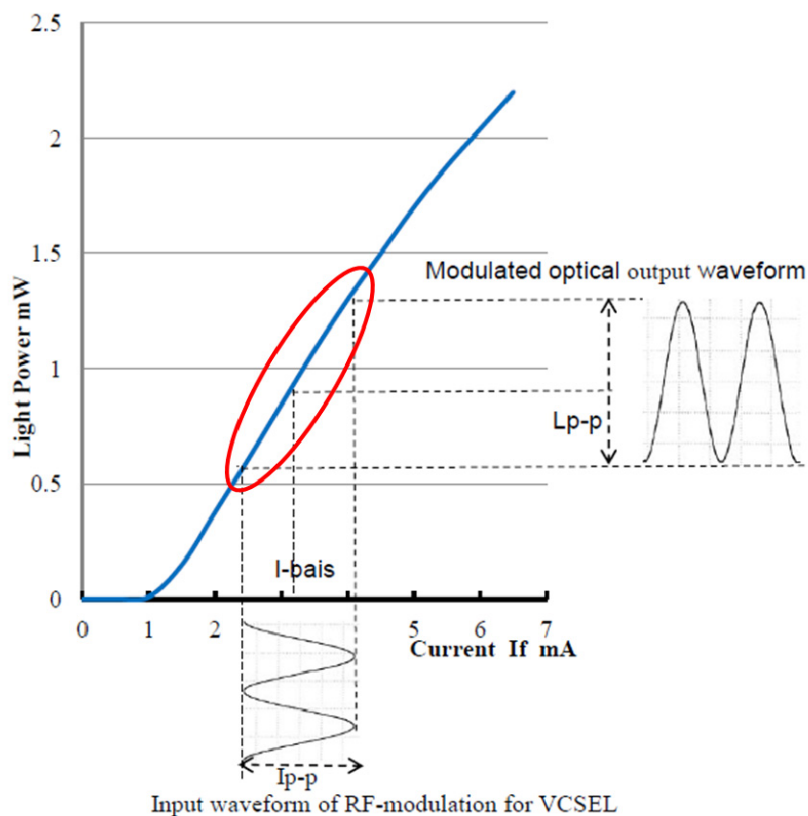


図 4-16 高周波信号の光変換に必要なとされる線形性

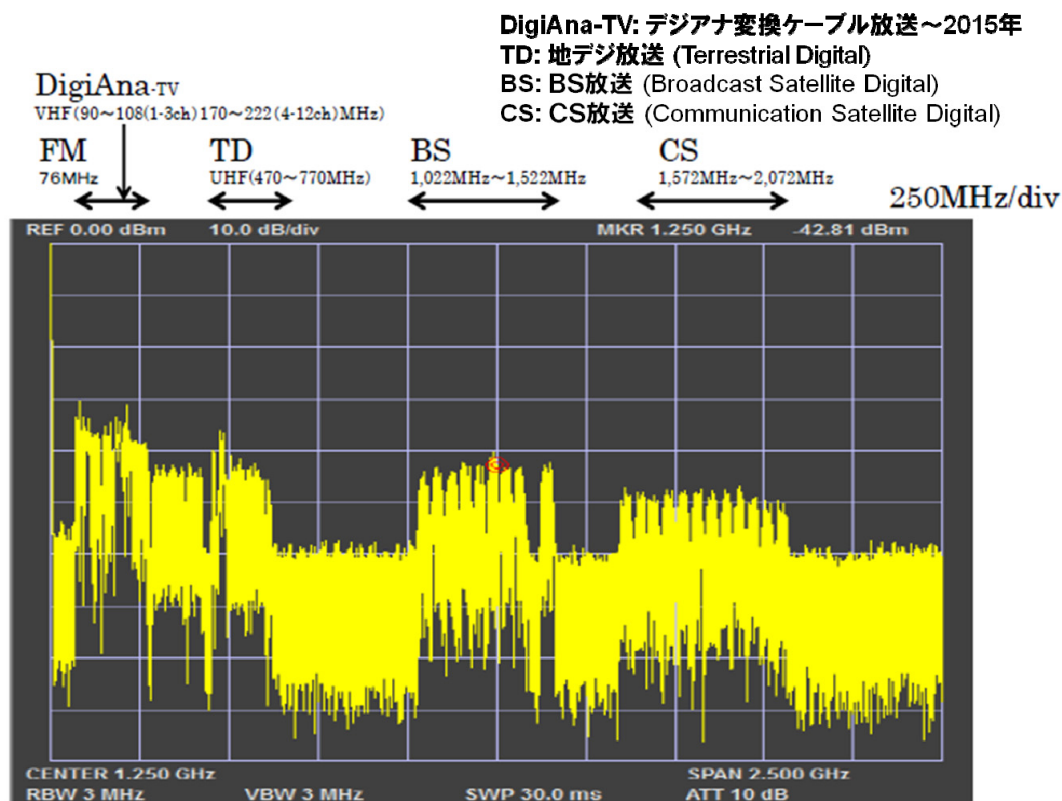


図 4-17 周波数とチャンネルの割り当て

また、テレビ信号の中に含まれる多くのチャンネルのすべてを確実に伝送する必要がある。図 4-17 は、テレビ信号の周波数特性である。NTTのフレッツテレビサービスでは、NTTビルから家庭の屋内までシングルモード光ファイバーで配線され、屋内のGV-ONUによりフレッツテレビ高周波 (RF) 信号に変換される。このフレッツテレビ信号には、76MHzのFM信号、90~222MHzの従来のアナログ放送 (デジアナ変換、2015年3月まで)、470~770MHzの地上波デジタル放送、1022~1522MHzの衛星放送 (BS)、1572~2072MHzの通信衛星放送 (CS) が重畳されている。

これらを一括してPOFで伝送するには、図 4-18 に示す76MHz~2.1GHzの帯域の光送信器、高速GI型POF、光受信器が必要である。光送信器FTV-Tは、Fコネクタフレッツテレビ信号入力、レーザードライブ回路、VCSEL光源、SCコネクタPOF光出力で構成されている。VCSEL光源には、線形性に優れたI-L特性を有する光源を選択して利用する。今回利用したVCSELは、高速GI型POF伝送に適した短波長帯である。そのしきい値電流 I_{th} は、1.5~2mAであり、変調周波数帯域は、~2.5GHzである。I-L特性の線形性の良い部分にバイアスポイント及びフレッツテレビ信号振幅を設定することにより、フレッツテレビ信号帯域76MHz~2.1GHzのE/O変換ができる。

光受信器FTV-Rは、SCコネクタPOF入力、フォトダイオードPD、トランスインピーダンスアンプTIA、Fコネクタ出力で構成されている。PDとTIAは、フレッツテレビ信号帯域76MHz～2.1GHzにおいて線形性及び感度のあるGaAs-PDまたはInGaAs-PDを選択して利用する。この構成によりフレッツテレビ信号帯域76MHz～2.1GHzのO/E変換ができる。

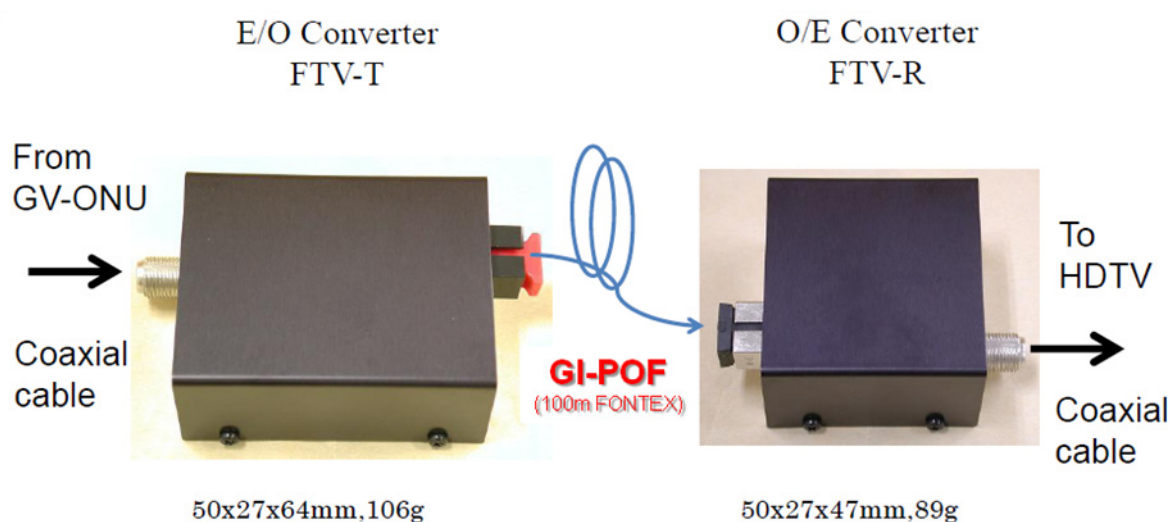


図 4-18 高周波信号伝送のための光送信器と光受信器

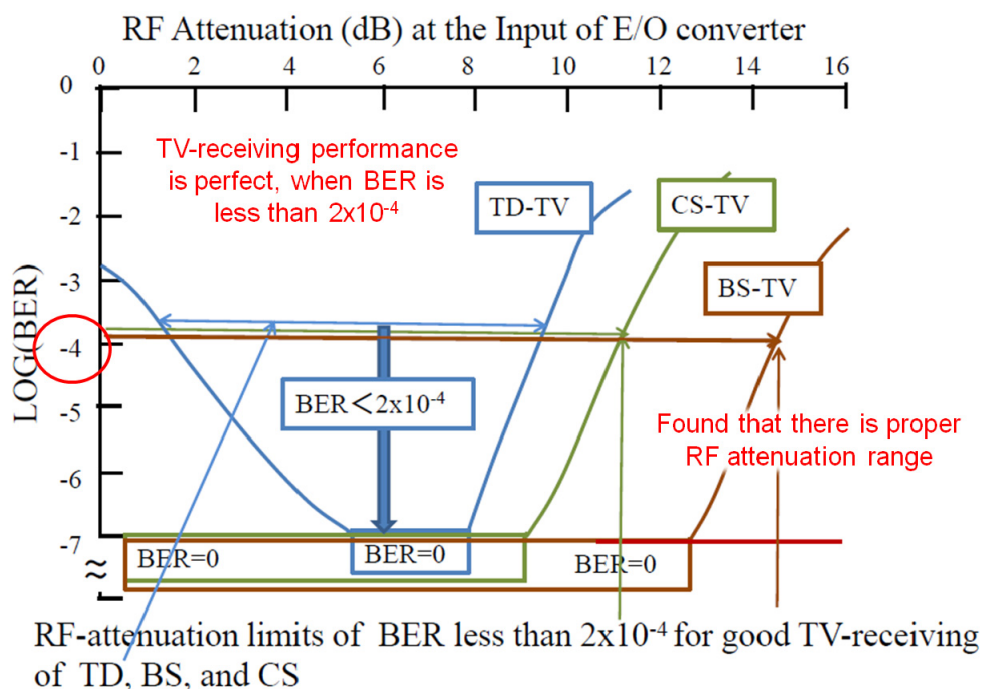


図 4-19 チャンネル毎の電気信号入力強度とビットエラーレート

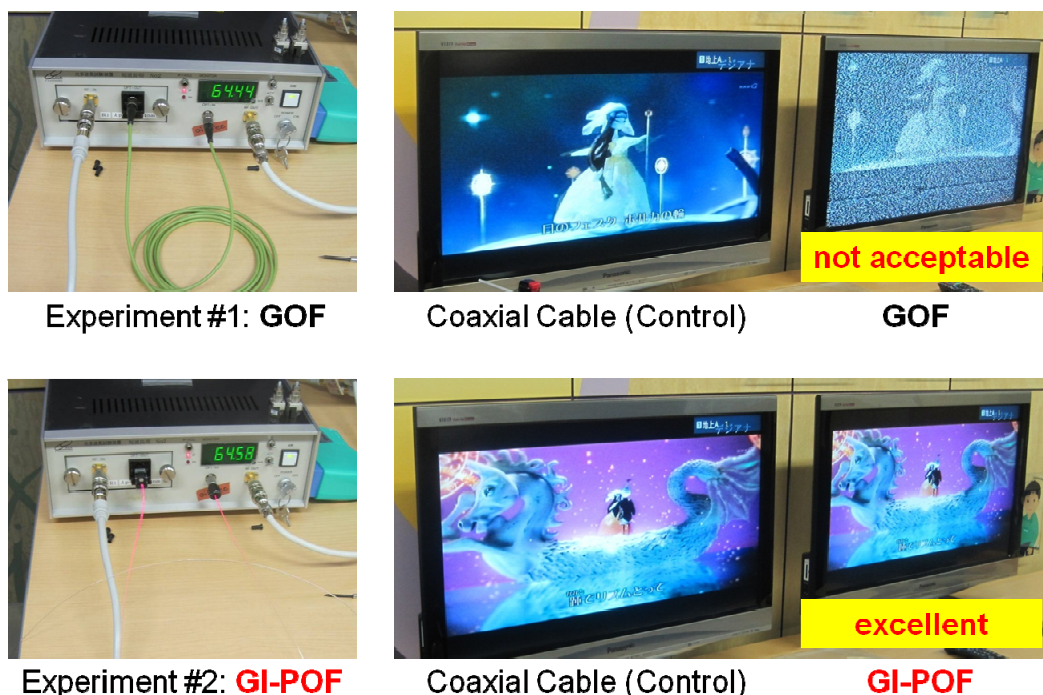


図 4-20 石英系光ファイバーとGI型POFのデジアナチャンネル映像比較

図 4-19 は、100mの高速GI型POFを接続してフレッツテレビの光伝送実験をした結果である。入力、NTTフレッツテレビのGV-ONUからのRF信号を利用し、出力評価には、ハイビジョンTV受信機を利用した。こうしたテレビ信号搬送波の光変換は従来からも試みられてきたが、これまでの実験では、伝送中にノイズが発生しきれいに映らないことが知られていた。しかし、GI型POFを使うことにより、ノイズの乗らない高画質のテレビ視聴ができることがわかった(図 4-20)。この原因については、今後の調査研究による究明が必要である。

4.4 第4章のまとめ

以上のように、本章では以下のことについて述べてきた。

1. 高速光毛細管ネットワークの実現に向けたシナリオを提示した
2. 近未来のスマートハウスを想定し、ネットワーク負荷を予測した
3. 高周波テレビ信号をGI型POFで光伝送する送受信機を開発した

5

第5章 高画質映像の医療・医学教育への活用

* * * * *

第5章では、これまで述べてきた高速光毛細管ネットワークの、医療及び医学教育への応用と展望について述べる。

病院内のネットワーク光化は高精細、大画面画像の共有化をもたらし、医師同士および患者とのコミュニケーションは格段に向上することが期待される。また、この画像は医学生や研修医への教育に用いられ医学知識や医療技術向上へも大いに貢献するが期待される。さらにこの技術を用いた遠隔地とのネットワーク化は、これまで遠隔医療において問題となっていた低解像度画像による診断信頼性の低下の克服が可能となる。患者自身の肉眼画像や病理を含めた検査画像を高精細で大画面画像として送受信できることは遠隔医療を加速度的に発展させることができると考える。

また、日本は少子高齢化による多くの課題を抱えているが、高齢者介護の問題はその大きな課題のひとつである。高精細映像で遠隔地から患者の様子を見ることができれば、高齢者の見守りにつながり、これは病気の早期発見にもつながり高齢者医療にとって有益となると考えられる。

本章では遠隔地に患者がいる想定で、映像による診断の可能性につき画質との関係を調べ、皮膚科の遠隔診断において高精細映像が有効であることを示した。

* * * * *

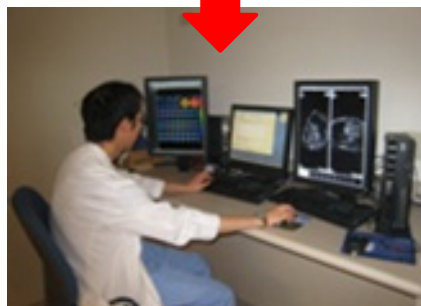
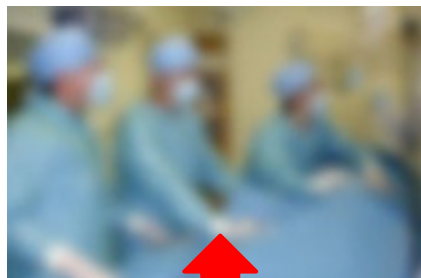
5.1 医療における高速光毛細管ネットワーク

第4章までに、高速光毛細管ネットワークを使った高画質映像によるコミュニケーションについて述べてきた。この章では、同じ屋内であっても、住宅やオフィスではなく、病院のネットワークに応用することについて述べる。

5.1.1 病院内ネットワークの光化

医療分野において、近年のデジタル化がもたらした影響は大きい。X線写真や顕微鏡写真はかつて現像フィルムを用いていたが、電子化されたことで結果を即時に見ることができるようになった。また、保存場所にアクセスできる環境があれば、どこからでも見ることができるため、撮影場所から医師のいる場所までフィルムを持ち運ぶ必要がなく、離れた場所でもデータを取り出せ、患者にもすぐに見せることができる。専門の医師が遠方にいても、すぐに見せて解析することができるようになった。

手術室と画像解析ラボとの
リアルタイム連携



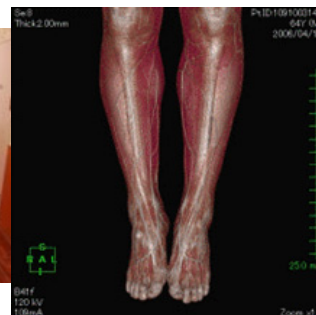
資料提供：榊原記念病院

内視鏡治療のライブ映像共有による
高レベル治療手技の教育



資料提供：慶應大学医学部

CT画像の高速レンダリング処理による
患者の身体の三次元的把握



資料提供：榊原記念病院

図 5-1 高速光ネットワークの医療への活用

CTスキャンについてもデジタル化によって利用価値が大幅に向上した。撮影したデータをレンダリングして立体画像化することもできるようになった。ただし、フィルムと同等以上の高解像度が必要とされるため、画像データ量は膨大であり、CT画像をレンダリングするには、大量のデータを読み込むために、作業時間はネットワーク環境に大きく左右される。

また、内視鏡検査など機器類を使って患部を視診するようなケースでは、デジタル化によってその多くは動画として保存できるようになった。従来は医師が観察した結果をカルテに記載するだけで、その判断材料はそのときに目視した医師のみの判断に限定されていたが、診察時の映像が保管されることで、カルテ情報だけでなく、映像による補助情報が医療の信頼性向上に大きく寄与している。患者に対して検査結果を口頭で伝えるだけでなく、保管された映像を見せて納得させることができるし、家族への説明にも使用できる。

図 5-1 は、研究協力をいただいた東京都府中市にある榊原記念病院と、慶應義塾大学医学部で実際に行われている高速プラスチック光ファイバーを活用した事例を集めたものである。

手術室と画像解析ラボが高速ネットワークでつながっていることで、術中迅速診断が容易になり、手術中の患者の負担が軽減できる(榊原記念病院)。医学教育においては、手術現場に入れる学生や研修医の数が限られているうえに、手術のテクニックを学ぼうとして近寄ると執刀医の邪魔になるために、十分な学びが得られない。そこで映像によって手術の様子を別室に配信して見ることにより、たくさんの学生、研修医が同時に学ぶことができる(慶應義塾大学医学部)。CT画像のレンダリングについては、回線が低速だとCTのサーバーからレンダリングを行うワークステーションまで、大量の画像データを読み込むのに多くの時間を要してしまう。高速ネットワークによって読み込み速度を速め、迅速なレンダリング処理が可能となり、CT検査が終わってから手術に入るまでの時間短縮につながっている(榊原記念病院)。

このように、デジタル化で医療は大きく発展してきているが、それだけにデータの転送など、病院内ネットワークのトラフィック量はけた違いに大きくなってきており、これまでのイーサネットではデータの送受信がスムーズに行えない。

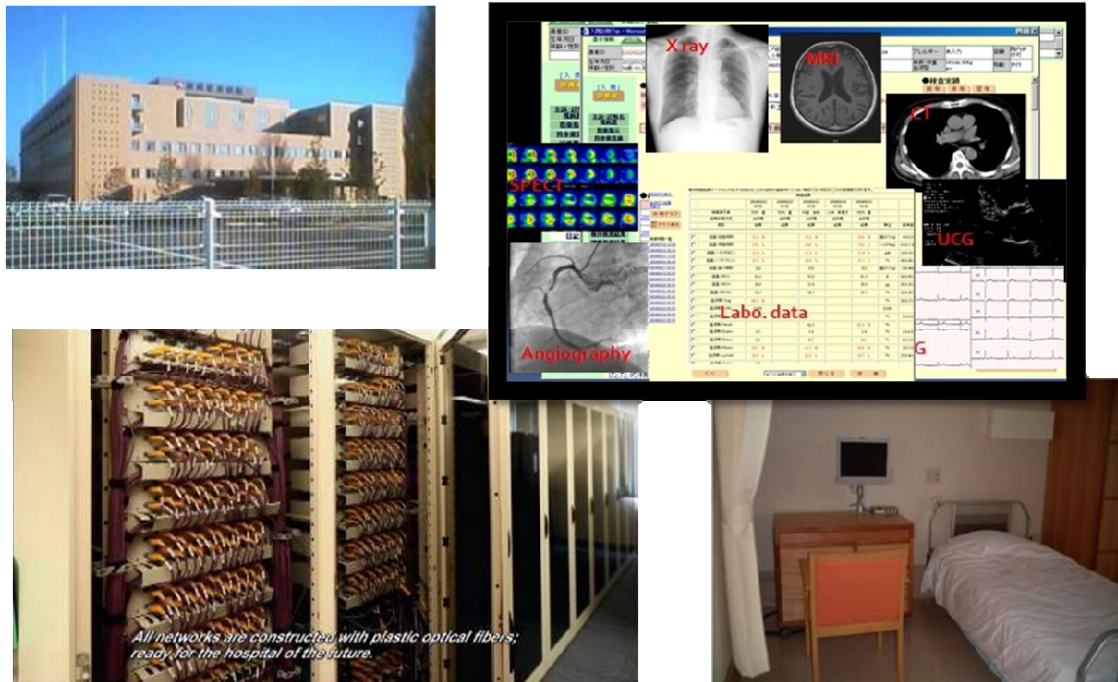


図 5-2 榊原記念病院での光ネットワーク事例

資料提供: 榊原記念病院

ここで、病院の中でも院内ネットワークに対して先端的な取り組みをともにしてきた、榊原記念病院について述べる。

当病院は、東京都府中市に位置する病床数320床の循環器専門病院である。2003年の新病棟建設時に、高速の全フッ素化GI型プラスチック光ファイバーを全館に敷設し、高速データ伝送を可能にしている(図 5-2) [1]。この病院では、サーバーに保存された患者の診察データを、患者のいる病室の端末からアクセスして取り出すことができる。その際、データ量の多いCT検査結果や手術映像などを、端末にダウンロードすることなく見ることが可能になっている。

このように、病院内にあっても、これまで述べてきたような屋内高速光毛細管ネットワークが非常に重要な位置づけになってきている。

5.1.2 遠隔医療への応用のニーズ

このように、高画質映像の大画面投影による臨場感の創出は、エンターテインメントの世界だけでなく、高度医療の現場のような実用的な面でも活用が期待される。

図 5-3 は、2003年、慶應義塾大学の日吉キャンパス(横浜市港北区)にいる風邪をひいている患者の喉の様子を撮影し、約20km離れた慶應義塾大学の三田キャンパスにいる内科の医師による遠隔診察のデモンストレーションを模擬的行った実験事例である[1]。

映像伝送のために、DV精細度画像(720×480画素、毎秒30フレーム)のデジタルカメラを使用し、Digital Video Transport System(DVTS)による広帯域映像伝送技術を用いて、約30MbpsでIPパケット伝送を行った。伝送された映像は、三田キャンパスの300インチ巨大スクリーンに投影された。



図 5-3 大画面遠隔内科診察の風景
(慶応工学会GigaHouse Town™プロジェクト)

この実験において当時は、ハイビジョンカメラは使用されていなかったもので、「画質はもう少し高めた方が良い」、「解像度がやや不足」、「デジタルズームは画質が悪く使えない」、など医師らの意見はあまりポジティブではなく、単に大画面にすれば臨場感が上がるものではないことが示唆された。

しかし、ハイビジョンではないものの、大画面に映し出された患者の映像には迫力があり、遠隔地に患者がいても、診察がある程度可能であることがわかり、今後の解像度の進歩が期待された実験でもあった。

近年、遠隔医療の必要性が盛んに言われており、テレビ会議システムやテレビ電話、Skypeなどのウェブチャットの活用が実用的に行われているが、解像度が低い上に画面サイズが小さいため、実際には問診程度の患者とのコミュニケーションしかできず、患部を見る視診にはあまり有効的ではない。

本研究では、単に解像度をそのままに大画面にするのではなく、高精細な映像技術を高速通信によって伝送することにより、大画面であっても解像度が落ちることなく、患部の視診ができるのではないか、という仮説を立てて、実験を行ったのでここに報告する。

5.2 高精細映像による遠隔診療の有効性

遠隔診療の社会的ニーズが急速に高まってきている中で、映像品質と通信手段が重要な位置を占めている。とくに近年の映像品質向上のための技術開発は、フルハイビジョンの4倍の画素数を持つ4K映像の導入へと進んでいる。医療現場でも多くの4K活用例や実験例が報告されているが、多くは手術映像ライブのような試みであり、医師对患者(D to P)の遠隔医療への活用はまだ報告例がほとんどない。

本研究は、患部の映像による視診が必要とされる皮膚科の遠隔診療を主に想定し、低画質だが安価で導入が簡単なビデオチャット方式から、高画質だが機器も通信もコストがかかる4K非圧縮映像伝送まで、様々な映像伝送方式の比較実験をもとに医師らをヒアリングし、遠隔診療のための映像品質要求を調査研究したものである。

その結果、手軽に導入できるビデオチャット方式では、問診による患者とのコミュニケーションは可能であっても、色再現性を中心とする画質が十分でないために、患部の視診を必要とする診察の場合には適さないことが確認された。つまり病状が安定している再診に限定している現状の遠隔診療の域を超えられない。テレビ会議システムを用いれば、ある程度の色再現性は得られるが、圧縮伝送に伴う映像遅延と圧縮ノイズの問題を避けることができず、視診には最低でも4Mbpsを超える伝送帯域の確保が必要となることがわかり、さらに皮膚病変の視診の場合には、わずかな圧縮ノイズも診断に影響する現象が見受けられた。

一方で4K超高精細映像の非圧縮伝送では、ズーム撮影により肉眼以上の解像度が得られるだけでなく、ハイビジョンでは伝わりづらい皮膚表面の微細な質感までも理解可能なことが分かり、触診で得るべき情報の一部が映像を通して疑似的に代替できることが示唆された。したがって患部を映像で捉える診察では、映像の品質が高ければ高いほど患部の質感を伝え、多くの症状が映像で診断可能となり、遠隔医療の活用が広がることが実験結果からわかった。

5.2.1 はじめに

離島や僻地、災害での危険地域など、対面診療が困難な状況において、とくに東日本大震災の発生後、離れた場所にいる患者を診察する遠隔診療の必要性が叫ばれている。これに応答するように厚生労働省では、2011年3月発行の「医政発0331第5号」通知の中で、「直接の対面診療による場合と同等ではないにしてもこれに代替し得る程度の患者の心身の状況に関する有用な情報が得られる場合には、直ちに医師法20条等に抵触するものではない」との見解を示したことは、遠隔診療の推進にとって大きな前

進であり、法のうえでは遠隔診療を行うことが可能になったと言える[2]。さらに診療報酬制度においても、遠隔診療は電話等再診として認められるため、ブロードバンドの普及でビデオ映像の伝送も容易になったことがあいまって、社会的ニーズが急速に高まってきた[3]。

通信技術を使って遠隔医療を行う動きは1970年代から始まっており、中でも皮膚病変をテレビ画像伝送する皮膚科遠隔医療は1972年までさかのぼる。リアルタイムで映像伝送する研究のほか、保存した画像データを転送するストアアンドフォワード方式によって実用化されている事例も多い。最近ではモバイル機器を活用したものなども登場して、多くの事例とともに信頼性も確かめられてきた[4]。

とくに近年の映像品質の向上のための技術開発は、地上デジタル放送をはじめとするハイビジョン規格の一般への浸透を受けて、さらなる高画質化を目指しており、フルハイビジョン(FHD)の4倍の画素数を持つ超高精細動画4Kの開発へと進化している。医療分野への適用については、医療現場に4Kモニターを利用する例[5]や、4K撮影した手術映像のライブ伝送実験[6,7]などへの試みはされているものの、医師対患者(D to P)の遠隔診療への4K映像の活用はまだ報告事例がほとんどない。

このような背景から本研究は、患部の映像による視診が必要とされる皮膚科の遠隔診療を主に想定したうえで、低画質だが安価で導入が簡単なビデオチャット方式から、高画質だが機器も通信も最先端でコストがかかる4K非圧縮映像伝送まで異なる映像伝送方式を、実際に医療従事者らの立ち会いのもとで比較調査し、そのインタビュー結果から身体所見を得るために必要なD to P遠隔診療のための映像品質について検討したものである。

5.2.2 方法

医師対患者(D to P)の遠隔診療において、患者側から送られてくる映像品質のレベル次第で、得られる情報の量がかなり違ってくる。高品質になるほど費用面や操作性などに負担がかかるが、有用な患者の情報がより多く得られる。そのため、診察内容に応じて適切な映像品質を用意する必要がある。

診療科別に要求される映像品質を調べるために、杉並区医師会および慶應義塾大学医学部の協力のもと、診察内容との関連から最適な映像伝送方式を選択することを試み、最も映像に対する要求が高いと思われる皮膚病変の診察について、遠隔画像診断の適用可能性を調査した。

(1) 実験条件

実験を始めるに当たって、使用する機器類を選定した条件を記す。

①画面サイズ

従来のテレビ電話やウェブチャットのように、単に画像を参考程度に表示するのではなく、患者と対面している感覚を得やすくするため、上半身が等身大表示できることを目指した。画面の横幅としては、日本人の肩幅の年代別平均値データで最も肩幅の広い30代前半の男性平均466mmに、腕の幅として約100mm、左右の余裕幅として約100mmを加えた666mmを最低幅とした[8]。4K超高精細映像の表示機器のうち現在入手可能な画面サイズの中で、この幅よりも広い32インチサイズ(横幅708mm)を選定した。FHDディスプレイも同じサイズで統一した。

②4K撮影機器

4Kカメラと周辺機器は、まだ市場に出ているものが限定されている。とくに出力ケーブルは太くて取り回しにくいHD-SDIケーブルか、細いが折れやすいガラス製の光ファイバーが主流である。しかしD to Pの遠隔診療を想定した場合、患者の周囲でカメラを動かす操作が頻繁にあり、かつ狭い室内を人や機器類が動き回ることから、出力ケーブルが細く軽く取り回しやすいうえ、踏みつけたり折り曲げたりしても断線することのない屈折率分布型プラスチック光ファイバー(GI型POF)で出力が可能なオプションがある、アストロデザイン社製4KカメラAH-4413を実験に使用した。詳細は実験方法の節で述べる。

③通信回線

今回の実験で最大の帯域が必要な4K超高精細映像の非圧縮伝送(約10 Gbps強)には、イーサネットのUTPケーブルでは帯域が不足していて使用できない。そこで建物内のLAN回線として十分な帯域を有するGI型POFが使われ、高速伝送に必要な光通信環境が整っている杉並区医師会館を実験の場とした。なお、高速性を必要としない圧縮伝送には、UTPケーブルを用いた。また音声の送信については、HD伝送では映像にエンベデッドして同期させた状態にて伝送しディスプレイのスピーカーから出力、4K伝送についてはエンベデッドシステムがないため会議室にある音声マイクとスピーカーシステムを用いて映像とは別に伝送した。映像の非圧縮伝送では遅延が生じないため、エンベデッドしなくても同期されている状態と同等であり問題なく使用可能であった。

④機器類および通信回線

杉並区医師会館の2つの会議室の双方にそれぞれ必要なカメラとディスプレイを

設置、2地点間を異なる通信回線で接続することにより、下記の4通りの映像品質を設定した。慶應医学部での評価実験では、非圧縮の2方式(下記の3. および4.)の比較を行った。機器類の接続構成は図 5-4 に示すとおりである。詳細を以下に述べる。

1. 圧縮HD(約1Mbps、ビデオチャット):

Skype HD規格のウェブカメラ“FREETALK EverymanHD”および“Microsoft LifeCam Cinema H5D-00006”を、USBケーブルを介してノートPC Lenovo G560に入力、Skypeをツールとして使用し、UTPイーサネットケーブルで100Base-T会館LANを経由し接続した。表示は他の条件と画面サイズを合わせるために、PC画面をHDMI映像出力して32インチ液晶モニターPanasonic製液晶テレビ“TH-L32V1”にミラーリングした。

2. 圧縮FHD(約10Mbps、テレビ会議システム):

テレビ会議システムとして“Cisco QuickSet C20”を使用、UTPイーサネットケーブルで100Base-T会館LANを経由し接続した。映像表示には、上記1. と同じ32インチ液晶テレビ“Panasonic TH-L32V1”を用意した。また、テレビ会議システムの映像品質は、通信回線のトラヒックに影響を受けるため、今回は安定している会館内LANで10Mbps確保して実験したが、確認テストとして回線の帯域を制限する実験も合わせて行った(実験結果 5.2.3(3) 参照)。この実験に使われた機器は、ネットワークスイッチ(Cisco製Catalyst2950)とパケットシェイパー(Blue Cost製PacketShaper1700)、コントロール用ノートPC Lenovo G560である。

3. 非圧縮FHD(約1.5Gbps):

JVC製カムコーダ“EVERIO GZ-HM1”を使用し、フルハイビジョンカメラからのHDMI出力で、2階と3階の会議室間をつないだ。ただし2拠点間の距離が長すぎるため、中継として光電変換装置イーラムダネット製ハイビジョン光送受信装置“HDV-OTR®” [9]を介して、医師会館内に敷設済みの光LAN回線(旭硝子製GI型POF“ルキナ®”使用)でフロア間をつないだ。慶應医学部の実験では10mのHDMIケーブルで直結した。

4. 非圧縮4K(約10Gbps):

4Kカメラシステムとして、アストロデザイン製カメラ“AH-4413”にオリンパス製マクロ撮影対応レンズ“M.ZUIKO DIGITAL ED 12-50mm F3.5-6.3 EZ”を取り付け、マスターコントローラー“AM-4412”により遠隔でズームおよびフォーカス調整ができる機能を使用した。カメラとカメラプロセッサ“AP-4414”の間は、機器間高速接続用に開発された100m長の旭硝子製GI型POF“FONTEX®”を使用し、会館内を光仮設配線で取り回しやすくした。プロセッサと32インチ4K液晶モニター“DM-3432”の間はHD-SDIケーブル4本にて接続した。なお4Kシステムのみ双方向ではなく、患者から医師への1方向4K伝送で、医師からの戻り映像は非圧縮FHDを用いた。

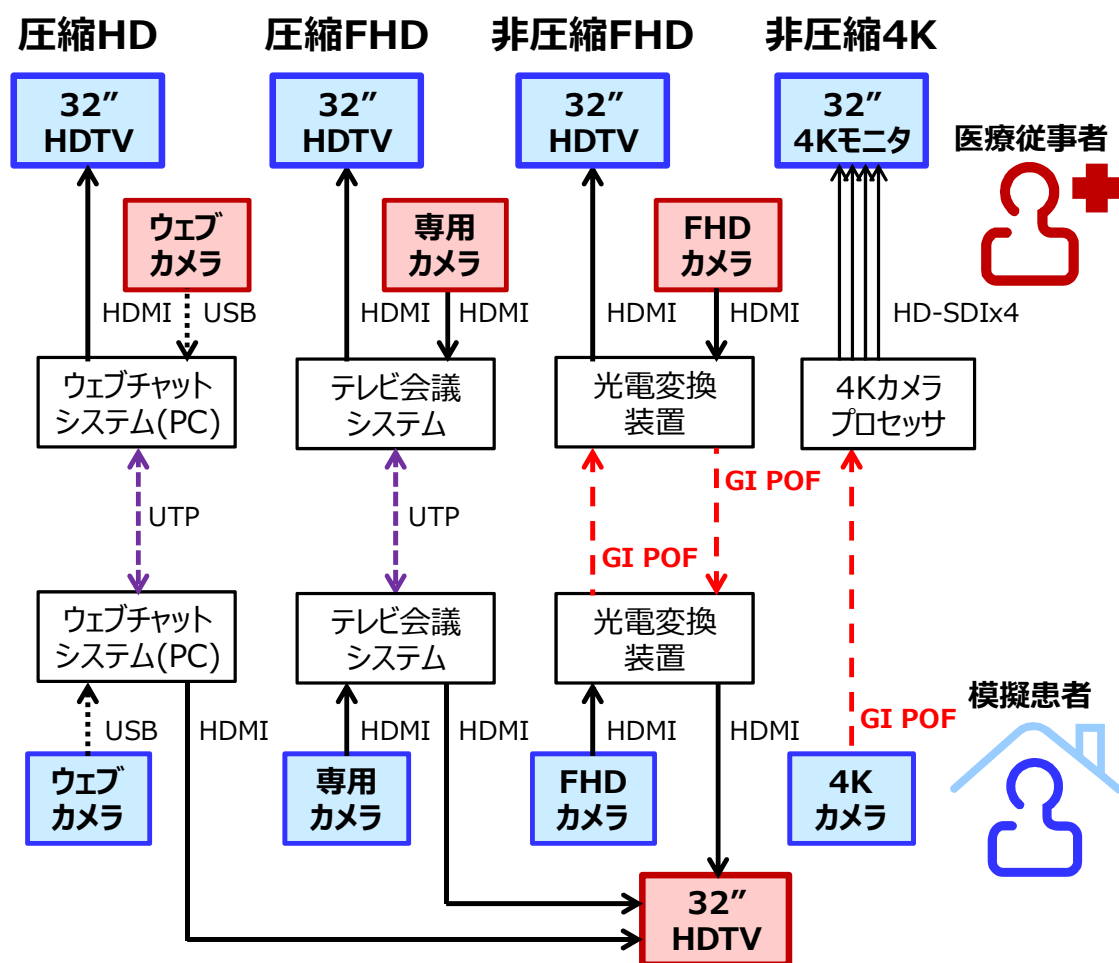


図 5-4 実験における機器接続構成図

(2) 実験方法

①実験場所

実験場所としては東京都杉並区医師会会館と慶應義塾大学医学部信濃町キャンパスを使用した。杉並区医師会会館では2階と3階の2つの会議室を遠隔地と想定し、2階には模擬患者を3階には医師を配置して、両拠点間を通信回線で接続した。異なる診療科の医師から診断してもらうために、実験は合計3回行われた。

また慶應義塾大学医学部では信濃町キャンパス3号館北棟1階ラウンジを使用し、より多くの意見を収集するための画像診断評価実験を行った。ラウンジの一角に模擬患者を配置してカメラで患部を撮影し、その映像を約10m離れた直接患者が見えない場所に設置した32インチ液晶ディスプレイに映し出して行われた。

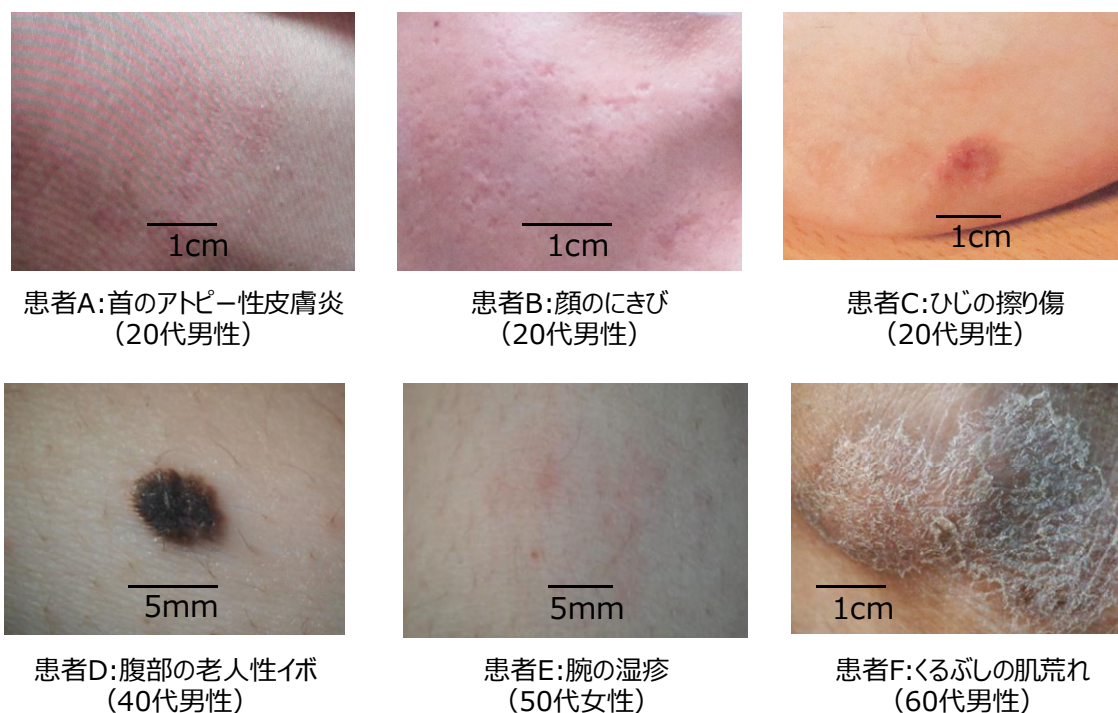


図 5-5 6名の模擬患者の皮膚疾患

②模擬患者と撮影環境

皮膚疾患を持つ20代男性3名、40代男性、50代女性、60代男性の6名を模擬患者とした。それぞれの皮膚疾患は、図 5-5 に示すような首のアトピー性皮膚炎、顔のにきび、手足の擦り傷、腹部の脂漏性角化症(老人性イボ)、腕の湿疹、およびくるぶしの肌荒れである。

患者の患部を撮影する際には、白熱灯色の蛍光灯“Slimac パソコンライトクリップ インバータ 白熱100Wタイプ シルバー BC-336SV”を使用、カメラはホワイトバランスを取ったのち、X-Rite社製24色マクベスカラーチェッカー8X10を用いて、モニターでの色再現を最適な状態にマニュアル調整した。

③医師

内科、皮膚科、耳鼻咽喉科、眼科、整形外科、外科を主な専門とする診療所の専門医7名が杉並区医師会での3回の実験のいずれか、あるいは複数回にわたり参加した。皮膚科医は全3回とも参加し、内科医は2診療所の2名の医師のどちらかが必ず参加できる形で実施した。また慶應医学部での評価実験では、臨床実習中の学生、看護師、医師ら23名の医療従事者からヒアリングを行った。

④評価方法

杉並区医師会の実験では、参加した医師らに患者ひとりずつと映像を介して対面してもらい、通常の対面診察と同様に、問診面接および身体所見診察を遠隔で行いながら、患者とのコミュニケーションの取りやすさ、診察のしやすさ、遠隔診断の可能性などをヒアリングした。ヒアリング結果から、5段階の診断可能性レベルに分類して総合的な評価を行った(5 = 対面以上の観察が可能で診断にかなり有効、4 = 対面に近い観察が可能で診断に効果的、3 = 対面に及ばないが診断への活用の可能性あり、2 = 診断の補助として映像が多少役に立つ、1 = この映像品質では診断するのが難しい)。

慶應医学部の実験では、4K超高精細映像の有効性をFHD映像と比較するために、問診による付帯情報は与えずに、患部をモニターを通して視診するだけに限定して、映像品質の評価を行った。

5.2.3 結果

杉並区医師会での3回の遠隔診療実験、および慶應医学部での映像評価実験の結果を、以下にまとめる。

(1) 診療科別ヒアリング結果

表 5-1 は、杉並区医師会で行われた実験のヒアリング結果を、診療科別にまとめたものである。5つの診療科で行われている診療方式に対して、実験された映像伝送方式が適合するかどうか、その際にどのような観点で映像を考慮する必要があるか、映像に要求するものは何か、という3つの視点から、ヒアリングで得られた口頭意見を集約している。

視診が大切な皮膚科においては、ビデオチャットでは映像が不安定であり色再現性も十分でないためにほとんど診断ができない一方で、問診および患者全体を把握する程度の視診で診察する内科においては、ビデオチャットでもある程度診断ができ、病状の安定している再診患者であれば、電話等再診にあたる診療報酬制度でカバーができるとの見解が得られた。またテレビ会議システムは画質に優れ身体所見もある程度把握できるものの、患者が動くたびに瞬間的なブロックノイズが発生し、皮膚診察においては小さなほくろが瞬間的に消えてしまうなどの現象として現れ、診断に適切ではないとの判断となった。テレビ会議システムの送受信設定は10Mbps、会館内LANも100Mbps帯域スペックと十分な環境であったが、皮膚科医の判断は厳しいものであった。

表 5-1 診療科別映像要求のヒアリング結果

診療科	診察方法	診察における重要度	映像要求
皮膚科 (皮膚の観察診断)	まず患者全体を観察し、問診でトラブルを把握、患部を映像により診断。必要に応じてダーモスコープの撮影、サンプリングが必要 (全体の1%程度)	全体観察と患部拡大観察の両方が必要で、映像品質は非常に重要。高精細動画だと質感も伝わるので、ある程度触診の予測もつけられて有効。	高精細、大画面、ズーム、高解像度、質感、低ノイズ、ライティング、色再現性
眼科 (眼の診断)	眼科の専門器具なしで観察する範囲では、レンズを通して診察するという点で遠隔でも違和感がない。細部を診るには、ノイズの点で非圧縮映像が好ましい。	眼の観察なしには診察できないので、映像はとても大切である。	高精細、ズーム
内科 (面接問診)	患者とのコミュニケーションはビデオチャットであっても取れる。遅延があると多少やりづらい、色再現性が高い方が診察しやすい。	問診で患者とのコミュニケーションを取ることが最重要。映像品質は患者の顔色、表情などに異常がないか判断つくこと。	ウェブチャットでも、だいたいの様子がつかめる。
整形外科 (MRI画像伝送)	ヘルニアのMRI画像をカメラを通して遠隔地の医師に見せてセカンドオピニオンを取るシーンを想定、ビデオチャットの画像であつてもヘルニアの様子が見て取れた。	実際の診察には検査機器が必要になるので、遠隔だけで行えるものではない。D to Dのカンファレンスやセカンドオピニオンには、遠隔映像伝送は有効である。	ウェブチャットでも、だいたいの様子がつかめる。
耳鼻咽喉科 (映像による診断)	耳鼻科の場合は、専用の器具類がないと患部の観察ができないので、今回の実験からはコメントできない。	専用の器具類が必要。	専用の器具類をアタッチメントでできること。

その点で圧縮をしないFHD非圧縮映像は患部の様子がよく伝わり良好な結果であった。つまり、患部を詳細に視診する必要のある診療科と、患者との対話による問診が診察の重要な部分を占める診療科では、映像品質に対する要求レベルが異なることが確認され、遠隔診療における映像機器類や伝送方式は、一概にこれが良いというものではなく、診察内容に応じて設定すべきであることが示唆された。

皮膚科においては、病変を観察する視診が非常に重要であり、詳細まで細かく見ることのできる高精細度、病変部位を拡大するズーム機能、色再現性、表面の質感(ざらざら、すべすべ、じゅくじゅく、かさかさなど)を表現できる解像度の必要性が明らかになった。とくに従来はダーモスコープによる病変部のデジタルカメラ撮影が診察で必要になるケースが全体の数%あったが、その多くは4Kカメラの解像度とズームレンズ機能を備えれば解決する可能性があり、現物をサンプリング検査しなくてはならない病変(約1%)を除いて、ほとんどの皮膚疾患が高い確率で診察できるとのコメントを得た。

なお整形外科では、現実には患者の身体を物理的に検査する必要があり、映像による遠隔医療としては、D to PよりもD to Dのカンファレンス、セカンドオピニオンなどに有用であるとのコメントを得た。耳鼻咽喉科については、専用器具を必要とするため、通常のカメラ撮影では診察に値する情報は得られないとのコメントがあった。

(2) 診察内容別診断可能性評価結果

4つの画像品質の違いによる遠隔診療の可能性につき、医師らにヒアリングした意見を、問診、視診(患者全体)、視診(患部)、触診(患部)、その他(打診、聴診等)の診察分類にしたがって集約したものを表 5-2 に示す。医師からヒアリングした診断の可能性を5段階(5 = 対面以上の観察が可能で診断にかなり有効、4 = 対面に近い観察が可能で診断に効果的、3 = 対面に及ばないが診断への活用可能性あり、2 = 診断の補助として映像が多少役に立つ、1 = この映像品質では診断するのが難しい)で総合的に評価した。

まず患者を直接対面しているときと同様に面接し、症状や病歴などの聞き出しや声そのものの状態から、対面と同等の診断材料が得られるかを表 5-2 の「問診」の欄に記載した。次に面接の際に観察した患者の表情、体格、顔の色つやなど、視覚的に見える情報からの診断材料を「視診(患者全体)」に記している。ビデオチャットでは若干顔色の判断が付きにくいものの、おおむねどの映像品質においても、ここまでの診察は可能であることが分かった。

表 5-2 映像品質による問診および身体所見の診察可能性評価結果

診察内容	圧縮HD ビデオチャット	圧縮FHD テレビ会議システム	非圧縮FHD	非圧縮4K	備考
伝送帯域	～1Mbps	～10Mbps	～1.5Gbps	～10Gbps	インターネット回線を使うには圧縮が必須
問診	3	3	4	4	声だけの電話に比べて、多少画質が悪くても映像があるとコミュニケーションが取りやすい
視診 (患者全体)	2	3	4	4	体格、顔色、表情、歩き方などから異常がないかを判断、大画面の方が全体が把握できるので解像度がほしい
視診 (患部)	1	2	3	5	患部をズームして大きく映せると効果的、解像度は非常に重要、4Kなら質感まで伝わり肉眼より良く見える
触診 (患部)	1	1	1	3	実際に触ることはできないが、4Kだと表面の質感がわかるので、経験をもとに触診結果の予測ができる
その他 (打診、聴診等)	1	1	1	1	患者側に看護師や医療スタッフによる補助が必要 電子聴診器の使用により遠隔での聴診は可能

評価スコア：

- 5 = 対面以上の観察が可能で診断にかなり有効
 4 = 対面に近い観察が可能で診断に効果的
 3 = 対面に及ばないが診断への活用に可能性あり
 2 = 診断の補助として映像が多少役に立つ
 1 = この映像品質では診断するのが難しい

続いて身体所見の診察として、病変部分を撮影してその様子を映像によって観察してもらった。この段階で映像品質による差が大きく出た。ビデオチャットでは色再現性が悪く、患部の変色や腫れぐあいが分からないばかりか、赤色などは現物とかなり異なる色で表現されるために、患部が異常なのか正常なのかの区別がつきにくく正しい診断は不可能であった。その点、テレビ会議システムでは色はかなり実物に近くなっており、診断は可能であるものの、前述のように患者が動くと患部の細かいところが瞬間的にブロックノイズになって病変が画面から消えることがあり、適切でないとの判断になった。

また患部が画面の見やすい位置に来るように患者に指示して動いてもらう場合に、圧縮伝送で生じる遅延が問題となり、止まってほしい場所で止まらない問題が生じて適切な診断を行うことが容易でなかった。このときの遅延を測定した結果、片道で約0.55秒あることがわかった。ビデオチャットの遅延が約0.23秒、非圧縮FHDが約0.06秒と比べると、大きな遅延が発生していた。

それに対して非圧縮伝送を行った場合は、映像劣化や遅延はほとんど生じないため、終始良好な映像が伝送でき確実な診断が可能となった。皮膚科医からは、非圧縮伝送であれば皮膚病変の7～8割は映像だけで診断が可能であろうとのコメントを得た。カメラに備わっているズーム機能を使えば、患部の拡大表示も容易で細部を良く観察するときに有効に使えることも分かった。とくに医師側の手元でズームやフォーカス調整が簡単にできる機能を持っていた4Kカメラは、どの医師にも良い評価を得た。

4K映像伝送では、HD映像の3つの伝送方式いずれに比べても顕著な違いが見られ、普段医師らが使っているPCや医療画像モニターよりも一回り大きい32インチの大画面ディスプレイに表示することにより、ルーペでの拡大と同等以上に感じられ、肉眼よりも優れた観察ができることを医師らによって確認できた。乾燥による肌荒れでは、皮膚表面の剥がれぐあいがよく観察され、かさかさ乾燥していることが良く理解できるため、触診の感触が予測できるほどの質感が伝わっているとの医師のコメントを得た。老人性イボについても、肌の淡い色変化が見て取れるし、隆起している様子も分かりやすく、FHD映像では分かりにくかったイボの中に毛が生えているところも、4K映像ではしっかり観察され、イボと外観が似ている皮膚がんとの違いを明確に判断することができた。老人性イボと皮膚がんの診断は、肉眼で見ても難しいことが多く、医師の熟練度に左右されやすいため、4K映像によりはっきり患部の状態が見えることで診断の確度が高められるとのコメントがあった。

触診については、現実には映像での実施が不可能な部分ではあるが、4Kのように質感が伝わる高精細度があれば、熟練医は表面の手触り、硬さ、腫れぐあいにつき経験をもとにある程度正しく予測がつくとの皮膚科医のコメントがあった。

(3) 伝送帯域と診断性の評価結果

画像伝送を利用する際、映像品質を重視すればするほど、伝送帯域は高く確保しなければならない。たとえば皮膚病変を詳細に視診するには非圧縮4Kとして約10Gbps強の帯域が必要な一方、問診だけで済むような場合に導入可能なビデオチャットでは、帯域は1Mbps以下の最小必用限なものでよい。これらの中間の品質が必要となる場合、FHDのテレビ会議が有用と思われるが、一般的に通信回線の影響を大きく受けるシステムである。ビジネス用には企業が専用回線を確保するなどで会議品質を保っているが、D to Pを想定すると一般回線を使用せざるを得ない。

そこでテレビ会議システムの回線トラフィックの変動が映像品質に及ぼす影響を調べる実験を、杉並区医師会館内のLAN回線を使用して行った。帯域制限はパケットシェイパーを用いて、回線へ出力する映像データ量を制限することによって行った。結果を図 5-6 に示す。帯域制限をかけていくと、4Mbps以下でブロックノイズが発生するようになり、2Mbps以下ではノイズが多発してコミュニケーションも途切れがちになり、患者の様子が十分に伝わらず、診察困難との結果となった。皮膚科診療に限定すると、4Mbpsを超えても、最大の10Mbpsまでごくわずかなブロックノイズの発生を抑えることができず、圧縮伝送では診断できないとの皮膚科医のコメントがあった。

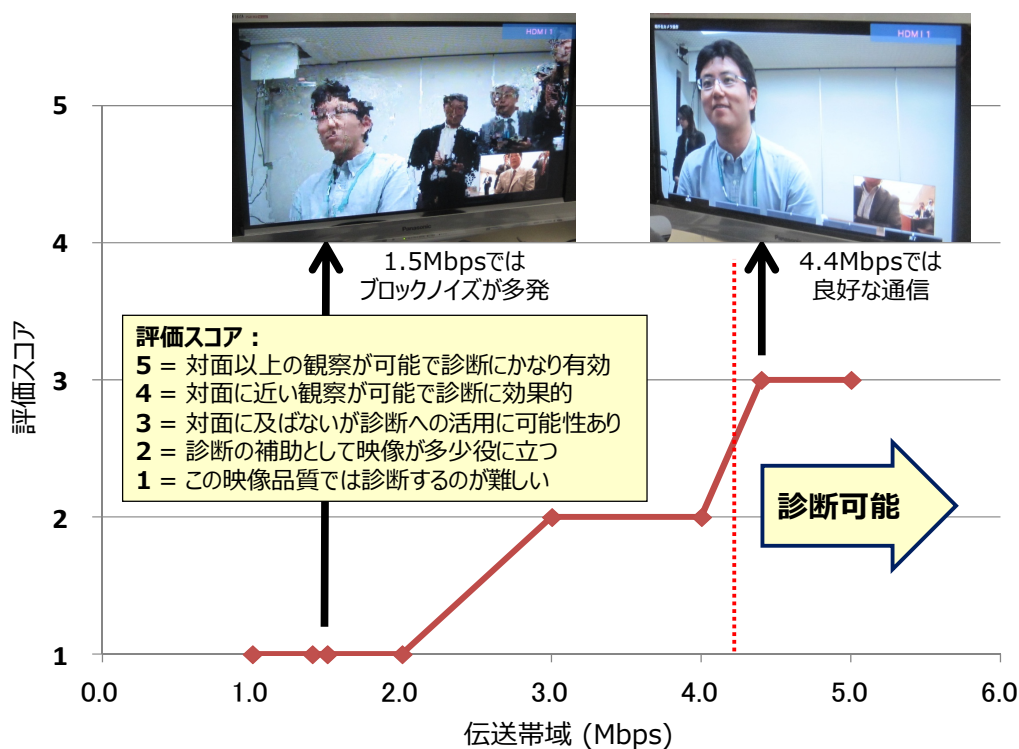


図 5-6 テレビ会議システムを使った伝送帯域による診断性評価結果



図 5-7 4K 実験の様子と撮影した映像例(患者 C のふくらはぎの傷)

(4) 4K超高精細映像の遠隔診療への適用性評価

次に、慶應義塾大学医学部における評価実験の結果について述べる。この実験では、非圧縮伝送に限定し、FHD映像と4K映像で同じ患者の皮膚患部を比較表示し、医療従事者23名からヒアリングを行った。実験のときの様子を図 5-7 に、ヒアリング結果を表 5-3 に示す。

4K映像が皮膚の質感を伝えること、拡大して患部の詳細がクリアに見えることから、肉眼よりもよくわかるという意見が多数得られた。23件のコメントに対して、肯定的なコメントが17件、中立な意見が2件、否定的なコメントが4件得られ、前出の5段階評価に当てはめると平均点は4.0であり、対面に近い診断が効果的にできる可能性を支持する結果となった。

肯定的なコメントの中には、「目で見るとの情報が得られる」「肉眼では見えないものを見ることができる」「皮剥けの様子が的確に表現」「皮膚の筋が見える」「拍動がある

の「わかる」「立体感がある」など、通常行われる直接の対面診療よりも効果的に患部の観察ができることが示唆された。

表 5-3 4K映像に対する医療従事者のコメント一覧
(評価の高い順)

発信者	発言の主要内容	キーワード	評価(ave=4.0)
男性・医師	立体感こちらの方がある	質感が伝わる	5
男性・医師	小さい盛り上がり、ごくわずかがわかる	質感が伝わる	5
男性・医師	HDでも何があるのかわかるが、4Kはもとの皮膚の筋が見える	質感が伝わる	5
男性・医師	皮膚の皮剥けの様子が的確に表現されている	質感が伝わる	5
女性・看護師	細かいでこぼこまでよくわかる	質感が伝わる	5
女性・看護師	なめらかさごく見える	質感が伝わる	5
女性・看護師	本物っぽい	質感が伝わる	5
男性・医師	顕微鏡で見ているレベル	肉眼より見える	5
女性・看護師	これだけ繊細に見える肉眼では見えないものが見える	肉眼より見える	5
男性・5年次医学生	目で見るよりも情報が得られるので診断できないわけではない	肉眼より見える	5
男性・5年次医学生	肉眼で見てもこまでは見られない	肉眼より見える	5
男性・5年次医学生	肉眼以上に見える感じ	肉眼より見える	5
女性・看護師	拍動があるのかわからないのかわかる	詳細が分かる	4
女性・看護師	細かく見える	詳細が分かる	4
男性・医師	このような拡大できるシステムと組み合わせると有用だと思う	実用性あり	4
女性・看護師	早期診断できるかも	実用性あり	4
男性・5年次医学生	見たいものに対してフォーカスを集中できる	実用性あり	4
男性・医師	4Kでもいいが今のハイビジョンも普通にいい	合格	3
女性・医師	これくらい綺麗に映っていれば問題ない	合格	3
男性・5年次医学生	色合いはハイビジョンの方が近い	色が悪い	2
女性・看護師	赤って、どちらの色が正しいか	色が悪い	2
女性・看護師	HDの方が痛そう	質感が弱い	2
男性・医師	手術の際も質感で判断するが、映像だとわからない	質感が不足	1

5.2.4 皮膚科における高精細映像の活用可能性

皮膚疾患の遠隔診療を中心に、映像伝送方式と診療の関係や4K超高精細映像の有効性を評価してきた。映像が高精細高品質であるほど、実際には触れることができない患部を触診しているかのような質感が得られ、遠隔診断の可能性が高くなることが本実験より明らかになった。皮膚疾患は高齢者の多くが抱えている問題でもあり、とくに在宅で介護を受けている寝たきりの高齢者は、褥瘡のようなトラブルが多いうえに外出が困難であり、診察の機会が得られにくい。褥瘡は早期発見、迅速な対応が必要であり、遠隔診療への期待が高い疾患の一つであると言える。4Kなどの超高精細映像によって質感もある程度伝達できることは、早期発見と迅速な対応のためにとても重要になってくる。

評価実験において、1名の医師から「質感は映像だとわからない」と否定的コメントがあった点(表 5-3 最下段)については、この医師が外科を専門としていたことから、臓器の立体感を含んだ三次元的な「質感」を求めていたことが原因であった。物理的に奥行きを持った立体感と表面形状の凹凸を表す質感とは、区別して考える必要があり、前者にはステレオ3D撮影・表示技術が、後者には4Kのような超高精細映像技術が重要であると考えられる。

在宅遠隔診療のために4Kカメラを一般家庭に導入することは、機器類が高価であることと、高帯域を保証した映像伝送のための通信環境が整っていないことから、現時点ではすぐに導入できるものではない。しかしすでに4Kカメラや、4Kモニター、4Kテレビ、4Kプロジェクターなどが一般家電として市販され始めており、需要が増えて量産効果が出てくればコスト面でも入手しやすくなってくることは、過去の家電製品の実績から見ても明白である。また通信回線についても、インターネット上での映像コンテンツの流通量が急激に増加してきていることから、通信帯域の改善が急ピッチで進んでいくだけでなく、データ圧縮技術についても、現状で問題視されている圧縮によるデータ欠落や、伸長処理でのモスキートノイズやブロックノイズの発生が徐々に改善され、いずれはこれら問題を解決し高画質を維持したままの圧縮が可能になってくるものと考えられる。

テレビ放送の高精細化の観点から見ると、2012年9月に経済産業省の主導で立ち上げた「次世代テレビに関する検討会」の報告書が2013年2月にまとまった[10]のを機に、総務省を中心に「放送サービスの高度化に関する検討会」が構成され、2014年の4K放送開始に向けて具体的な準備が進められている[11]。この検討会ではインターネットを使ったIPテレビによる4K放送も視野に入っており、インフラを含めた見直しが進むものと期待される。このような観点から、在宅遠隔診療に4K映像が導入となることは、そう遠

い将来ではないと期待される。

理想的な非圧縮映像伝送による遠隔医療を将来的に目指すためには、映像信号ケーブルの選択にも注意が必要である。フルハイビジョン映像の非圧縮伝送は、一般にHDMIケーブルが用いられるが、5mを超える伝送には特殊なケーブルが必要となる。あるいは4Kのような超高精細映像を用いる場合はHDMIでは帯域が不十分で、HD-SDIや3G-SGI等の同軸ケーブル複数本で接続されることも多く、太くて重く取り回しにくい。細くて軽く高帯域が取れる光通信ケーブルを考える必要がある。現行の光通信で主に使われている石英光ファイバーは、曲げに弱く光量損失や折れによる断線が生じやすいという問題があった。折れたファイバーは微小なガラス破片による怪我などの問題があるため、取り扱いには専門的スキルが必要になる。とくに医療用途では、カメラやディスプレイを接続したまま移動させたり、室内に配線してその上を踏みつけたり、余ったケーブルを束ねたりすることがあるため断線しやすい環境にある。

本研究では、石英光ファイバーに比べて曲げに強く、室内での取り回しや配線が容易な屈折率分布型プラスチック光ファイバー（GI型POF）がこの用途に最適な通信ケーブルであると考え、試験的に使用してその実用性を示した。

なお、皮膚科以外の診療について考えてみると、必ずしも映像の高精細化で解決できない部分も存在する。表3-2でまとめたように、映像でも可能な問診、視診のほかにも、患者の脈拍、呼吸、血圧、体温などのバイタルサインや、体臭、口臭などの補助情報、舌圧子、聴診器、ハンマーなどの診断機器類を用いた症状把握などが診察に必要なケースも多い。こうした触診、打診、聴診といった映像からは得られにくい物理的情報は、患者側に看護師や医療スタッフ等の介助者を置くことによって、遠隔地にいる医師へ適切な情報を提供すれば、映像情報との組み合わせによって遠隔でも対面診療に近いクオリティが得られると考えられる[9]。

皮膚科においても同じように、あらゆる皮膚疾患が映像だけで診断できると結論付けるものではなく、必要に応じてダーモスコープを用いた検査や、サンプルを取って顕微鏡観察をするなど、次の段階の検査を要する症状もあるし、打診や聴診を行って患者に現れる他の症状と組み合わせて判断を下すべき疾患もある。しかし本研究で重要なことは、従来よりも高精細な映像を用いることによって、そのような検査をしなくても映像のみで診察が可能な皮膚疾患の種類が増加し、多くの患者が在宅のままで遠隔診療を受けることができる可能性が高まることを実験的に示したことにある。

本研究ではD to Pの遠隔診療の場面を想定してきたが、この映像を離れた場所にいる他の医師と共有することによって、患者にとってはセカンドオピニオンを求めやすい環境が得られることになるし、医師にとっても多くの症例に触れて経験を深めることも可能となる。さらには研修医のような経験の浅い医師や、現場経験のほとんどない医学生

に対して遠隔診療時の高精細映像を共有すれば、教科書では学べない多くの貴重な情報を与えることができ教育的効果も高いと考えられる。

5.2.5 高精細映像による今後の遠隔医療

遠隔診療における高精細映像の有効性を、問診および身体所見での視診、触診等の診察手段ごとに、映像伝送方式の比較実験を行って確かめた。その結果、皮膚科のような患部を映像で捉えられるケースでは、映像の品質が高ければ高いほど患部の質感を伝え、多くの症状が映像で診断可能となり、遠隔医療の活用の方が広がることが示唆された。

映像を伴う遠隔コミュニケーションツールの中で、手軽に導入できるSkypeなどのビデオチャット方式では、問診による患者とのコミュニケーションは可能であっても、色再現性を中心とする画質が十分でないために、問診以外の状態観察が必要な場合には適さないことが確認され、ある程度の色再現性を求めるには、テレビ会議システムのような映像を重視したコミュニケーションツールが有効であることも示した。ただし安定した遠隔診療を行うためには、4Mbpsを超える伝送帯域の確保が必要なことを明らかにした。

しかしこのようなハイビジョン規格の映像であっても、映像圧縮によって生じるノイズ（ブロックノイズやモスキートノイズなど）がわずかでもあると、皮膚科では十分な診断ができなくなる現象が見受けられた。本研究では究極の高画質を目指して、データを圧縮せずに非圧縮映像のまま伝送する方式を用いて、ノイズの無い状態がいかに皮膚科診療に優れているかを示した。とくに4K超高精細映像においては、肉眼で見てもわからない皮膚表面の微細な質感までも伝えることができ、触診で診断されるべき情報の一部が映像を通して疑似的に代替可能であることも示唆された。将来、圧縮技術が改善され、これらのノイズ問題が解決されれば、さらに遠隔診療における超高精細映像の利用価値が高められると考える。

このような高精細映像による遠隔診療は、現在、少子高齢化が進む日本における在宅介護の分野での活用が注目される。高齢者の増加により、病院の入院患者数が急激に増加し、とくに都市部において、入院ベッド数が足りない状態が続いているため、救急の入院患者を受け入れることができず、救急車に乗ったままたらい回しに遭うなど、社会問題化している。緊急性のない患者、特に高齢者は、入院による看護ではなく、在宅での介護への移行が望まれている。しかし在宅による介護の問題は、看護師による看護ではなく、主に家族による介護となるため、高齢者の病状の変化に気付きにくく、知らないうちに悪化してしまう危険性を持っている。

たとえば、寝たきりの高齢者の褥瘡（いわゆる床ずれ）の悪化を見逃したために、非

常に危険な状態になってしまうことも少なくない。しかし、かといって、寝たきりの高齢者を定期的に診療所や病院に連れて行って検査してもらうことは、容易なことではなく、本人に痛みの訴えがなければ、そのまま放っておかれることが多い。

褥瘡のような皮膚疾患の状態は、医師であれば、検査をしなくても見ただけでわかることが多く、皮膚の状態をうまく映像で伝えることができれば、在宅のままで診察ができる可能性が高い。現在は、テレビ電話やSkypeなどのウェブチャットの映像で、在宅診療を試みる実験がなされているが、問診程度なら問題ないとしても、褥瘡の様子を見るには映像品質が十分ではない。皮膚の様子を「映像でうまく伝える」には、かさかさ、じゅくじゅく、ざらざらなど、皮膚の質感が伝わることが重要である。こうした分野に、高精細映像の遠隔伝送が期待されている。

5.3 高精細・3D映像と医学教育

医療における特殊映像技術として、4Kのような高精細映像のほかに、立体視(以下3D)映像の活用がある。人体は3次元物体であるため、その立体構造を理解することは、医師にとって非常に重要なことである。

医療の現場だけでなく、医学教育にとっても3D映像の活用による教育効果が期待されている。そこで、慶應義塾大学医学部の協力のもと、立体映像や4K高精細映像など、特殊な高画質映像の実験を数々行ってきた(図 5-8～図 5-12)。

● 2D/3D変換処理デモ



● ダ・ヴィンチ外科手術3D映像デモ



図 5-8 医療映像の立体視表示方法の検討

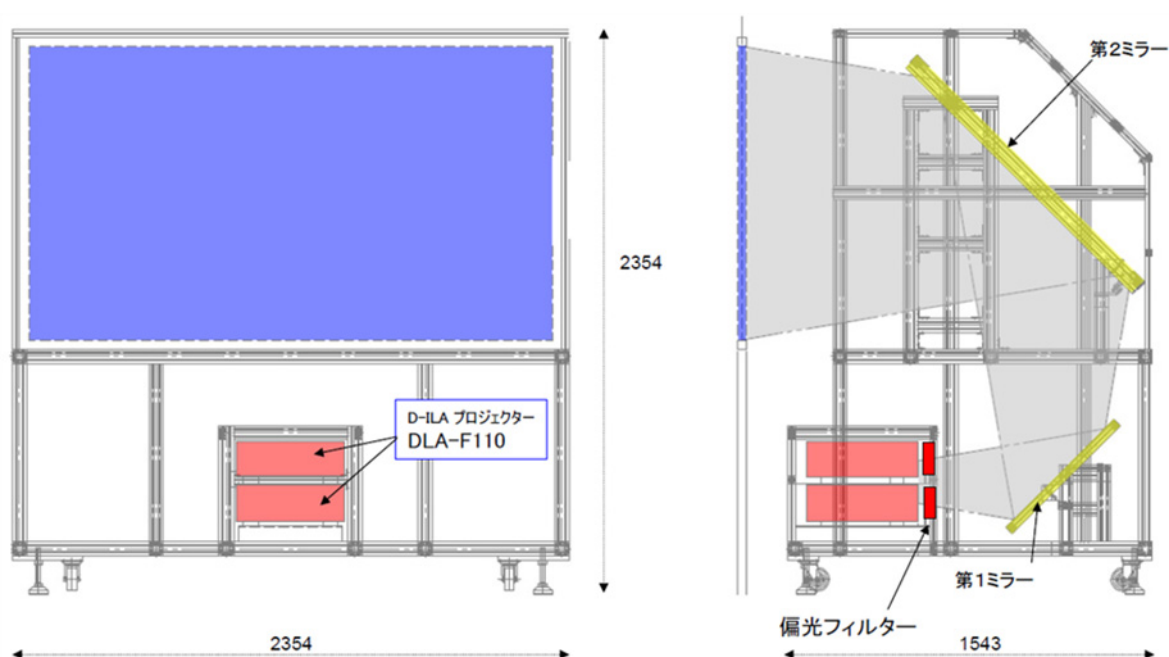
図 5-8 は、医療映像の3D表示について、異なる手法による映像を、医師らに評価してもらった実験である。2D映像を特定のアルゴリズムで3D映像にリアルタイムで変換する装置の医学部の医師らによる評価実験(図 5-8 上)、立体視ディスプレイを用いた実写3D手術映像の表示方式の違いの評価実験(図 5-8 下)を行った。

図 5-9 は、慶應義塾大学医学部の信濃町キャンパス3号館北棟の、1階ラウンジに実証実験のために据え付けた、100インチ3Dスクリーン(リアプロジェクションディスプレイ)である。このスクリーンのバックヤードに入っているプロジェクション投影装置の図面を、図 5-10 に示す。既存の場所に設置するために、バックヤードのスペースが十分に取れず、ミラーを2枚使って投射距離を短縮した。2台のプロジェクターがあり、それぞれから回転方向の異なる円偏光をかけた、右目用と左目用の映像が投射される。視聴者は、円偏光フィルターのついたメガネ(パッシブ3Dメガネ)をかけて視聴する。

この3Dスクリーンを使用して、様々な立体視を活用した授業や講習会、研究会、ミーティングなどが行われている。たとえば、耳鼻科医による内耳の血管と神経の立体構造を学ぶ授業がある。



図 5-9 大画面立体視スクリーンの導入



ミラー方式により奥行きを大幅に削減

設計 JVCケンウッド

図 5-10 大画面立体視スクリーンの構成

また、このリアプロジェクションスクリーンは、同館地下の動物実験室との間で、光電変換器を介して、GI型POFでつながれており、双方向にフルハイビジョン映像を非圧縮でリアルタイム伝送できるようになっている。このシステムは、講習会などで活用されており、地下の動物実験室で行われる、ブタなどを使った内視鏡手術のデモンストレーションを、1階のラウンジにいる大勢の受講者に対して、大画面でリアルタイムのトレーニングをすることができる。

通常の内視鏡トレーニングの講習会は、手術室に入れる少人数でしか行われていないが、本システムにより、同時にたくさんの受講者を対象に実施できる。また、映像でたくさんの受講者に共有する場合、通常は録画された手技を再生して見せながら解説する程度であるが、本システムを活用すれば、リアルタイムでインタラクティブにできるため、執刀医と会話しながらトレーニングを受けたり、質問をしたりすることができる。

本システムを使ったデモンストレーション実施の様子を、図 5-12 に示す。

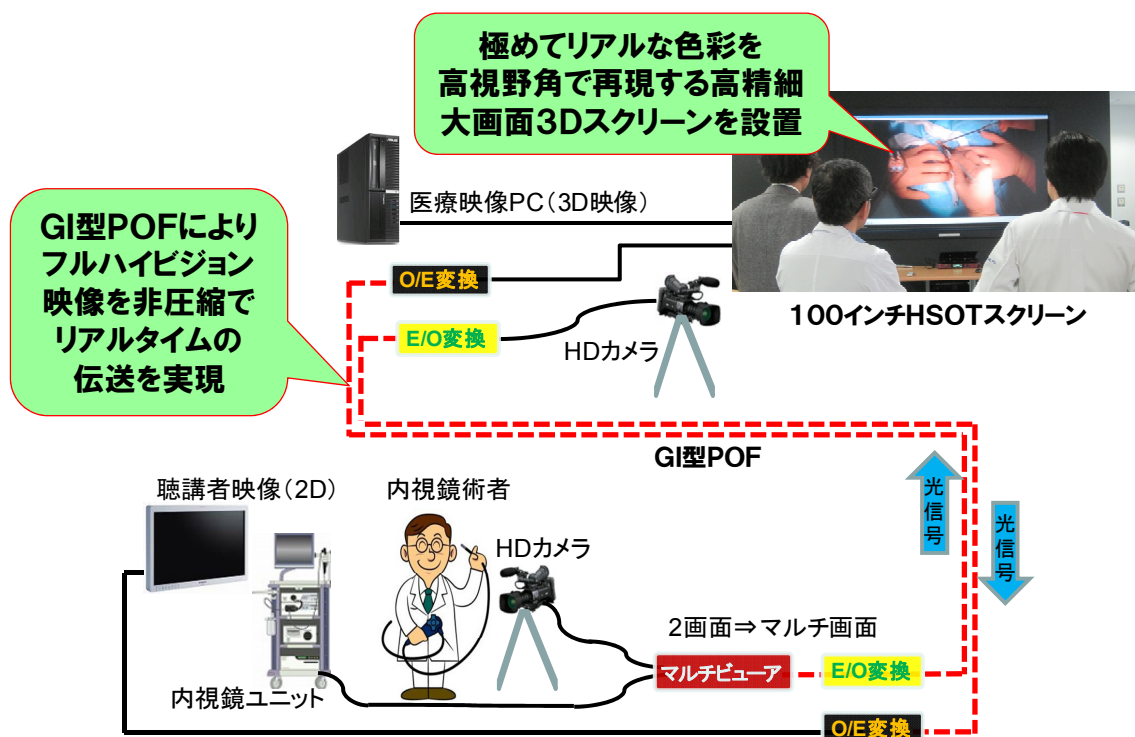


図 5-11 高精細映像のリアルタイム中継装置



図 5-12 リアルタイム中継のデモンストレーション

5.4 第5章のまとめ

以上のように、本章では以下のことについて述べてきた。

1. 病院内ネットワークの高速化の必要性和事例を示した
2. 高精細映像を用いた遠隔診断実験を通して有効性の確認を行った
3. 3D映像に対する医学部と共同での取り組みについて紹介した

6

第6章 考察

* * * * *

第6章では、これまで述べてきた本研究の取り組みについて考察し、今後の課題と将来の展望について述べる。とくに、高速光毛細管ネットワークの実証敷設事例として、慶應義塾大学矢上キャンパスに新築中(2014年春竣工予定)の34棟について、これから行われる研究と教育のビジョンについて記載した。

また将来、毛細管ネットワーク同士をつないで、外部とのコミュニケーションを図っていく場合に必要となる、低遅延圧縮技術(高精細映像のデータを劣化の少ない圧縮でリアルタイム性を保持して伝送する技術)について触れ、将来の遠隔コミュニケーションの可能性について述べた。

さらに、こうしたネットワークを具体的に実現し、住宅内を例としてビジネス展開する場合の開発ステップについて議論した。

* * * * *

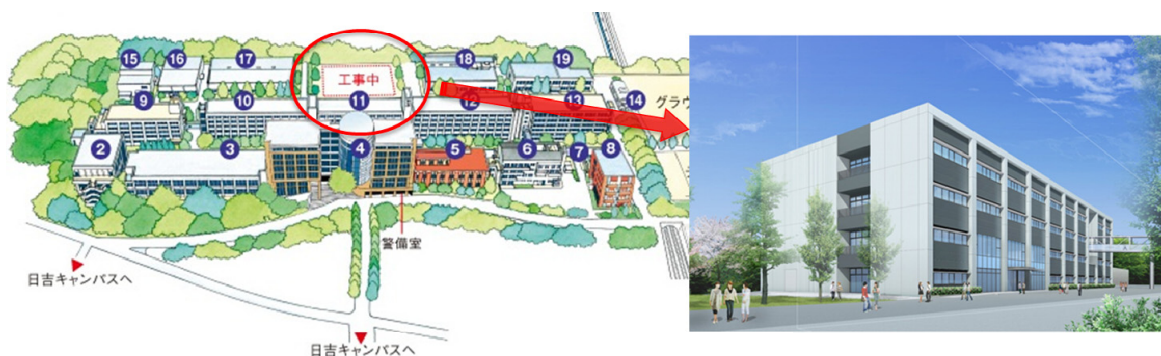


図 6-1 慶應義塾大学矢上キャンパスに「ギガハウス」を建設

6.1 実証実験棟「ギガハウス」の建設

本研究によりデザインされた高速光毛細管ネットワークの実証実験を行うために、慶應義塾大学理工学部75周年の記念事業として、矢上キャンパスに建築される教育研究棟34棟の中に、全フッ素化GI型POFを用いた10 Gbps光ネットワークを、全館に張り巡らすことを実現した。これを我々のプロジェクトでは、「ギガハウス」と呼んでいる。

図6-1は、34棟が建設された位置を示すキャンパスの地図と完成予想図で、2014年1月完成の予定で、工事が着実に進められている。この中に配線されるGI型POFネットワークは、10 Gbpsの高速通信を可能とするものであり、様々な新しい研究・教育のあり方を実証する場となる。

高速のデータ通信を研究に活用する研究室やプロジェクト室を想定して、各室内に光のコンセントを備えている。また、ハイビジョン映像の非圧縮伝送(約3 Gbps)ができることから、以下のような実証の場を提供する(図6-2)。

(1) 双方向遠隔実験授業

4階の管理実験室では、学生実験の授業を遠隔管理、指示ができるように、グループ毎の実験卓にハイビジョンカメラが備え付けられ、隣の教育研究棟24棟など、キャンパス内のいくつかの研究室とつながっている。これにより、離れた場所にいる教員が実験の様子を観察したり、学生へ指示したり、学生からの質問を遠隔で受けたりすることができる。将来はキャンパス外と接続もできるようになっており、例えば海外にいる専門の教員、研究者から指導を受けることもできる。



図 6-2 10 ギガネットワークを活用した 34 棟内部のシステム事例

(2) フェイス・ツー・フェイス・コミュニケーション支援

2階のラウンジには、70インチの大型液晶ディスプレイが2面設置されており、外部とのテレビ会議など、等身大の遠隔コミュニケーションを可能にしている。良好な通信回線があれば、国内外を問わず、世界中の人々とコミュニケーションがとれる。

(3) 3Dリアルタイム中継

1階の学生実験室にある精密機械加工機の中に設置された小型高精細カメラにより、切削加工の様子を至近距離からズームアップして撮影し、3階の製図室にある100インチ2面の大型リアプロジェクションスクリーンに非圧縮のままリアルタイム伝送して、ライブ中継することができる。通常、機会の前に立っていても見ることができない切削加工の様子を観察できるだけでなく、授業としてたくさんの学生に同時に見せることができるのが特徴である。

6.2 普及に向けた今後の課題

このように、高速光毛細管ネットワークによって、高画質映像を使ったコミュニケーションが実現する。これまで述べてきたように、本研究は屋内のネットワークにフォーカスして行われてきたが、現実には遠隔地とのコミュニケーションのためには、屋外の通信インフラの活用が必要となる。

屋外とつなぐ場合、ギガビット通信は容易ではない。そこで注目したのが、放送局のライブ中継用にソニーが開発した、IPライブ伝送システム「NXL-IP55」である(図6-3)。これは複数のカメラ映像を中継車やスタジオサブに伝送して、映像の切り替えスイッチングを行うに当たり、現場のケーブル配線が複雑にならないように、IP化してイーサネット伝送するものであるが、トラフィックの負荷を軽減するためにハイビジョン映像を200Mbps程度に軽く圧縮している。

通常は圧縮によって遅延が発生してしまうが、ライブ中継では遅延があるとスイッチングで映像が途切れてしまうため、ソニー独自の特殊な技術で、1フレーム以下の低遅延圧縮を実現した機種である。放送局用に開発されたプロフェッショナル仕様であるが、これを遠隔コミュニケーションに活用することを提案し、実験により長距離伝送が可能なことを実証した。

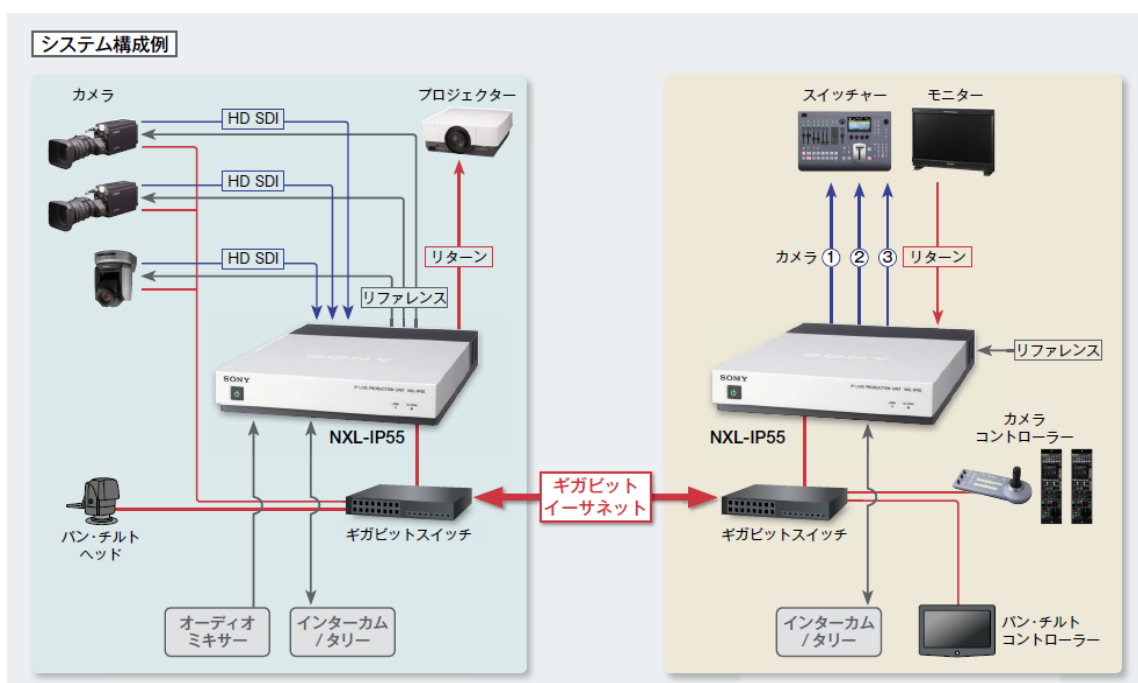


図 6-3 低遅延で圧縮伝送を可能にしたIPライブで送システムの構成例
(ソニーNXL-IP55 商品カタログより転載)

この機種を用いた低遅延圧縮伝送技術によりリアルタイム遠隔コミュニケーションを達成したが、画質を劣化させる圧縮技術は使いたくないという皮膚科医のコメント(第5章参照)にあるように、非圧縮伝送ができるような通信インフラも含めた超高速伝送の検討が今後必要になってくると思われる。

また、インフラ環境の整っていない発展途上国などを考慮すると、低遅延圧縮技術であっても帯域がまだ高く実用化が困難である。圧縮率を高めることは、映像遅延とのトレードオフであり、切り離せない問題となる。今後は、どの程度の遅延までが許容されるのか、様々な遠隔コミュニケーションの用途を想定して、許容レベルの違いを把握する研究が必要であろう。

6.3 高速光毛細管ネットワーク実現へのステップ

さて、室内のネットワークに話題を戻し、このような高速光毛細管ネットワークを実用化して普及させていくためのビジネス展開の提案を行う。とくに重要なステークホルダーとなる住宅メーカーが、この導入に前向きになるために、3段階のステップを踏む必要があると考える。本提案は、慶應義塾大学を中心に、複数の企業とアライアンスを組んだ連携作業により練られた構想である(主な企業は、パナソニック、本多通信工業、NTT 東日本、イーラムダネット、三菱鉛筆など)。

6.3.1 第1ステップ

いきなりネットワークを作ろうとすると、あらゆる機器類がつながるように、規格化を行う必要があるが、容易なことではない。そのための体制づくりには、長い年月をかけて信頼関係を構築していくことが必要であり、簡単にまとまるものではない。そこで、まずは特定の用途に固有のシステムを作り、屋内に光を使う実績を作ることを第1ステップとする。あまり小さな用途では実績を作ったと言えないため、候補として挙げたのがNTTのフレッツ光である。中でもとくに、フレッツテレビの室内の同軸ケーブルを光に変換する。その様子を図6-4に示す。

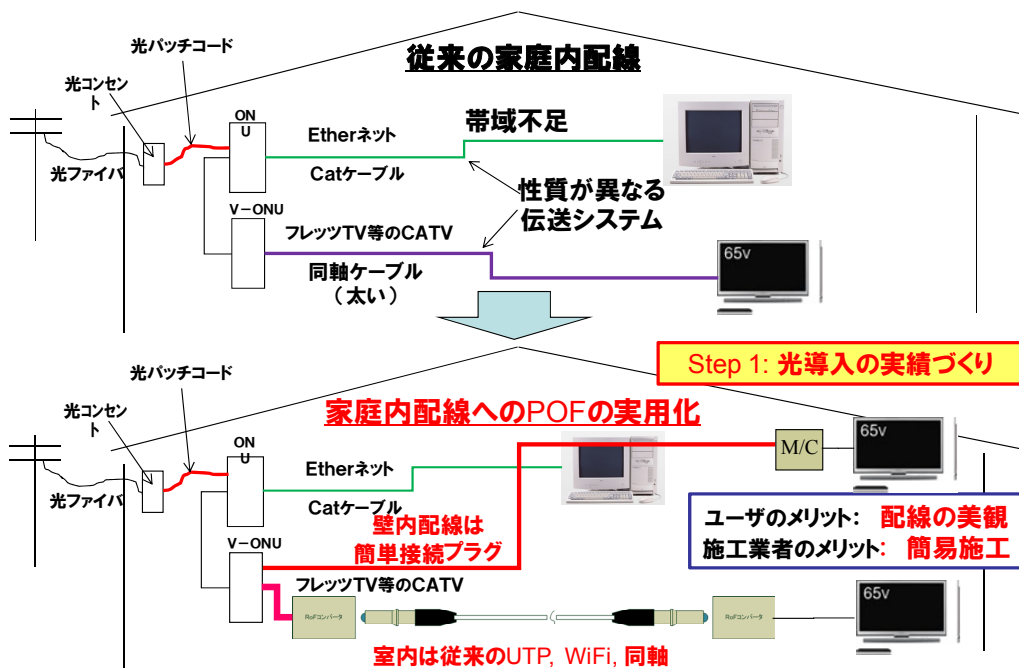


図 6-4 光毛細管ネットワーク導入ステップ1

6.3.2 第2ステップ

ステップ1により、多くの家庭にフレッツ光テレビが入り、光回線の住宅内実績ができると、住宅メーカーが光ネットワーク敷設のオプションを組み入れてもらうことが可能となり、施工主の要望に合わせて、従来の回線が良いか、光による10Gネットワークが良いか、選択肢に入れることができる。

施工主となる居住予定者の意向にもよるが、住宅を15~20年使用することを考えると、昨今のインターネットや映像関連機器の発展から、ネットワークの負荷の軽減が重要であることは予測でき、将来にわたり陳腐化しない、10Gの余裕のあるネットワークを入れてもらえる可能性が高いと考える。

ここで必要になっている技術は、住宅メーカーから指示を受けてネットワークを敷設する下請けの施工業者が、光を簡単に扱えるようにすることである。これまでの石英系光ファイバーでは、現場施工はスキルを持ったエンジニアしかできず、適当な長さに切ってつなぐという従来の電気配線の感覚では困難なため、住宅メーカーが決めても施工業者の方で対応が取れない。

そこで、加工が容易なプラスチック光ファイバーを使い、切ってつなぐだけの簡単施工技術の開発をステップ2の一環として行う(図6-5)。すでに慶應義塾大学と本多通信工業との共同で、このあたりの開発が進められており、基礎技術は確立している。

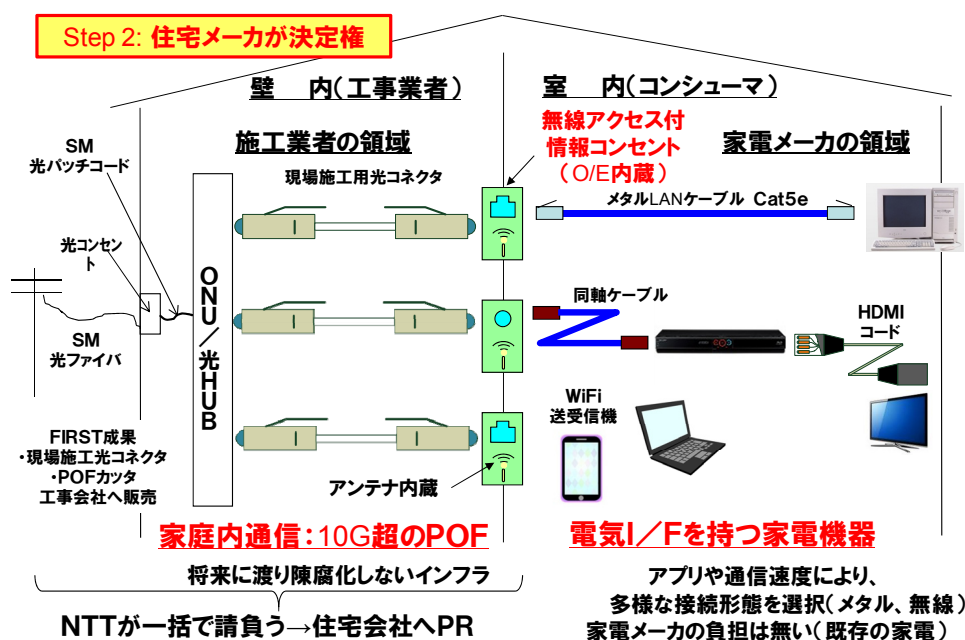


図 6-5 光毛細管ネットワーク導入ステップ2

6.3.3 第3ステップ

こうして、住宅メーカーによって建物内まで光ネットワークの配線ができていれば、あとは室内の光化を推進していく第3ステップへと進むことができる。

このステップでは、家電メーカーを中心として、室内に設置する機器類に、光のインタフェースを持たせることである。これには規格化が必須となり、達成までの期間も長くなるが、第1ステップのうちから、少しずつ規格化へ向けた活動を繰り返していくことにより、第3ステップでの規格化実現を可能とする。この流れを、図6-6に示す。

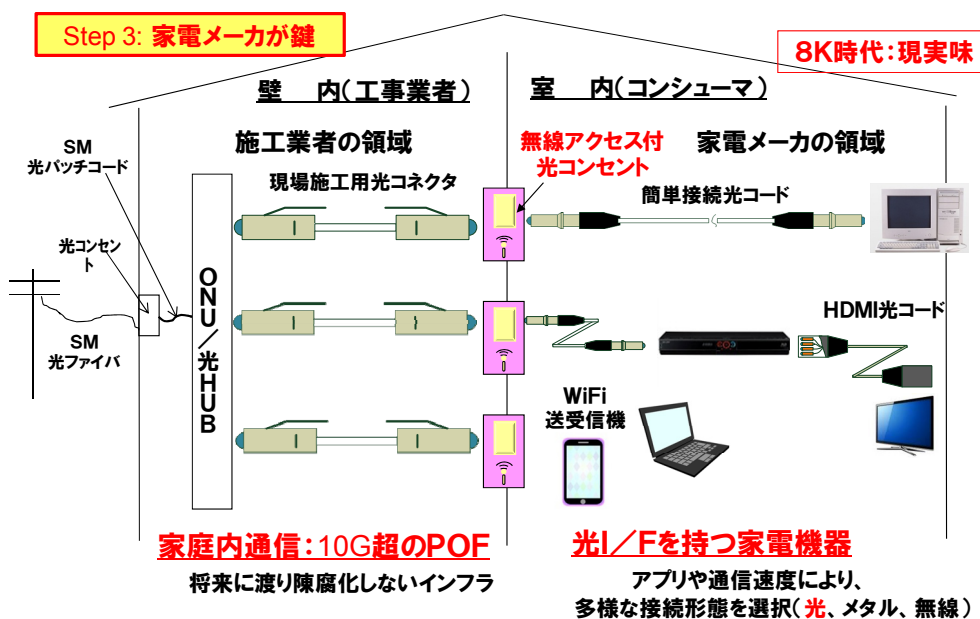


図 6-6 光毛細管ネットワーク導入ステップ3

住宅メーカーが高速光毛細管ネットワークの施工をし易くするための簡単施工時具の開発については、基礎的な開発を進めている。詳細については、本論文では割愛するが、高速のプラスチック光ファイバーを、現場施工で好きな長さに切ってコネクタを付ける作業の改善である。現状では、切ったファイバー端面を平滑に研磨する作業が現場にとっての負担となっているうえに、そのための研磨治具が高価で、かつ高いスキルを要求される。これでは、一般の電気配線業者では取り扱うことができない。研磨不要でカットできる方法を見出し、学会等で発表を行ってきた[1,2]。

6.4 第6章のまとめ

以上のように、本章では以下のことについて述べてきた。

1. 新築中の「ギガハウス」における今後の教育・研究構想について紹介した
2. 本研究課題の今後の課題と将来の展望について述べた
3. 実現に向けたビジネス展開について述べた

7

第7章 結論

本研究により、以下のことが明らかになった。

- ・ 屋内使用に耐える安価で簡単で精度の良いコネクタ技術を開発し検証した
- ・ 将来の屋内高速通信のネットワーク負荷について実測データをもとに予測した
- ・ 高精細映像により遠隔医療や医学教育の発展に寄与することを示した

近年の映像技術の目覚ましい進歩は、映像伝送速度の急激な増加を生じている。大容量のデータを高速で送るためのインタフェースの開発がすすめられているが、光化には様々な困難があり、屋内用途では光ファイバーの素材からの見直しが必要になっている。

本研究では、屈折率分布型プラスチック光ファイバー(GI型POF)を用いて、屋内の高速光毛細管ネットワークを構築する研究を行ってきた。本研究で乗り越えた一つのハードは、POFの柔軟性からくる端面の傷つきやすさを、ボールレンズで解消するに当たり、これまで光通信とは無縁と考えられてきたボールペン製造技術を応用し、全く新しいコネクタ方式を考案したことにある。

これにより安価で簡単で精度の良い光接続が可能となり、病院はオフィス、住宅などの屋内ネットワークへの活用が期待される。本研究では小規模プロトタイプによる屋内ネットワークの負荷量予測を行い、GI型POFにより高精細映像の活用に自由度が増すことを証明した。また、医療や医学教育への高精細映像の活用を、実証実験を通して確認し、映像による患者の診断に有効的であることを示した。とくに4K高精細映像伝送実験では、肉眼より優れた映像を届けることができることを示し、遠隔診療や在宅診療などへの可能性を示唆した。

Appendix

[付録] ハイビジョン遠隔診療実験詳細

* * * * *

ここでは、5.2節でまとめた「高精細映像による遠隔診断の有効性」の中で、数回に分けて行われたハイビジョン映像伝送実験の詳細につき、当時(2010年)の報告書を付録として添付する[1]。

この実験は、2009年から2010年にかけて、慶應義塾大学の「外部連携研究創出助成制度」の一環で、『少子超高齢化社会における大学を中心とした健康町づくり構想』(通称:ウェルネス・コミュニティ・プロジェクト)として行われたもので、三井物産株式会社メディカル・ヘルスケア事業部を外部連携先として実施された。筆者が分担した研究テーマは、「世界最速プラスチック光ファイバーを用いた非圧縮フルハイビジョン映像伝送によるチーム医療への応用」である。

なお、この実験の後、さらに4K映像を用いた実験を追加して行い、これらを総合的にまとめて評価したものが5.2節で述べたものである。

* * * * *

(付)第1章 序論

1. 1 研究の背景

ICT技術の進歩により、いまや遠くにいる相手と顔を見ながら会話ができるようになってきた。このテクノロジーを遠隔医療に活用しようと、数多くのプロジェクトが立ち上げられ、1997年から2004年までの8年間で1,006件の遠隔医療プロジェクトが実施された[2]。

このように遠隔医療のニーズが高まる中、「医師は、自ら診察しないで治療をし、若しくは診断書若しくは処方せんを交付してはならない」としている医師法第20条の法的な解釈も、次第に緩和されつつある[3]。すなわち、ここに出てくる「診察」が、以前は物理的に対面で会って行われる診療行為であったのに対して、上記のごとく高度なICT技術により、離れていてもあたかも対面で会っているがごとく会話ができるようになることで、遠隔でも「診察」ができるのではないかという期待が表れている。

中でも昨今「チーム医療」と呼ばれる組織や専門の異なる医師同士が連携して、検査データや診察結果、手術の様子などを共有し、ひとりの患者の治療に対応する医療の在り方が求められきている。たとえば病院と診療所、介護施設が連携する「病診介護連携」を、ICT技術の応用によってすすめようとする動きがある。

ここでカギを握るのが画質である。的確な診断を下すためには、より正確な画像をもって、現物を実際に目で見ているように見えなければ、医師にとっては誤診をするリスクが大きくなる。静止画は、かなりの高画質なものがデジタルでも可能となり、電子的に送付することも難しくなくなってきた。一方、動画では静止画でわからない患部の動きが伝えられ、より一層患者の状態をうかがい知ることができる。

現在一般に入手可能な高画質モードは、ハイビジョン(High Definition)である。カメラもディスプレイも、ハイビジョン対応が当たり前になってきた。ハイビジョンとは、横1280ピクセル、縦720ピクセルの画素数を持ち、1秒間に30コマの映像をインターレースで送る方式である。さらに高画質なフルハイビジョン(横1920、縦1080)も普通になった。しかし問題はその画像の伝送にある。残念ながら、現在の動画の伝送技術は、医師らの要求にはまだまだ不十分であるといえる。

フルハイビジョンの動画を送ろうと思うと、1.5Gbpsの伝送速度が必要である。非圧縮での画像伝送方式としては、HDMI (High Definition Multimedia interface) がある。ハイ

ビジョンのデジタル機器の接続(たとえば液晶テレビとブルーレイレコーダなど)に使われている。しかし残念なことに、ケーブル長に制限があり、5mを越える長さは、特別なケーブル設計が必要となるため、価格も非常に高くなってしまう。

わずか5mの伝送では、遠隔とは言えず、至近距離の領域である。より長い伝送をする際には、現状のギガビット・イーサネットでは、速度が足りない。ましてやワイヤレスはもっと速度が遅い。ただしワイヤレスの場合はやや別格で、むしろ速度は遅くても、へき地からの画像伝送であれば意義があり、災害地を想定した衛星中継による遠隔医療の提案もなされている[4]。

通常イーサネットやワイヤレスで送るときは、データを小さいサイズへ圧縮して伝送する。私たちがふだん目にするハイビジョンテレビ放送も圧縮で送られている。圧縮による問題は、画質劣化と遅延がある。とくにデータのある画素の集合体のブロックで圧縮処理するため、ブロックノイズと呼ばれるモザイク現象が発生しやすい。遅延とは、データが相手に伝わるまでの時間差である。とくにハイビジョン放送の遅延は、秒単位で発生するため、生放送と言いながら、数秒遅れた過去を見ているのが現状である。

本研究は、遠隔医療を執り行う中で、このデータ圧縮による画質劣化と遅延の問題が、医師の診察にどの程度影響するのかを調査し報告するものである。比較として用いるのが、世界最速プラスチック光ファイバーによる非圧縮画像伝送である。プラスチック光ファイバーは、ガラス製の石英光ファイバーに比べ、機器間を接続して室内に配線しても、ファイバーの曲げや、椅子などによる踏み付けに注意を払う必要がない。

1.2 研究の目的

上記に述べたように、本研究は、画像データを遠隔地に伝送するために通常行われているデータ圧縮が、遠隔での医師の診察に影響を及ぼすのかを、世界最速のプラスチック光ファイバーによるフルハイビジョン画像の非圧縮伝送と比較し、チーム医療への応用を示唆するものである。

杉並区医師会の協力のもとで、医師会会館内に実験的にプラスチック光ファイバーによるフルハイビジョン光伝送の設備を構築し、通常のテレビ会議システムや、ウェブカメラシステムとの比較により、画像圧縮の問題を明らかにする。

(付)第2章 実験と結果

2. 1 ビル内POF光ハイビジョンシステムの導入

2. 1. 1 光ハイビジョンシステム設置現地調査

実験を始めるにあたって、すでにプラスチック光ファイバー (POF) が敷設されている杉並区医師会館について、現状のDVTS伝送からハイビジョン伝送への転換を行った。設置場所は、医師会館の2階会議室と3階講堂である。

1. プラスチック光ファイバー (POF) 設備について

光ハイビジョンシステム設置のために、2階と3階の間のプラスチック光ファイバー (POF) 設備、既存のカメラ設備、既存のプロジェクター設備及びDVTS画像伝送設備についてまず調査した。

これまで、2階と3階の間には、ルキナPOFペアケーブルが2本敷設されており、2階は、パネル面にペアコネクタが3階用に2個設置されていた。1個は、DVTS回線用に接続されていて、他の1個は予備、3階については、一本はペアコネクタが取付けてあり、DVTS回線として利用していた。予備のルキナPOFにはコネクタが取付けられていないので即使用不可の状態であった。当初、POF回線は、DVTS回線として利用されていたが、最近では、伝送画質が悪く利用頻度が少なくなっていた。

ルキナPOF配線の距離 (2F-3F間) は、約50m、その光伝送損失は、～1dB程度であり、コネクタ損失を配慮しても～2dB程度と予想されるので (ルキナPOFの伝送損失～20dB/kmから予測)、光接続条件に問題はないと判断した。

しかし、その後、実際に光ハイビジョン伝送試験をした際に、ペアの2本のPOFのうち、1本は問題なく低損失で合格であったが、他の1本の伝送損失が13dBあり、コネクタ接続部を入念に清掃研磨して再度損失を測定しても伝送損失が下がらないので、POF配線については、コネクタ部分の取替などが必要であった。また、予備回線についても、3Fにもペアコネクタを接続して予備回線として使用可能な状態にすることが望まれた。

2. カメラ設備について

2Fのカメラは、現在Canon製VC-C50iRである。これは、パンチルトズーム(PTZ)アナログカメラ、表示解像度は、水平460TV本x垂直350TV本、有効約34万画素数である。出力は、BNCコンポジット端子からケーブルで取り出し、プロジェクターのコンポジットへ配線されている。従って、画質としては、現状では最低品質であり、後程機器選定で示すようなハイビジョンカメラへの交換により大幅な改善が見込まれる。

3Fのカメラは、現在Sony製HDR-FX1である。このカメラは、112万画素であり、Sonyの最初のハイビジョン対応カメラであるが、iLINKのDV出力の配線によりPCに入力して、DVTS回線で画像を配信している。従って、現状では、SD画質の利用となっている。このカメラにはHDMI(注)出力端子がなく、現状の設備でのハイビジョン伝送には適していない。

(注)HDMI(High Definition Multimedia Interface)は、デジタル家電/AV機器向けに開発された次世代の映像・音声・制御信号入出力用デジタル・インタフェースである。HDMIは、画像と同期の4本の高速デジタル信号と機器制御用低速の信号からなる19ピンのコネクタを利用している。PCディスプレイ向けの映像入出力用デジタル・インタフェースであるDVI規格をベースにして、テレビ、DVDプレーヤー、HDDレコーダ、AVアンプ、ゲーム機向けに、映像、音声及び機器間のリモート制御用双方向コントロール信号等を、取り回しが容易な小型のコネクタを備える1本のケーブルで、完全なデジタル方式により伝送する。これにより、非圧縮のデジタル・データとしてコンテンツを伝送できるためハイ・クオリティな映像・音声を提供できる。また、コンテンツのコピー防止のために HDCP(High-Bandwidth Digital Content Protection)を搭載している。さらに、従来のAV機器における混雑した配線が簡素化され、加えて、リモコンなどによる異なる機器間の集中制御が可能となり、使いやすさが向上する。

3. プロジェクター設備について

2Fのプロジェクターは、現在映機工業製EIP-3500である。カメラからの入力、アナログコンポジット入力端子が利用されていて品質は良くない。照度は3500ANSIルーメン、解像度は、XGA(1024x768)ですが、ハイビジョン対応のWIDE16:9映像出力がなく、ハイビジョン対応の入力HDMI端子も有していない。

3Fのプロジェクターは、東芝製TLP-X4500Jである。カメラ映像は、コンポジットビデオ入力端子に接続されたアナログ映像である。このプロジェクターも、ハイビジョン対応のWIDE16:9映像出力やハイビジョン対応の入力HDMI端子を有していない。

4. DVTS によるカメラ映像配信設備について

現在のDVTS映像配信設備は、カメラからのiLINKを通してDVTS画像信号をPCまで配信し、PCソフト処理によりDVTS/IPに変換し、IP信号で100Mイーサネットで送信する。従って、PCからのインターネット回線により画像配信可能である。これを、POFを利

用して送信するには、例えば、3階のDVTS送信用PC出力のイーサネット信号をメディアコンバータにより、光信号に変換し、POFを通して2階へ送信し、2階のメディアコンバータで電気信号に変換してDVTS受信用PCへ入力し、ソフト処理によりPCのRGB端子からの画像出力としてプロジェクターへ接続して出力される。

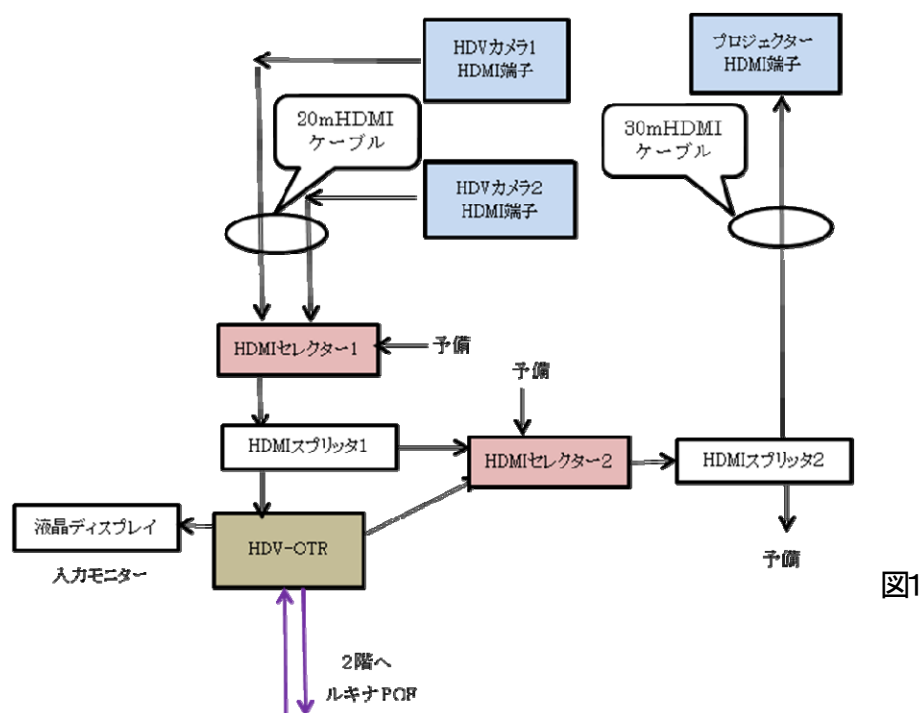
これと、類似の方式により、カメラからのハイビジョンHDV-TS信号をiLINKを通じてPCまで配信し、PCソフト処理によりMPEG2などで圧縮されたIP信号にしてPCから出力すれば、100Mイーサにて遠隔地へ送信し、受信側ではPCのソフト処理でハイビジョン信号を復元してRGB端子を通じてプロジェクターにより映写できる。ただし、ハイビジョン信号の圧縮処理には、高性能のPCを利用しても遅れが生じるので、2階と3階の間で双方向の質疑応答をする場合などでは違和感が生じ快適な双方向通信は期待できない。

現在の設備は、DVTS回線であるので、ソフト処理の時間遅れは顕在化していないようであるが、SD画質であるので、ハイビジョンに比較して画質が劣る。

2. 1. 2 光ハイビジョンシステム構成の設計

最近では、BSハイビジョン放送や地上波デジタル放送をはじめ、家庭用のビデオカメラなどにおいてもハイビジョンの高品位画質が幅広く普及してきており、快適なコミュニケーションのために積極的にハイビジョンを利用する傾向にある。これから構築する映像配信システムにおいては、高品位画質のハイビジョン伝送を利用した双方向会議システムが望まれる。さらに、POFなどの光ファイバーが利用できる環境であれば、遅れを感じさせないリアルタイムハイビジョン双方向会議システムや双方向遠隔医療システムなどが実現できる技術が開発されている。

ここでは、POFを利用したリアルタイムハイビジョンシステムを提案し、2階と3階の映像を相互にリアルタイムで共有できる環境を構築する。ここで提案する3階(2階)のハイビジョンシステムの構成を図1に示す。



3階(又は2階)の光ハイビジョンシステムの構成

3階講堂には、天井から吊下げた構成で、東側と西側にHDVカメラ2台、中央にプロジェクター1台を設置する。

HDVカメラ1(東側)、HDVカメラ2(西側)の画像を選択して、その映像をハイビジョン光トランシーバHDV-OTRにより、光出力に変換し、2階へルキナPOFを通じて送信する。本システムは、HDMI端子付のハイビジョン機器を利用し、遅れを感じさせないリアルタイムハイビジョン双方向伝送システムである。

3階(又は2階)のフロア内の各機器の接続には、HDMIケーブルを利用する。HDMIケーブルは、通常、5m程度までの配線は、ハイビジョン伝送特性は保証されているが、10m以上となると特性の保証がされていない。そこで、10m以上のHDMI配線には、特別に設計されたHDMIケーブルを使用する必要がある。これはHDMIコネクタ一部分に、ケーブルの伝搬損失の周波数特性を保証するイコライザICを有するケーブルである。3階においては、カメラ2台は、天井に吊してあり、ハイビジョン光トランシーバHDV-OTRのある本システムの制御卓(キャビネット)までは、余裕を見て20mのHDMIケーブルにて接続し、プロジェクターまでの接続は、30mのHDMIケーブルで接続する。

また、2階については、2階のHDV-OTRを設置する制御サーバーラックから1台のカメラまでと1台のプロジェクターまでの接続にはそれぞれ10mのHDMIケーブルを利用する。これらの10m以上のHDMIケーブルには、イコライザ機能を具備したHDMIケーブルを使用する。

カメラ2台は、HDMI2系統の接続を切替えることのできるHDMIセレクター1(選択器)を利用して、カメラ1からの画像とカメラ2からの画像を選択して送信する。

また、1系統の入力ハイビジョン信号を複数系統に分岐して出力できるHDMIスプリッター1(分配器)を利用して、同じ信号を複数本に分岐する。分岐した1系統は、ハイビジョン光トランシーバHDV-OTRで光に変換して、2階へ光伝送する。もう1系統は、2階からの画像光信号をHDV-OTRにて電気HDMI信号に変換した信号と合わせてHDMIセレクター2に入力し、選択した方の信号出力を30mケーブルを通してプロジェクターへ送信する。

プロジェクターについては、HDMI入力が付属していて、16:9のワイドなハイビジョン映写が可能な機種を選定する。

以上は、3階の設備を中心に説明した。2階については、会議室にカメラ1台、プロジェクター1台を設置することを考えると、HDMIセレクター1は通常使用しないので接続せずに予備機とする。その他の構成は、上記と同じ構成にする。

以上のシステムにより、3階の講堂の2台のHDカメラの画像をPOFを通して2階へ送信し、2階のプロジェクターからスクリーンに投射できる。また、同時に2階の1台のHDカメラの画像をPOFを通して3階へ送信し、3階のプロジェクターからスクリーンへ投射できる。従って、2階と3階の部屋がPOFを通じてハイビジョン画像でリアルタイムに透過し、あたかも拡大した1部屋になった臨場感がある設備が実現できる。

2. 1. 3 構成機器選定

上記光ハイビジョンシステム構築に必要な構成機器を選定した結果を下記に示す。

1. 光 HDV トランシーバ

光ハイビジョントランシーバの役割は、2階と3階をPOFで接続し、リアルタイムのハイビジョン信号を双方向に送信、受信することであり、現在、実際にそのような機能が確認されている機種は下記の通りである。

■ 型名 HDV-OTR7889 イーラムダネット製

■ 必要台数 2台

■ 概 要

光HDVトランシーバHDV-OTR7889は、4波長面発光レーザーVCSELを使用して、ハイビジョン信号(HDMI/DVI)を非圧縮のままリアルタイムに伝送することができます。

マルチモードガラスファイバー使用時は、1キロメートル、GI-POF使用時は、200メートルまで、ハイビジョン映像をリアルタイムに光送信受信できる特長があります。

■ 仕 様

1. 伝送信号:ハイビジョン信号(HDMI/DVI)

2. 発光素子:面発光レーザーVCSEL4波長

光波長 780 810 850 980 nm

各光出力レベル -6 dBm

3. 受光素子:PD 光受光レベル 0～-20 dBm

4. リンクバジェット: 14 dBm以上

5. 適合光ファイバー: GI-50/125

6. 適合コネクタ: SCコネクタ

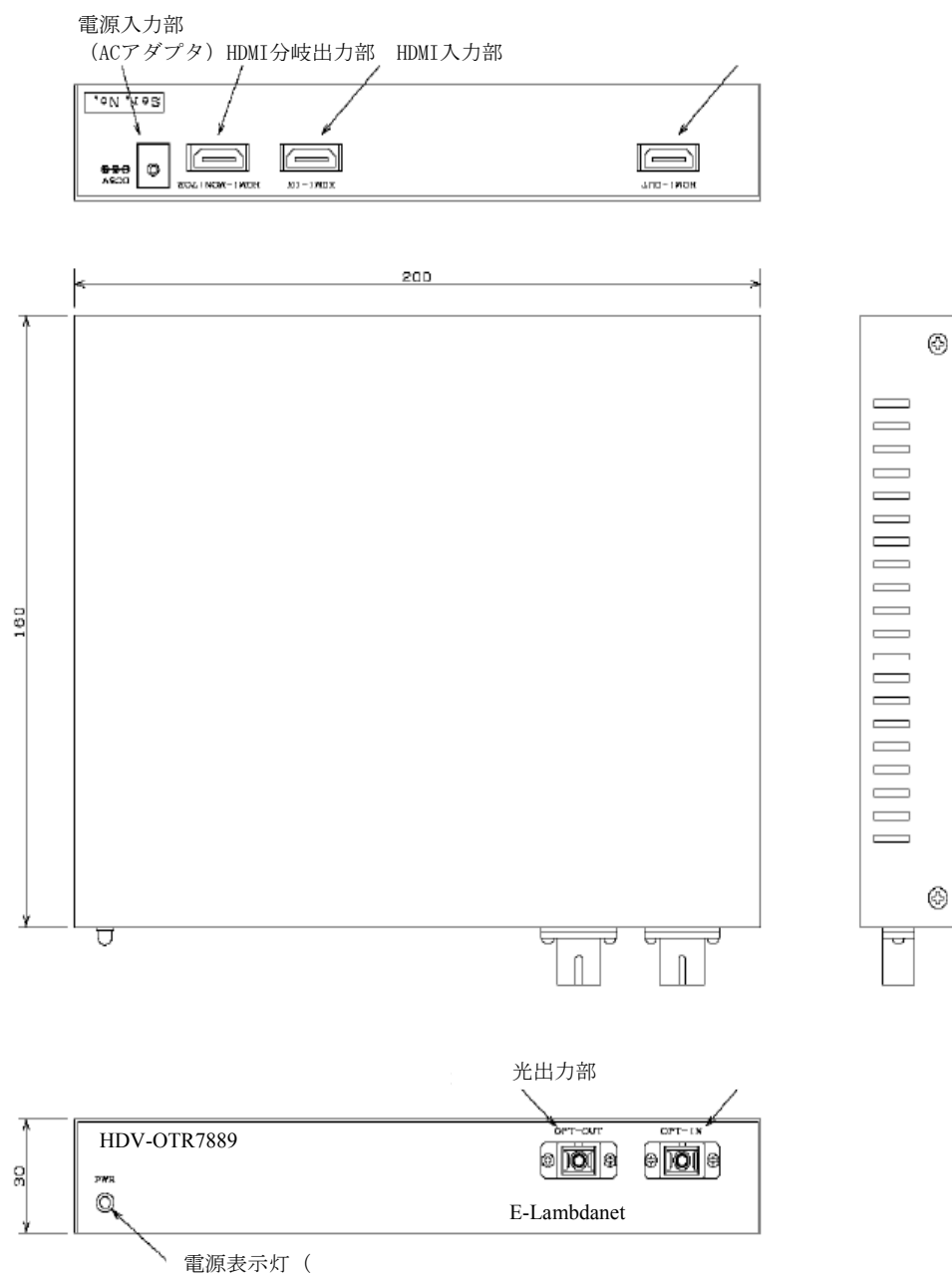
7. 所要電源: +5V±5%DC / AC-100V アダプタ

8. 使用温度/保存温度: 0～40℃ / -10～50℃

9. 外形寸法: 200Wx160Dx30H mm



■外形図



2. ハイビジョンカメラ

本システムに必要なハイビジョンカメラは、2階に1台、3階に2台である。従来の機種Sony製HDR-FX1の遠隔リモコン制御信号に互換性があり、HDMI出力端子のあるSony製の下記機種を選定する。

■ 型名 HDR-HC9

■ 必要台数 3台

■ 概 要

HDMI端子出力(1920x1080i出力)、

総画素数320万画素、

HDV/DV4ピンiLINK端子出力、

リモコン端子

(ステレオミニミニジャック、LANク端子)

赤外リモコン等を有する特徴がある。



3. プロジェクター (3階講堂用)

本システムに必要な3階のプロジェクターは、ワイドな16:9のハイビジョン画像出力、4500ANSIルーメン以上の明るさ、HDMI入力端子を有する下記機種を選定する。

■ 型名 VPL-FW41 SONY製

■ 必要台数 1台

■ 概 要

HDMI入力端子を有する。16:9ワイド出力が出来る。その他、無機配向膜を搭載した高開口率LCDパネル“BrightEra”を採用し、ソニー独自の光学システムの採用により、4500ルーメンの明るい映像を再現できる。投影距離は、120型スクリーンに対して、4.8～6.1mである。



4. プロジェクター（2階会議室用）

本システムに必要な2階のプロジェクターは、ワイドな16:9のハイビジョン画像出力、3500ANSIルーメン以上の明るさ、HDMI入力端子を有する下記機種を選定する。2階の設置場所は、スクリーンを後方から照射する形式であるためプロジェクターからスクリーンまでの距離の調整が適切に出来ることが必要である。

■ 型名 KG-PH1002WX 加賀コンポーネント社製

■ 必要台数 1台

■ 概 要

HDMI入力端子を有する。

16:9ワイド出力が出来る。

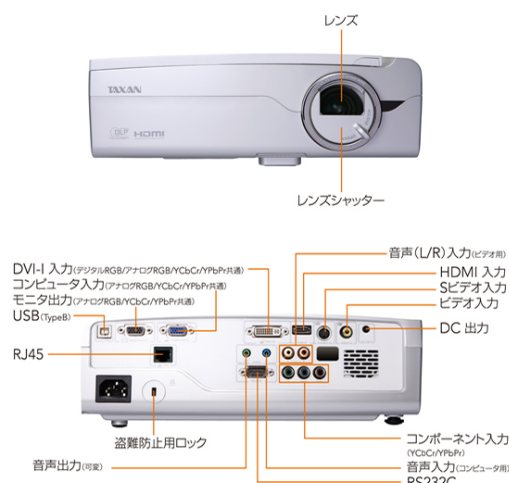
3700ANSIルーメンの照度がある。

従来の映機工業製EIP-3500と

レンズ位置が同じであり、
スクリーンとの位置が合わせやすい
特徴がある。

100型スクリーンの投影距離は

3.30～3.79mです。



5. POF パッチケーブル

2階及び3階において、敷設されているルキナPOFケーブルと光ハイビジョントランシーバHDV-OTRを接続するために必要なものである。

■ 型名 ルキナ2芯パッチコード カスタム品 旭硝子製

■ 必要数 2本

■ 概 要

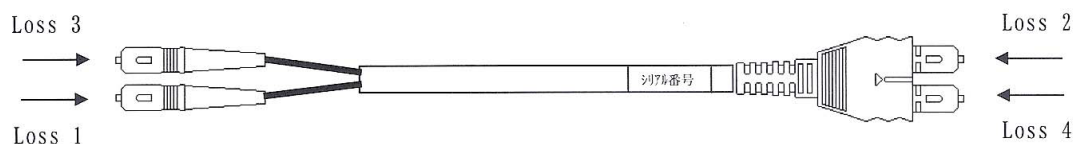
POFパッチケーブルは、ルキナ2芯コードの片端がSCペアコネクタ、他端が二股分離SCコネクタで、5mの長さのカスタム品である。

■ 検 査 結 果

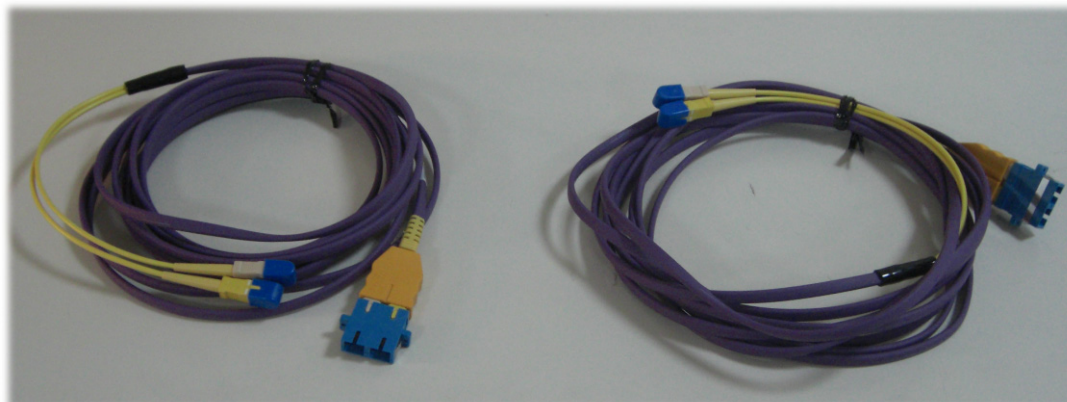
	シリアル番号	長さ (m)	Loss 1 (dB)	Loss 2 (dB)	Loss 3 (dB)	Loss 4 (dB)	外観	備考
1	T9951	5	0.19	0.22	0.24	0.26	良	
2	T9952	5	0.28	0.25	0.26	0.34	良	

光源 : ANDO AQ4215(085)[850nmLED]

マスターファイバ : GI-MMF 4m + Mode scrambler



■ 写真 POFパッチケーブル 2本



6. HD 液晶ディスプレイモニター 2 台

HDV-OTRのHDMI入力からハイビジョン画像信号を送信するときに、そのHDMIモニター出力に接続するHDMI端子付の液晶ディスプレイが必要である。

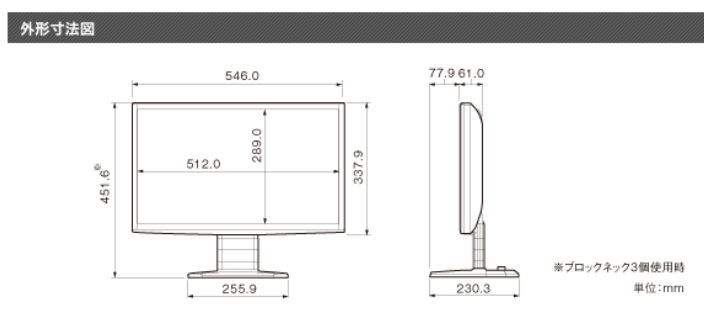
- 型名 MITSUBISHI Diamondcrysta WIDE RDT231WM(BK) 三菱電機製
及び

型名 M237WS-PM LG Electronics製

- 必要数 合計2台

- 概 要

上記2台、ともに23型ワイド、フルハイビジョン規格、HDMI入力端子2個付属、スピーカー搭載をしていることを特長としている。型名 M237WS-PM LG Electronics製は、操作リモコンが付属している。



M237WS-PM LG Electronics製の写真



RDT231WM(BK) の写真



タ

7. HDMI スプリッ (HDMI 分配機)

図1に示す 3階(又は2階)の光ハイビジョンシステムの構成を参照し、HDMIスプリッター4台必要とする。HDMIスプリッターは、多くのメーカーから販売されているが、HDMIスプリッター内部に使用されているLSIなどの規格が必ずしも統一されていない

ので、接続経験のある機種が望ましい。

■ 型名 AVS-P1200 エイム電子製

■ 必要数 合計4台

■ 概 要

複数台のHDMI端子付テレビ、プロジェクターなどのSINK側機器を接続して、同時に映像を出力することが出来る分配機である。前面パネルのLEDは、接続されているポートが点灯し、容易に接続確認が可能。

■ 仕 様

- | | |
|----------|-----------------------|
| 1) 入力ポート | 1 |
| 2) 出力ポート | 2 |
| 3) 解像度 | 1920x1200 (1080Pまで対応) |
| 4) 帯域 | 最大 2.25GHz |
| 5) サイズ | 180x65x25mm |
| 6) カラー | ブラック |
| 7) 本体重量 | 250g |
| 8) 付属品 | ACアダプタ |



8. HDMI セレクター

HDMIセレクターについても、各社特徴があり、HDMI機器間相互で接続経験のある機種が望ましい。また、選択切替えの赤外リモコンセンサー部分が本体内にあり、複数台のHDMIセレクターを近接して利用する場合には、赤外線が混信するので、異なるメーカーの機種を選択するか、赤外センサー部分がコード付で移動できる機種が望ましい。

■ 型名 AVS-SL501 エイム電子製 1台

及び

型名 GHHSW301 グリーンハウス製 3台

■ 必要数 合計4台

■ 概 要

2種類の型名のセレクターは、両方とも、HDMI端子付のカメラを複数台接続して、カメラを選択出来る機能を有している。

型名 AVS-SL501は、赤外線リモコンの本体側のセンサーが本体内の前面に内装されているので、キャビネット内に実装するとき、キャビネット内部へリモコンを向けてセンサー部を狙って操作する。

型名 GHHSW301は、赤外線線リモコンの本体側のセンサーが1mコードにより本体から離れた場所に設置できる。ただし、ソニー製カメラ2台の接続用に試験したところ切替状態が不安定であったので、ソニー製カメラの切替には、ACアダプタ電源付の型名 AVS-SL501を利用する。

その他の場所のHDMIパスの切替には、赤外センサーの位置を最適な場所に設置できる型名 GHHSW301を利用する。接近してHDMIセレクターを2台設置する場合には、異なる2種類のHDMIセレクターを利用することにより、赤外リモコン操作センサーの混信による誤動作を回避することができる。

■ 仕 様

型名 AVS-SL501 エイム電子製

- 1) 入力ポート 5 (19PIN-HDMI 5系統)
- 2) 出力ポート 1 (19PIN-HDMI 1系統)
- 3) 解像度 1920x1200 (1080Pまで対応)
- 4) 帯域 最大 1.65GHz (HDMI規格1.2仕様)
- 5) サイズ 180x65x25mm
- 6) カラー シルバー
- 7) 本体重量 170g
- 8) 付属品 専用リモコン、ACアダプタ

型名 GHHSW301 グリーンハウス製

- 1) 入力ポート 3 (HDMIタイプA端子 (19PIN) 3系統)
- 2) 出力ポート 1 (HDMIタイプA端子 (19PIN) 1系統)
- 3) 解像度 (Ver. 1.3b、Deep Color対応)

対応信号: 480i、480p、720p、1080i、1080p

- 4) 映像帯域 2.5Gbps/250MHz
- 5) サイズ 80x58x18mm
- 6) カラー ブラック

- 7) 本体重量 55g
- 8) 付属品 コード付赤外センサーと専用リモコン
- 9) 電源仕様 ACアダプタなし、HDMI接続機器からの電源を利用

(注意事項: :HDMI接続機器からの電源供給が不十分な場合動作しない場合がある)

■ 写 真



9. HDMI ケーブル

HDMIケーブルは、ハイビジョン信号の高品位化により2～3GHzの周波数帯域を有する必要があり、標準的には10m以下で利用される。10m以上延長する場合には、イコライザ付のHDMIケーブルを利用する。図1のハイビジョンシステムでは、10m以上配信する部分が5カ所ある。3階では、制御センター(HDV-OTR設置場所)から2台のカメラまで20mのHDMIケーブル、プロジェクターまで30mのHDMIケーブルが必要。また、2階では、制御センター(HDV-OTR設置場所)からカメラまで10mのケーブル、プロジェクターまで10mのケーブルが必要。以上の配線用のHDMIケーブルは、イコライザ付の高周波特性の補償回路付ケーブルが必要である。その他、近接したHDMI機器を接続するためのHDMIケーブルは、特にメーカーを特定する必要はない。イコライザ付HDMIケーブルとして、下記を利用する。

- HDMIケーブル 30m 型名 AVC-LD-30 エイム電子製 1本
- HDMIケーブル 20m 型名 AVC-LD-20 エイム電子製 2本
- HDMIケーブル 10m 型名 AVC-LD-10 エイム電子製 2本
- 概 要

HDMIケーブル 30m、20m、10mのケーブルは、映像信号及び音声信号を伝送するための4 対のTMDS ライン(Transition Minimized Differential Signaling)と5本の制御信号、電源ライン及び2 個のHDMI コネクタから構成され、コネクタのピン総数は19 ピンである。

主要信号の伝送を担うTMDS ラインは高速CML(Current Mode Logic)駆動が可能な

2 対の伝送ラインからなり、差動インピーダンスは100Ωである。

ケーブル全体はアルミマイラー、銅スパイラル等による3 重シールドを採用し、外来雑音等の影響が差動伝送ラインに対して最小となるような構造を採用しており、同時に各種機器とのインタフェースとなるHDMI コネクタ部には24 金のAu メッキが施されており

コンタクト部の高信頼性を確保している。尚、ケーブル色は黒である。

■ 仕 様

1) ケーブルのピンアサイン

本ケーブルは総数19本の信号、電源、グランド等の信号からなり、そのピンアサインは、Table-1の通りである。

Pin-NO	Signal-Name	配線色	コメント
1	TMDS Data2+	青	TMDS Group 1
2	TMDS Data2 shidld	Drain	
3	TMDS Data2-	白	
4	TMDS Data1+	赤	TMDS Group 2
5	TMDS Data1 shidld	Drain	
6	TMDS Data1-	白	
7	TMDS Data0+	茶	TMDS Group 3
8	TMDS Data0 shidld	Drain	
9	TMDS Data0-	白	
10	TMDS Clock+	緑	TMDS Group 4
11	TMDS Clock shidld	Drain	
12	TMDS Clock-	白	
13	CEC	灰	-
14	Reserved	赤	-
15	SCL	黄	-
16	SDA	橙	-
17	DDC/CEC Ground	ピンク	-
18	+5V Power	白	-
19	Hot Plug Detect	紫	-

Table 1. ピンアサイン

2) 映像音声の伝送

HDMIコネクタ部にイコライザICを内蔵し、映像と音声の伝搬特性を補償する。

DISPLAYと表示した側にDisplayを接続する。IC電源は、HDMIソース機器から供給する。

1080Pまでの画像、音声が正常に伝送する。

BlueLayDiskとSharpAquasHD-TVを本HDMIケーブルで接続して動作確認。

3) 外観 及び 寸法

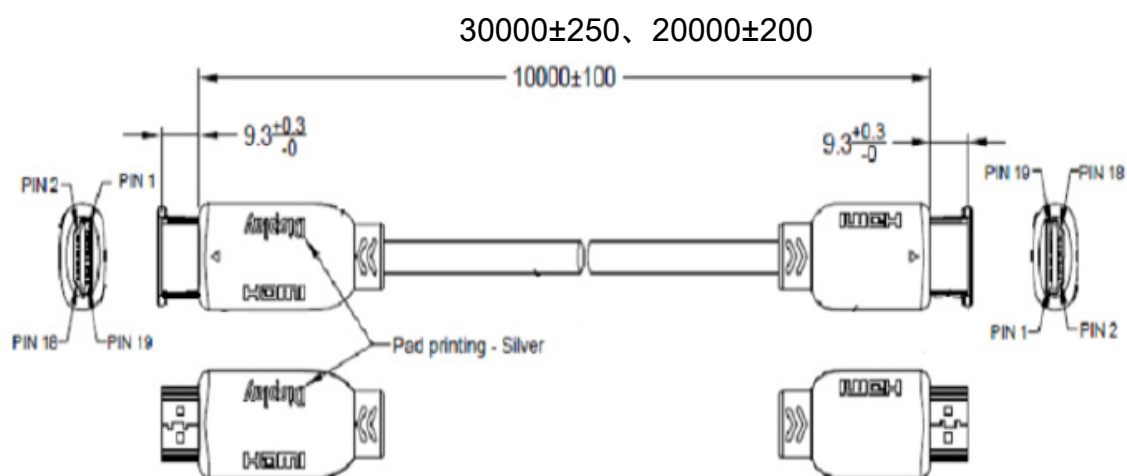


Table 2 外観と寸法

4) 環境 及び 電気的特性

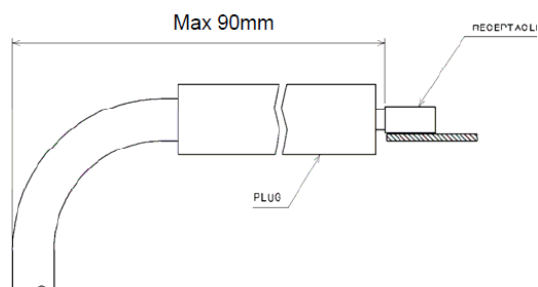
本ケーブルの環境条件、電気的特性は下表の通りです。

No	項 目	特 性
1	動作環境温度	0°C～40°C(屋内)
2	動作環境湿度	15%～65%(屋内)
3	コネクタ挿入力	44.1N(Max)
4	コネクタ抜去力	39.2N(Max)
5	挿抜回数	10000(Max)
6	接触抵抗	40mΩ (Max)/pin
7	導体抵抗(only raw cable)	0.2Ω /m (Max at 20°C)
8	特性インピーダンス	100±10Ω (differential impedance)
9	Time delay skew	2400ps/3m(Max) (between pair)
10	耐圧 (only raw cable)	AC350V/500ms $i < 2\text{mA}$
11	絶縁抵抗 (only raw cable)	DC250V/500ms $R \geq 100\text{M}\Omega$
12	RoHS	対 応

Table 3 環境及び電気特性

5) 屈曲

ケーブル屈曲時の最小は
右図の通り。



通常のケーブルHDMIケーブルとして、特にメーカーを特定する必要はありませんが、使用経験のある下記ケーブルを利用します。

- 型名 PL-HDMI01(1m) PLANEX製 10本
- 型名 PL-HDMI01(2m) PLANEX製 1本
- 型名 PL-HDMI01(5m) PLANEX製 2本
- 型名 PL-HDMI01(10m)PLANEX製 2本

■ 必要数 合計 15本

■ 概 要

各型名は、接続距離に合わせて、距離の異なるHDMIケーブルである。

映像、音声の伝送は、HDMI Ver. 1.3規格カテゴリ2対応である。

10. キャビネット

3階の講堂に光ハイビジョンシステムに必要な機器を収納するためのキャビネットが必要です。

- 型名 SVX-RM02 エレコム製サーバー収納ボックス
- 納品数 1台
- 概 要

本キャビネットは、小型19インチ機器対応サーバー収納ボックスである。

本キャビネット内に、ハイビジョン光トランシーバ、HDMIセレクター、HDMIスプリッターを設置できる。

また、内部の機器の赤外線センサーリモコンが外部から使用可能である。

上面には、ハイビジョン光トランシーバのモニターディスプレイを設置できる。

情報漏洩・盗難防止用鍵付扉がある。

■ 仕 様

- 1)サイズ W560mmxD620mmxH605mm
- 2)重量 27kg
- 3)総耐荷重 100kg
- 4)スチール(メラミン焼き付け塗装)
- 5)窓扉(再生PET100%)、鍵付

■ 写 真



2. 1. 4 選定機器動作試験

選定機器と同一の機種または同等の機種を利用して、図1に示す光ハイビジョンシステムの動作試験を実施した。動作試験の概要を以下に示す。

1. 光ハイビジョンシステムの動作試験

ハイビジョン光送受信器 2台によるHD-カメラ画像の双方向通信実験

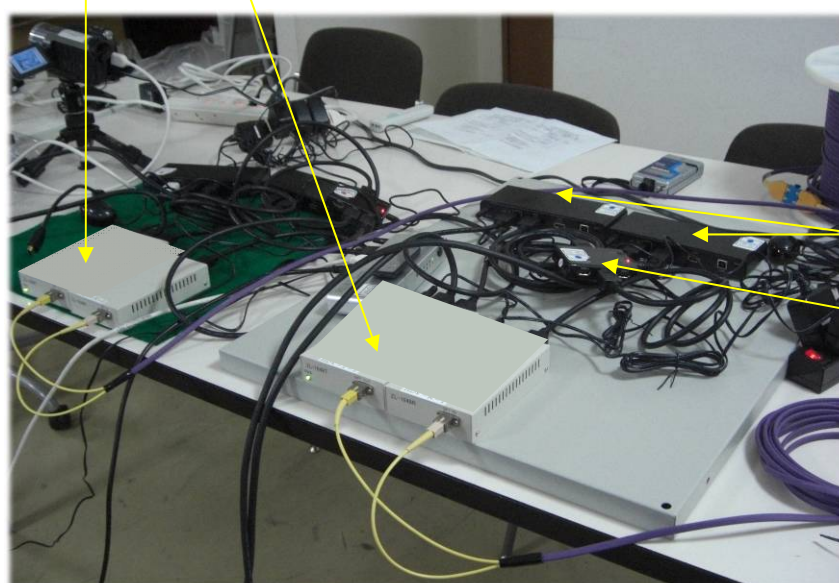
上図: HDV-OTR相互間を100mのルキナPOFにて接続している写真

下図: 右側の画像は、送信側に接続したモニター画像

左側の画像は、光送信 (100mルキナPOF) した画像

真中の画像は、相手方から送信された受信画像

ハイビジョン光送受信器 HDV-OTRと同等の光送信機HDV-T及び光受信器HDV-R



100mのルキナPOF接続

HDMIスプリッタ2台

HDMIセクター



ハイビジョン
光送受信器

100mの
ルキナPOF接続

HDカメラ2台 をHDMIセクターにより選択して送信

2. イコライザ付 HDMI ケーブルによるハイビジョン伝送試験

10～30mのイコライザ付HDMIケーブルを利用して、ハイビジョンカメラ(HDR-HC7 SONY製)のハイビジョン信号を上記選定の2種類のプロジェクター(型名 VPL-FW41 SONY製と型名 KG-PH1002WX 加賀コンポーネント社製)へ配信して、実際にハイビジョン信号が伝送する確認実験をした。正常にハイビジョン信号が伝送できることを確認した。

イコライザ付HDMIケーブルは、自前の電源はなくHDMIソースからの電源供給により動作している。従って、電源ソースを有しないHDMIセレクト(例えば、GHHSW301 グリーンハウス製)などは、直接接続すると正常動作が出来ない場合があり、このときは、エイム電子製の電源付のHDMIスプリッタなどを介して接続することにより正常に動作することを確認した。

3. 液晶ディスプレイの動作確認とキャビネットの構成の確認

型名 MITSUBISHI Diamondcrysta WIDE RDT231WM(BK) 三菱電機製 及び
型名 M237WS-PM LG Electronics製

の液晶ディスプレイを光ハイビジョントランシーバのHDMI入力モニター用として接続したときの動作確認をした。写真に示すように両機種ともに、正常に動作することを確認した。

また、3階の講堂に光ハイビジョンシステムに必要な機器を収納するためのキャビネット型名 SVX-RM02 エレコム製サーバー収納ボックスは、写真に示すような形状であり、ハイビジョン光トランシーバ、HDMIセレクト、HDMIスプリッターを設置出来ることを確認した。

また、内部の機器の赤外センサーリモコンが外部から使用でき、上面には、ハイビジョン光トランシーバのモニターディスプレイを設置でき、不在時には情報漏洩・盗難防止用に扉を施錠できることも確認した。



2. 1. 5 まとめ

杉並区医師会館の2階と3階に設置する光ハイビジョンシステムについて、その設置のための現地調査を実施し、それに適した光ハイビジョンシステムを設計し、それを構成する機器の選定を実施した。また、それらの選定機器の基本的な動作を確認した。

本光ハイビジョンシステムの実現により、杉並区医師会館の2階と3階の間をPOF接続により、リアルタイムハイビジョンを双方向に伝送し、相互に同時に相手サイドの空間をリアルタイムハイビジョン画像により共有できる臨場感のある拡大した空間が実現でき、2階と3階が一体化した遠隔会議や遠隔医療、遠隔セミナー等のイベントが期待できる。

2. 2 POF光ハイビジョン遠隔診断実験準備

2. 2. 1 光ハイビジョンシステム設置現地調査

設置場所は、杉並区医師会館の2階会議室と3階講堂、および稲葉クリニックの3地点。各地点のプラスチック光ファイバー (POF) の敷設状況およびインターネット回線の敷設状況を現地調査をし、遠隔診断デモンストレーションに必要な追加設備について検討した。

1. プラスチック光ファイバー (POF) 設備について

(1) 杉並区医師会館

杉並区医師会館の2階のIT室をセンターにして、IT室から3階講堂へ3F-01と3F-02のPOF (ルキナ) 2ライン、IT室から2階会議室へ2F02のPOF1ラインが敷設されている。3F-01のPOFラインが、光ハイビジョンシステムとして常時利用されている。これは、2010年3月から常時稼働している。

3階講堂と2階会議室間にPOFラインを開通するには、3F-02ラインと2F-02ラインをIT室内で接続する工事をする必要があり、6月8日に工事を実施した。2階会議室壁の2F02ラインのコンセントは、MU-JJ-POFコネクタであり、メディアコンバータとの接続には、専用のルキナパッチコードが必要となった。

3階の講堂の3F-02のメディアコンバータの接続にも、SC-JJ-POFルキナパッチケーブルが必要であった。このルキナ専用回線の850nmの波長の光の伝送損失の測定結果は、約8dBであることを確認した。通常、ルキナPOFでは、50メートルの伝送損失は、コネクタの接続損失を含めても約3dB以下であり、2階の壁のMU-JJ-POFコネクタの劣化が懸念されたが、今回は、100Base-Tのメディアコンバータの接続に利用するので、十分利用可能な特性の範囲内にある。

以上により、既設のルキナPOFラインを利用して、2階会議室と3階講堂との間でPOF回線が開通し、遠隔診断システムにおいて、ソニーTV会議の100Base-Tの専用回線として利用できた。

(2) 稲葉クリニック

新設の光ネクストのONUから、応接室のTV会議システムまでの接続には、持込みのルキナPOFパッチコードを使用した。POF接続のためのメディアコンバータ2台を使用した。

(3) 光ハイビジョントランシーバ接続設備

杉並区医師会館内の2階会議室と3階講堂との間では、既設のルキナPOF回線(3F-01)を利用して常時稼働しているので、今回の遠隔診断デモンストレーションにそのまま利用した。

2. UTP ケーブル設備について

(1) 杉並区医師会館の設備

SKYPE接続やソニーのTV会議システムをインターネット回線へ接続するには、100Base-TのUTPケーブルを利用する。杉並医師会館のネットワークは、2階IT室内の光ネクストONUからグローバルインターネット回線に接続された。

2階の会議室や3階の講堂のUTP接続コネクタは、2階のIT室内のルーターを介して光ネクストのONUを通じて、外部のインターネット回線(200Mベストエフォート)に接続できる。SKYPEやTV会議には、通常この回線を通じて外部とも接続可能であるが、今回の遠隔診断デモンストレーションでは、ソニーのTV会議システムでハイビジョン通信をするとき、最大10Mbps利用することがあり、杉並区医師会館内の職員のインターネット回線も同じONUを利用していることから、杉並区医師会館内のインターネットユーザへの影響のないように、TV会議システム用に新規に光ネクストの設置およびぷららプロバイダーから1固定IPアドレスを確保することにした。

従って、IT室内に、NTT東日本の光ネクストのONUが新設された。このONUから2階の会議室内へUTPケーブル(20m)新設する工事が必要であった。

SKYPEは、ハイビジョン伝送時でも最大3Mbps程度であるので、2階と3階のオープンスペースでのUTPコネクタ接続をして既設の光ネクストのインターネット回線を利用した。

(2) 稲葉クリニック

稲葉クリニックにおいても、同様な既設の光ネクストの回線が存在するが、クリニック社員のインターネット回線への影響を最小限にするためにTV会議システム用に新規にNTT東日本の光ネクストの設置およびぷららプロバイダーから1固定IPアドレスを確保することにした。ここでも、TV会議システムは、新設のONUに直接接続し、SKYPEは、既存のクリニック内のルーターに接続することにした。

2. HDMI ケーブル設備について

杉並区医師会館2階では、IT室内にハイビジョン光トランシーバおよび液晶プロジェクターが設置してあるので、2階会議室内のHDVカメラやHDディスプレイと接続するために、HDMIケーブル20m及び5mの配線工事、既設のHDVカメラと診断用の新設のカメラとの接続切替えにHDMIセレクトアを新設した。

その他のHDVカメラやHDディスプレイとHDMI機器との接続にはHDMIパッチケーブルを使用して接続した。配線長が不足するときには中継用のHDMIセレクトアまたはHDMIスプリッタを利用する。

2. 2. 2 遠隔診断ハイビジョンシステム構成の設計

1. 遠隔診断ハイビジョンシステムの選択

遠隔診断ハイビジョンシステムの候補として、表1に示すようなシステムがある。各システムについて、実際にオペレーションして実演し、動作状況を調査した。各システムの特徴を表1に示す。

(1)リアルタイム光ハイビジョンシステム(HDV-OTR) (表1①)

ハイビジョン非圧縮信号(HDMI)を直接光に変換し、POFにて伝送するシステムは、現存するハイビジョン伝送のなかで、最も遅れの少ないシステムである。遠隔医療分野で遅れの少ない対話型の通信が必要とされる分野へ適応可能である。杉並区医師会館の2階と3階の間にすでに設備が整っており、今回の遠隔診断デモンストレーションの基準となるシステムとして採用予定になっている。

(2)ハイビジョンTV会議システム(HD-TV Conf.) (表1②③)

現在、市販されている代表的なハイビジョン対応のTV会議システムには、Tanberg製のものとSony製のものがある。仕様上は、両者ほとんど同じ特性。今回は、実際にデモ用機器を利用できるSony製TV会議システムを遠隔診断デモンストレーションに採用することにした。

(3)HDV/IP専用ソフトによるHDV/IPシステム

上記以外に、HDカメラからのIEEE1394(i-link)からの信号をPCに入力し、PC専用ソフトでHDV/IPでインターネット回線にて送信するシステム(表1④)やHDカメラのHDMI信号を直接PCに入力し、専用のPCソフトにてIPに変換して、送信するシステム(表1⑤)

も開発されているが、TV会議のように対話型通信や複数の地点間の画像を表示できるソフトが利用できる状況に至っていないので、今回の実験への採用は見送ることにした。

(4) SKYPEハイビジョンシステム(表1⑥⑦)

PCとWEBカメラによる対話型の電話および画像の通信は、無料で電話が可能なおとから世界的に幅広く利用されている。最近、ハイビジョン対応のWEBカメラが販売されるようになり、ハイエンドのPCを利用すればハイビジョン画像の対話型通信も出来るようになった。遠隔診断においても、高価なハイビジョンシステムが使用できない診療所や個人の家庭などでは、SKYPEを通じて、医師と対話型の通信が低価格で可能であればどの程度の診断まで可能であるかを検討するため、今回は市販されているHD-SKYPE用WEBカメラによるシステムも遠隔診断デモンストレーションに採用することにした。

表1 遠隔診断デモンストラレーション候補システム

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
使用回線	① 光ファイバ回線 POF	② インターネット回線	③ インターネット回線	④ インターネット回線	⑤ インターネット回線	⑥ インターネット回線	⑦ インターネット回線	⑧ 1ギガイーサ2本の回線 (参考)
ハードとソフト	HDV-QIR (光HDMI伝送)	市販TV会議システム (HD対応)	市販TV会議システム (HD対応)	HDV/IP専用システムHIT8 または FreeSoft VLC	HDMI/IP専用ソフト FreeSoft	SKYPE 標準HDV対応カメラと FreeSoft	Panasonic Skype対応カメラ エーティ-CC10W とHDTV(D2,V2シリーズの み対応)	XG-2 (HD-SDI/IP非圧縮)
取扱企業	イーラムダネット	タンバーク (Tanberg)/NTT-AT/ イーラムダネット	ソニー (Sony)/NTT-AT/イーラ ムダネット	イーラムダネットにて 設置サービス可	NTT CyberComm Lab開 発実用化 NEL販売予定	イーラムダネットにて 設置サービス可	発売日、6月11日	NTT/NTT-AT NTT-AT販売中
HD 信号形式	非圧縮HDV(HDMI)	H.264圧縮HDV	H.264圧縮HDV	MPEG2/MPEG4 標準50M(HD画質) 画質を下げて1M以下でもIP 送信可	~10M HDMI/IP高圧縮高速	~2.5M(双方向) HDMI/IP高圧縮高速 やや画質が劣る	H.264圧縮HDV	非圧縮HD HD-SDI, SD-HDI リアルタイムIPカプセル化 伝送
特徴	遅れほとんどなし 100ms以下 杉並区医師会に 設置済	やや遅れ有り (少々遅延和感有り)	やや遅れ有り (少々遅延和感有り)	遅れ有り 1~2sec(PO性能依存)	遅れほとんどなし 200ms以下(i7-Intel Processor推奨)	画質に依存するが 遅れ少ない	調査中	遅れなし 100ms以下
PC有無な ど設備	無	専用設備 専用ソフト	専用設備 専用ソフト	PC必須、 ハイエンドPC リンク入力	PC必須、 ハイエンドPC(i7) HDMI入力	PC必須、 Duo以上 USB-HDカメラ (MS, Qcam, Skype予定)	無	無
設置場所	構内	構内 外部施設(診療所等) ビジネス	構内 外部施設(診療所等) ビジネス	構内 外部施設(診療所等) 家庭	構内 外部施設(診療所等) ビジネス	構内 外部施設(診療所等) 家庭	構内 外部施設(診療所等) 家庭	1ギガイーサ2本の回線 専用線 ビジネス
準備状況	杉並区医師会館 2階と3階 デモ可能	NTT-ATと検討中	NTT-ATと検討中 デモ可能	イーラムダネット準備可 フレッツ光にて確認済み デモ可能	Interop2010に展示 (6/9-11) 都合がつけばデモ可能	イーラムダネット準備可 フレッツ光にて確認済み デモ可能	検討中	POF国際会議用に NTT-AT/イーラムダネッ トにて検討中
POFの貢 献度 (注1)	POF回線	構内LANのPOF回線 (100Base-T以上)		構内LANのPOF回線 (100Base-T以上)	構内LANのPOF回線 (100Base-T以上)	構内LANのPOF回線 (100Base-T以上)	構内LANのPOF回線 (100Base-T以上)	1ギガイーサ2本伝送で きる環境 構内LANのPOF回線(1 ギガイーサ2本)
デモンスト レーション 採用案	○	---	○	---	---	○	---	---

(注) 1 P伝送用のイーサケーブルは、配線距離は通常100メートル程度まで可能です。
POF回線のあるハウス、ビル、構内などでは、100Base-Tメディコンバータ(MC)を利用してPOFにより1 P伝送が出来ます。
光伝送としてPOFでは、100メートル以上~200メートル程度の距離まで伝送可能です。

2. 遠隔診断ハイビジョンシステム構成

今回の遠隔診断ハイビジョンシステムとしては、

- (1)リアルタイム光ハイビジョンシステム(HDV-OTR)
- (2)ハイビジョンTV会議システム(SonyTV会議システム)
- (3)SKYPE-HD-WEBカメラシステム

の3種類を選択して、リハーサルを実施することにした。この3種類のシステムを同時に試験するためのネットワークおよびシステム構成について以下に述べる。現在、既設の3階(2階)の光ハイビジョンシステムの構成を図1に示した。

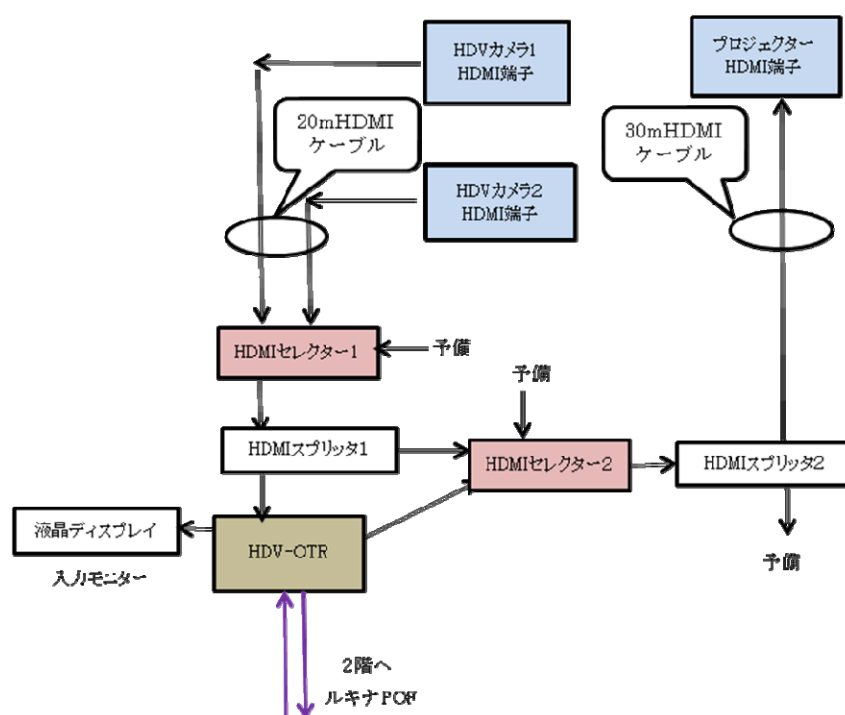


図1 3階(又は2階)の光ハイビジョンシステムの構成

3階講堂には、天井から吊下げた構成で、東側と西側にHDVカメラ2台、中央にプロジェクター1台を設置した。HDVカメラ1(東側)、HDVカメラ2(西側)の画像を選択して、その映像をハイビジョン光トランシーバHDV-OTRにより、光出力に変換し、2階へルキナPOFを通じて送信する。本システムは、HDMI端子付のハイビジョン機器を利用し、遅れを感じさせないリアルタイムハイビジョン双方向伝送システムである。

このシステムにより、3階の講堂の2台のHDカメラの画像を、POFを通して2階へ送信し、2階のプロジェクターからスクリーンに投射できる。また、同時に2階の1台のHDカメラの画像をPOFを通して3階へ送信し、3階のプロジェクターからスクリーンへ投射でき、2階と3階の部屋がPOFを通じてハイビジョン画像でリアルタイムに透過し、あたかも拡大した1部屋になった臨場感がある設備が実現できる。

この既存のシステムに他の2種類のシステム、SonyTV会議システムとSKYPEシステムを追加して、杉並区医師会館の2階会議室、3階講堂、及び約5kmの距離にある稲葉クリニック応接室との3カ所において遠隔診断デモンストレーションを実施するシステム設計をした。

杉並区医師会館の3階講堂のレイアウト配線図、2階会議室とIT室のレイアウト配線図、稲葉クリニックのレイアウト配線図の主な部分を、図2 a、b、cに示した。

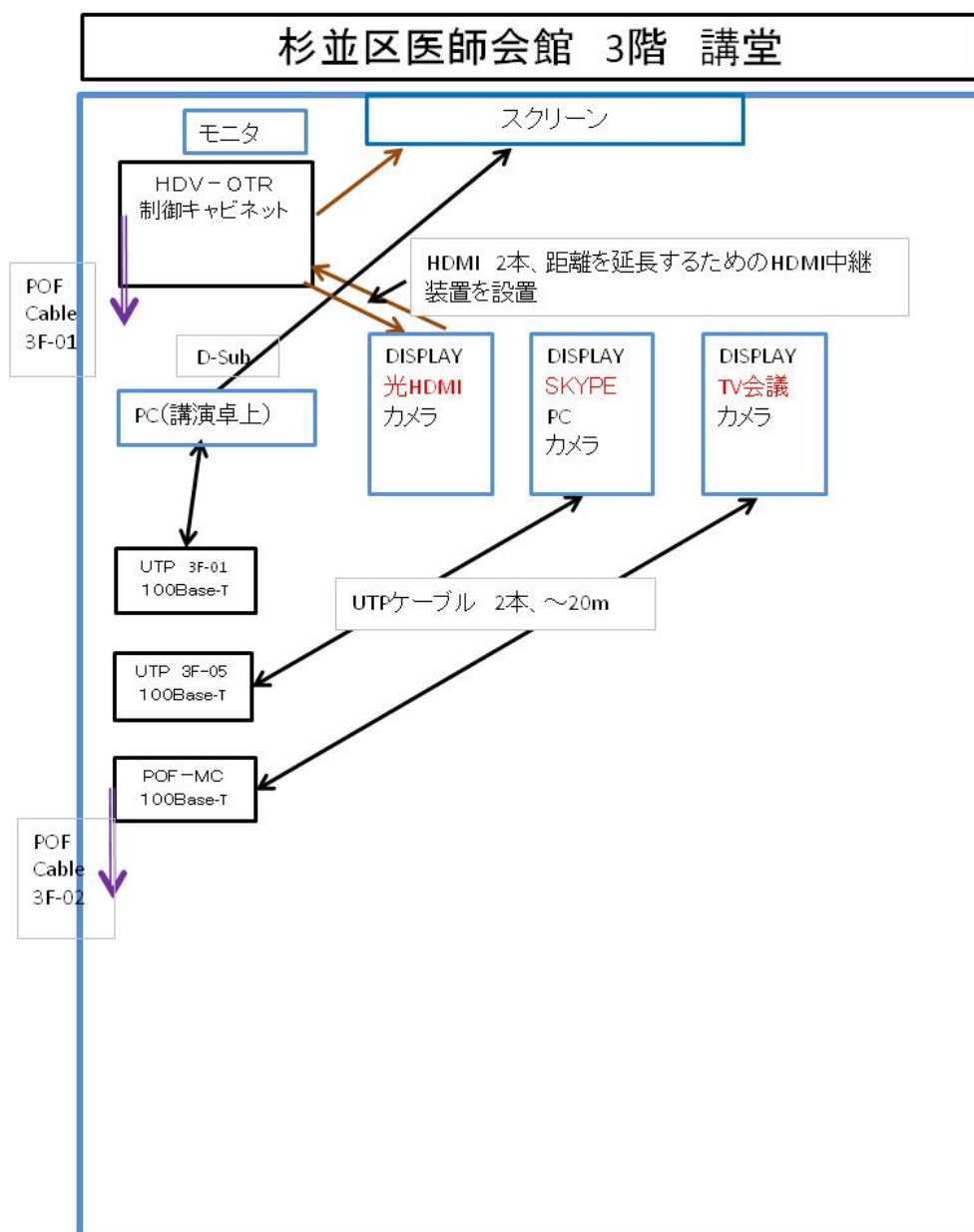


図2a 杉並区医師会館 3階のレイアウト図面

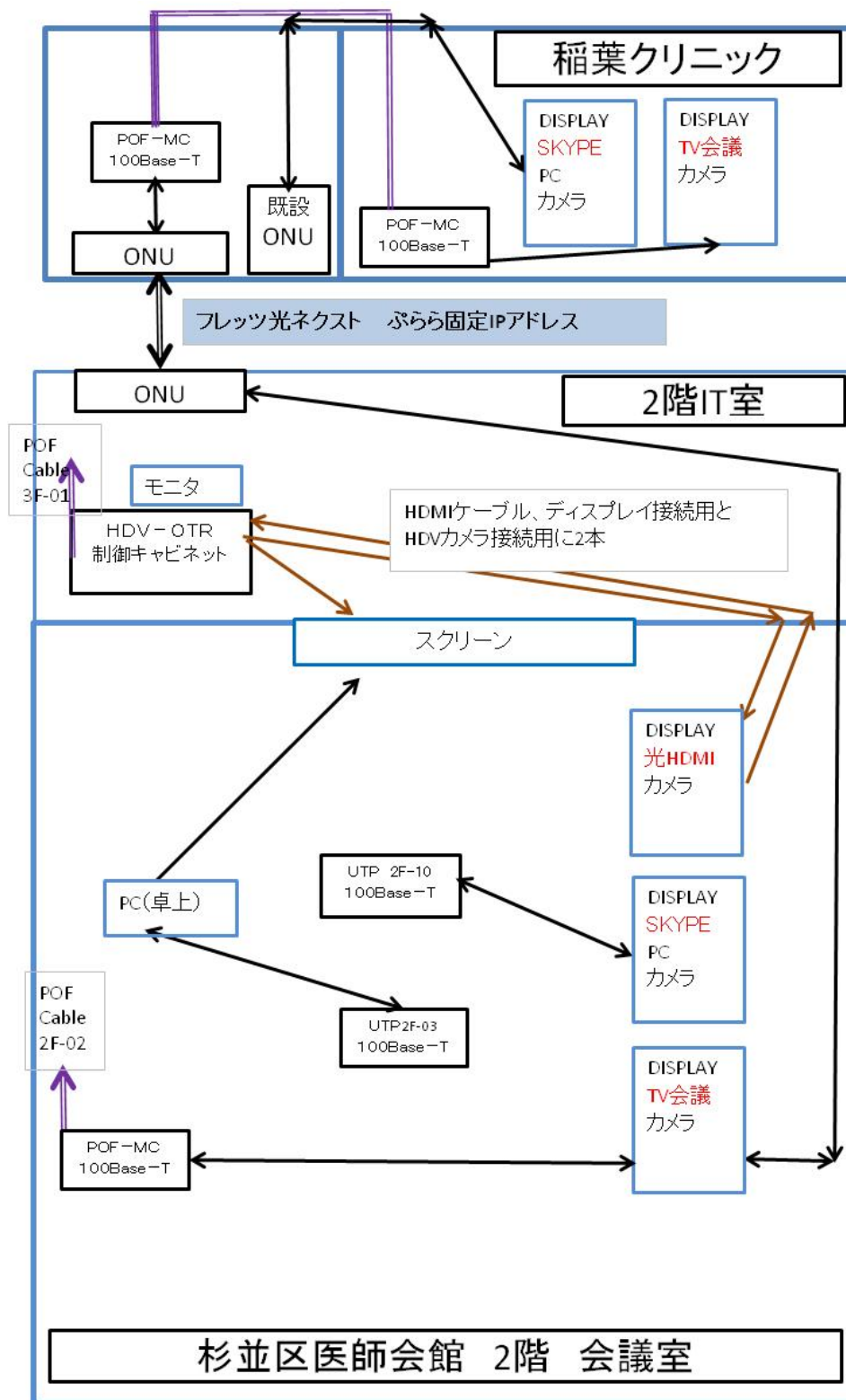


図2b、c 杉並区医師会館2階 及び稲葉クリニックのレイアウト図

図中、紫色はルキナPOF、ブラウンはHDMI、黒はUTPを示す。

杉並区医師会館2階と3階は、3種類のシステムのHDディスプレイとHDVカメラを並置した構成であり、稲葉クリニックは、SKYPEシステムとSonyTV会議システムを並置した構成である。

杉並区医師会館2階と稲葉クリニックには、NTT東日本の光ネクストONUとぷららプロバイダーの固定IPアドレスのあるインターネット回線を新設した。この間は、200MbpsベストエフォートのSonyTV会議システム用の専用回線として利用する。

SKYPEシステムは、図に示すように杉並医師会館及び稲葉クリニックとも既設の光ネクストONUを利用する。

2. 2. 3 構成機器選定

1. SKYPE ハイビジョンシステム用機器

(1) ノートPC

3カ所の地点に手軽に設置可能にするため、ノートPCで十分に高性能な機種を検討した。現時点でハイエンドクラスのノートPCとして、Lenovo(旧IBM) i5-520Mプロセッサを搭載したG560 0679-2AJを選択した。このプロセッサのスピードは、2.40GHz(ターボブースト使用時最大2.93GHz)、標準メモリ4000MB、HDD容量320GBであり、タワー型のハイスピードクラスに相当する性能を有し、ハイビジョン対応のSKYPE-HD-WEBカメラの駆動用として十分な性能を有する。

このノートPCの概要と主な仕様を下記に示す。

- 名称Lenovo(旧IBM) G560 型番0679-2AJ
- 必要台数 3台
- 概 要

HD対応のWEBカメラを接続して、HD画像を送信できる性能を有するノートPC。



(2) SKYPE用ハイビジョン対応WEBカメラ

SKYPE標準仕様のハイビジョンカメラが販売開始されたので、2台は、Freetalk EverymanHDを選択した。もう1台は、MicrosoftのLifecam CinemaH5D-0006を選択し、

SKYPE環境下でのハイビジョン画像の比較が出来るようにした。

これらの写真とその特性の概要を下記に示す。これらのWEB-HD対応カメラを使用するためのノートPCとしては、上記選択したLenovo G560は駆動用として十分な性能を有している。

■ 型名と納品数

型名 Freetalk EverymanHD 2台



型名 Microsoft LifeCam Cinema
H5D-00006 1台



■ 概要と主な仕様

(1) Freetalk EverymanHD

製品の寸法 (幅x奥行きx高さ): 70 x 65 x 29 mm

接続性: インタフェース: USB 2.0

ケーブル長: 180 cm

電力: USB ケーブルを通して給電 - 5V

レンズ: フォーカス: オートフォーカス

フォーカスの深さ: 50 mm ~ infinity

視野: 58° HDにおける対角視野、52° 4:3 解像度において対角

ビデオ形式:

○解像度: 1280 x 720、640x480、320x240、160x120。グレードダウンしたネットワークあるいはビデオコールのいずれか側で低機能ハードウェアが使用された場合、Skypeはより低い解像度を使用する。

○フレーム率: 基準定義: 30fps, HD 22.5fps, 低光 15fps。Skypeは劣悪なネットワーク条件の場合、あるいはいずれかの側で高いCPUを使用した場合、フレーム率を減らす

ことがある。

○色の深さ: 8-ビット

○ビデオ形式: H.264, YUV2。Skypeは与えられた条件の中で最高のビデオコール質を与えるために、2つの間で自動的に切り替わる。

<必要なシステム条件>

720p@22.5fps Windows XP SP3 およびそれ以上まで。

ウィンドウズ用Skype 4.2

1 x USB 2.0.

HD用にデュアルコア 2 GHz プロセッサあるいはそれ以上。

HD用に1GB のRam あるいはそれ以上。

高速ブロードバンド接続(1 Mbps 対称の帯域あるいはそれ以上)。

(2) Microsoft LifeCam Cinema H5D-00006

ハイビジョン画質で鮮明な画像を撮影できる、ハイスペックな HD 720p 対応 WEB カメラ。素早いピント調節をするメーカーニカルオートフォーカス機能や、ノイズや残像を軽減する独自のクリアフレーム テクノロジーにより、画質にこだわりの高い方が納得する高画質を提供。

◇ワイドスクリーン対応の HD 720p WEB カメラ:1280 x 720、16:9ワイドスクリーン。

◇メーカーニカル オートフォーカス搭載

<必要なシステム(PCスペック)>

日本語版オペレーティング システム

Windows 7、Windows Vista®、Windows XP SP2 以上

CPU Pentium Dual-Core 1.6 GHz 以上

(Pentium Dual-Core 3.0 GHz 以上推奨)

メイン メモリ 1 GB 以上の RAM (2 GB 推奨)

ハードディスク空き容量 1.5 GB

接続ポート USB ポート(USB2.0 以上を推奨)

ディスク装置 CD-ROMドライブ

ディスプレイ 表示色 16 ビット以上のディスプレイアダプタ

音声出力 ※ スピーカまたはヘッドホン

※ ビデオ通話で使用する音声の出力に必要です。

2. ハイビジョン TV 会議システム機器

2. 2. 2の1(2)で述べたように、現在、市販されている代表的なハイビジョン対応のTV会議システムには、Tanberg製のものやSony製のものがある。仕様上は、両者ほとんど同じ特性である。今回は、実際にデモ用機器が利用できるSony製TV会議システムを採用することにした。そのシステム構成イメージを図3に示す。

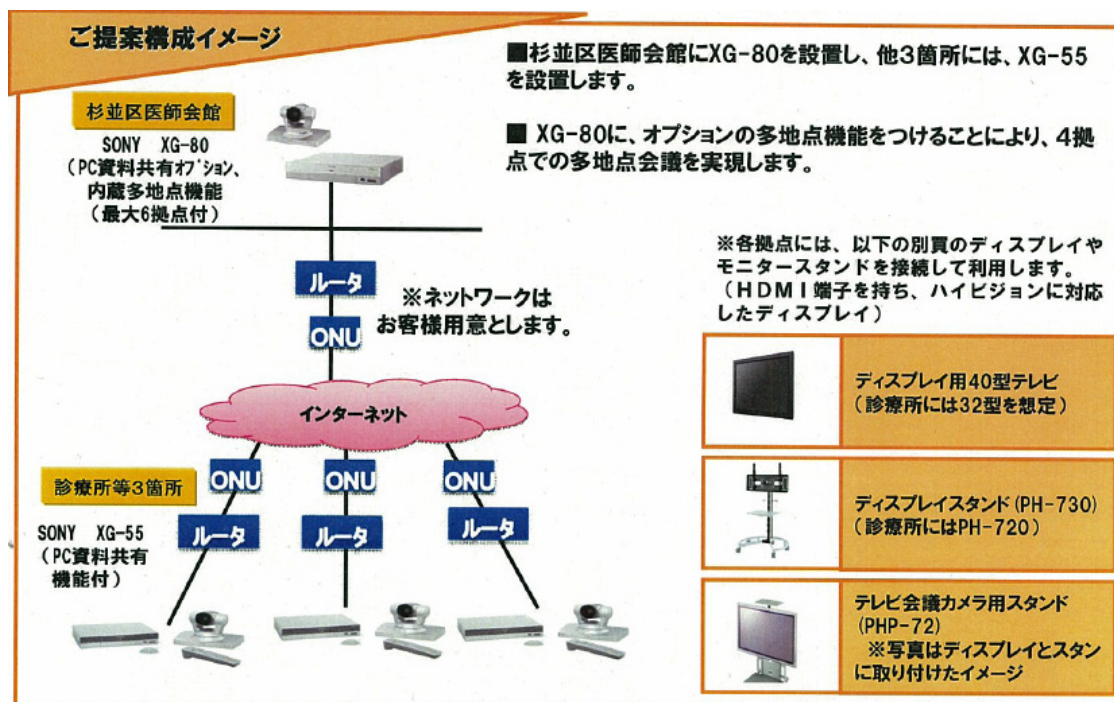


図3 Sony TV会議システム構成イメージ図

実際の構成では、杉並区医師会館2階会議室にXG-80、3階講堂と稲葉クリニックにXG-55を設置した。2階と3階は、POF回線の両端にメディアコンバータを設置して専用回線として使用。2階と稲葉クリニック間は新設したフレッツ光ネクストと固定IPアドレスによるインターネットの専用回線を使用した。

3. POF 用メディアコンバータ

POF用メディアコンバータとして、マルチモードガラスファイバー用のコア径50/125仕様のメディアコンバータを入手して、100メートルのルキナPOFを接続して、100Base-Tの伝送実験をして、充分使用できることを確認した。

(1) メディアコンバータ

■ 型名 7-1591024 タイコエレクトロニクス製 2台

■ 旭硝子ルキナ専用メディアコンバータ2台



■ 概要 と 特性

マルチモードSC

通信可能距離2Km (MMガラスファイバーの場合)

10/100、全二重/半二重、

オートネゴシエーション(固定可)

ルキナPOF接続では、100メートルまで実証試験済み

■ 用途

杉並区医師会館内および稲葉クリニック内において

POFによる100Base-Tの接続に利用。



(2) HDMIパッチケーブル

■ 品名 HDMIケーブル 5m 3本

■ 品名 HDMIケーブル 2m 2本

■ 品名 HDMIケーブル 10m 1本

HDMIパッチケーブルケーブルは、映像信号及び音声信号を伝送するための4 対のTMDSライン(Transition Minimized Differential Signaling)と5本の制御信号、電源ライン及び2 個のHDMI コネクターから構成され、コネクターのピン総数は19 ピン。10m以下のHDMIケーブルでは、伝送損失補償用の回路のない通常の構成。

■ 用途

移動用HDVカメラ2台と光トランシーバ入力までの接続用に2本、

光トランシーバ出力からディスプレイまでの接続用に1本、

HDディスプレイと3カ所のSKYPE用PC間の接続用に3本利用。

(3) UTPケーブル類一式

■ UTPケーブル:100Base-Tイーサネット接続用のケーブル

■ 用途

TV会議システムにおいて、メディアコンバータ出力またはUTPコネクターポートからの接続用として、杉並区医師会館2階、3階、稲葉クリニックで3本利用する。また、SKYPEシステムにおいて、同じ3カ所において、PCからUTPコネクターポートまでの配線にも3本利用。それぞれの接続距離は、3～20m。

(4) POFパッチケーブル式

■POFパッチケーブル:両端コネクタ付のルキナペアケーブル

■用途

杉並医師会館の2階と3階の間のPOF回線へMCを接続するために使用。また、稲葉クリニックのONUからのUTPケーブルに接続するメディアコンバータ間の接続に利用。

(5) HDMIセレクタ

■型名 RM-HDS4101 RWC社製 1台

■型名 HDMI-SW0401 PLANEX社製 1



台

■RM-HDS4101 概要と仕様

入力 HDMI×4ポート

出力 HDMI×1ポート

HDMI端子 タイプA(19ピン)

HDCP 対応

最大解像度 1080p / 1920×1200

入力ビデオ信号 1.2V p-p

入力DDC信号 5V p-p

消費電力 最大15W

電源 DC5V

サイズ 160×80×28 mm

重量 450g

RM-HDS4101

GHHSW301 概要と仕様

入力 HDMI×3ポート

出力 HDMI×1ポート

HDMI端子 タイプA(19ピン)

HDCP 対応

最大解像度 1080p

サイズ 80x58x18mm

本体重量 55g

付属品 コード付赤外センサーと専用リモコン

電源仕様 ACアダプタなし、HDMI接続機器からの電源を利用

(注意事項: HDMI接続機器からの電源供給が不十分な場合動作しない場合がある)



コード付赤外センサー

GHHSW301

2. 2. 4 選定機器動作試験とネットワークの設定

1 ネットワーク設備と設置工事

(1). HDMIケーブル 20m イコライザ付

■型名 AVC-LD-20 エイム電子製 1本

■概要

HDMIケーブル20mのケーブルは、映像信号及び音声信号を伝送するための4対のTMDSライン(Transition Minimized Differential Signaling)と5本の制御信号、電源ライン及び2個のHDMIコネクタから構成され、コネクタのピン総数は19ピン。主要信号の伝送を担うTMDSラインは高速CML(Current Mode Logic)駆動が可能な2対の伝送ラインからなり、差動インピーダンスは100Ω。信号減衰補償用のイコライザが内蔵。

ケーブル全体はアルミマイラー、銅スパイラル等による3重シールドを採用し、外来雑音等の影響が差動伝送ラインに対して最小となるような構造を採用しており、同時に各種機器とのインタフェースとなるHDMIコネクタ部には24金のAuメッキが施されておりコンタクト部の高信頼性を確保している。尚、ケーブル色は黒。

■用途

杉並区医師会館2階のIT室からハイビジョン画像信号を天井を通じて会議室へ送信するためのHDMIケーブルとして天井裏に常設して利用。

(2). HDMI(20m)とUTPケーブル(20m)工事

場所: 杉並区医師会館2階のIT室、2階会議室、3階講堂

工事実施内容

(1)20mUTPパッチケーブル敷設(2階IT室と会議室間)

(2)5mHDMIケーブル+HDMIセレクタ+既設HDMI引き戻し接続(2階IT室と会議室間)

(3)20mHDMIケーブル敷設(2階IT室と会議室間)

(4)既設POF伝送損失測定

既設2階IT室と2階会議室の1ライン(2F-02)と既設2階IT室と3階の1ライン(3F-03)を組合わせて、2階会議室と3階講堂を1ラインとして使用できるように追加工事をした。

損失測定結果

2F-02 5.8dB 3F03 2.6dB

2F-02 + 3F02 8.0dB

(3). 光ネクスト(固定IP)サービス設置

杉並区医師会館と稲葉クリニック2カ所にフレッツ光ネクストを開設し、固定IPアドレスを2ヶ月間利用できるサービスを設置した。

1. NTT東日本に依頼して、光ネクスト回線用ONUを2件設置
2. NTTぷららに依頼して、杉並区医師会と稲葉クリニック用に法人会員登録して、固定IPを各1件、取得
3. 使用期間後、1, 2の解約手続きを実施

2. ネットワークの設定

- (1). ノートPCの初期設定
- (2). ぷららのルーター設定
- (3). Skypeの設定

3. 動作試験

(1). SKYPE動作試験の実施

3台のノートPCにそれぞれHD用WEBカメラを設置して、LAN環境下にて、相互に対話型のTV会議を実験し動作確認をした。同様に、フレッツ光ネクスト環境下においても試験して動作確認を実施した。

通常の使用時、HD用WEBカメラ使用時でも、回線やPCの状況に応じて、720pハイビジョン伝送が出来る場合とハイビジョンモードでない画像になる場合が生じた。

(2). POF接続によるメディアコンバータの動作試験

マルチモードガラスファイバー用のメディアコンバータについて、POF接続の可能性の実証試験を実施した。850nm光源を利用したメディアコンバータでは、100Base-Tの伝送実験では、POF100メートル接続試験に合格した。

2. 2. 5 遠隔診断リハーサルの実施

上記の準備の結果、6月10日の遠隔診断リハーサルは予定通り進捗した。

1. 遅延時間の測定

(1) SonyTV会議システム

杉並区医師会2階のPC画面の1/1000秒単位のタイマーをカメラで撮影して稲葉クリニックに送信し、その画面をカメラ撮影して、杉並区医師会へ送信した画面をデジタルカメラで撮影した画面のタイマーの値から往復の時間遅れを概算した。そのカメラ撮影画面を図4に示す。これより、往復の時間遅れは、約858msecと予想された。

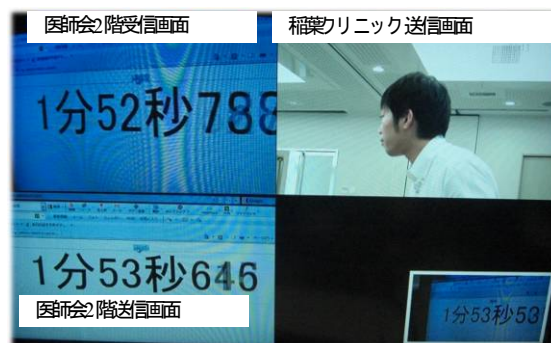


図4 稲葉クリニック TV会議画面

(2) SKYPEシステム

上記と同様に測定したカメラ撮影画面を図5に示す。この画面のタイマーの数値から往復の時間遅れは、約204msと予想された。

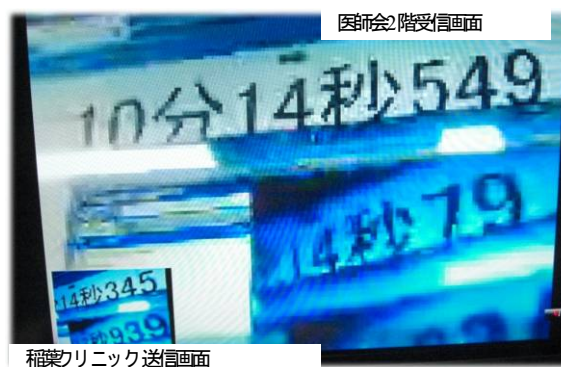


図5 稲葉クリニック SKYPE画面

(3) HDV-OTRリアルタイム光ハイビジョンシステム

杉並医師会館の3階のPCタイマーを2階へ送信し、その画面を3階へ送信したタイマーの画像をカメラ撮影した画面を図6に示す。この画面のタイマーの数値から往復の時間遅れは、約120msと予想された。

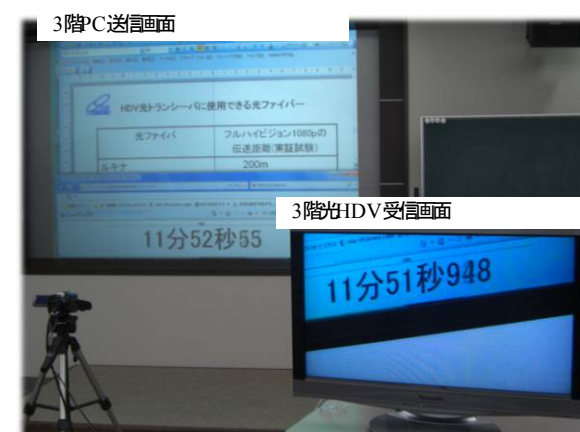


図6 3階PC画面と光HDV受信画面

2 アクション対話型通信について

じゃんけんぽんの実施や手拍子の対話型通信の実施においては、上記3種類のシステムにおいて、TV会議システムとSKYPEシステムでは、違和感があるが、POF伝送による光HDVシステムでは、遅れのない完璧な対話型通信が実現できた。

3. 遠隔診断の実施

稲葉クリニックの稲葉医師が、杉並区医師会館2階の患者の皮膚の症状をTV会議システムとSKYPEシステムにより遠隔診断した。その様子を図7、図8に示す。稲葉医師の意見では、ハイビジョンTV会議システムの画像による皮膚の診断は可能であるとの判断であった。SKYPEシステムの画質では、遠隔診断用として不十分であるという意見であった。

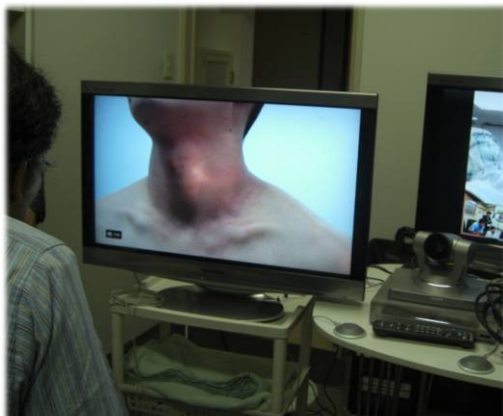


図7 稲葉クリニックからTV会議による皮膚の遠隔診断



図8 稲葉クリニックからSKYPEによる皮膚の遠隔診断

2. 2. 6 まとめ

遠隔診断ハイビジョンシステムについて、杉並区医師会館2階会議室、3階講堂、そこから約1km離れた稲葉クリニック応接室の3地点間に設置することを狙って、その現地調査を実施し、そのシステム構成の設計、そのシステム構成機器の選定、利用する機器の動作試験やネットワーク設定、現地での設計システムの実証試験を実施した。

2階と3階間のPOF回線は、①と②の伝送に利用され予定通り動作した。稲葉クリニックにおいてもONUと診療室間はPOF回線により②用の伝送に利用され予定通り動作した。

以上の予備実験により、3方式による遠隔診断実験ができることが検証できた。

ハイビジョン画質については、①と②の32型ハイビジョンディスプレイでは特別に差は感じられない程度に高画質であり、それに対して③は、色と画質ともに皮膚科の遠隔診断には不十分であるという意見が稲葉先生から出された。

医師からの要望として、ペンライトおよびスポットライトを準備することにした。また聴診器の音の伝送をする要望が出されたが、予備実験したところ聴診器の音を小型マイククロホンで受信することができず今回は採用できなかった。

遠隔診断システム機器一式、納品チェック試験およびリハーサル現場試験写真

1. PCとHD-WEBカメラ



2. PCとHD-WEBカメラ



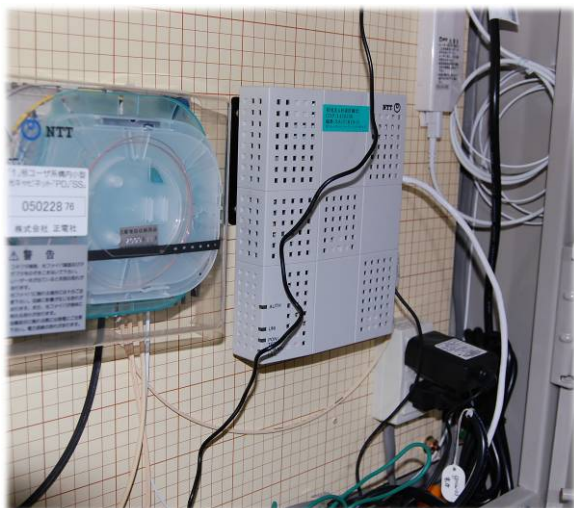
3. 杉並区医師会館2階天井



4. 杉並区医師会館2階天井



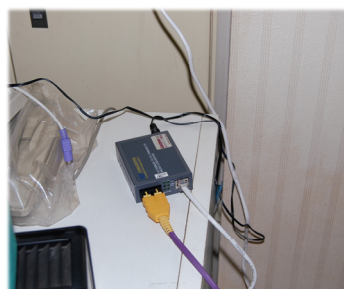
5. 杉並区医師会館2階ONU



6. 稲葉クリニックONU

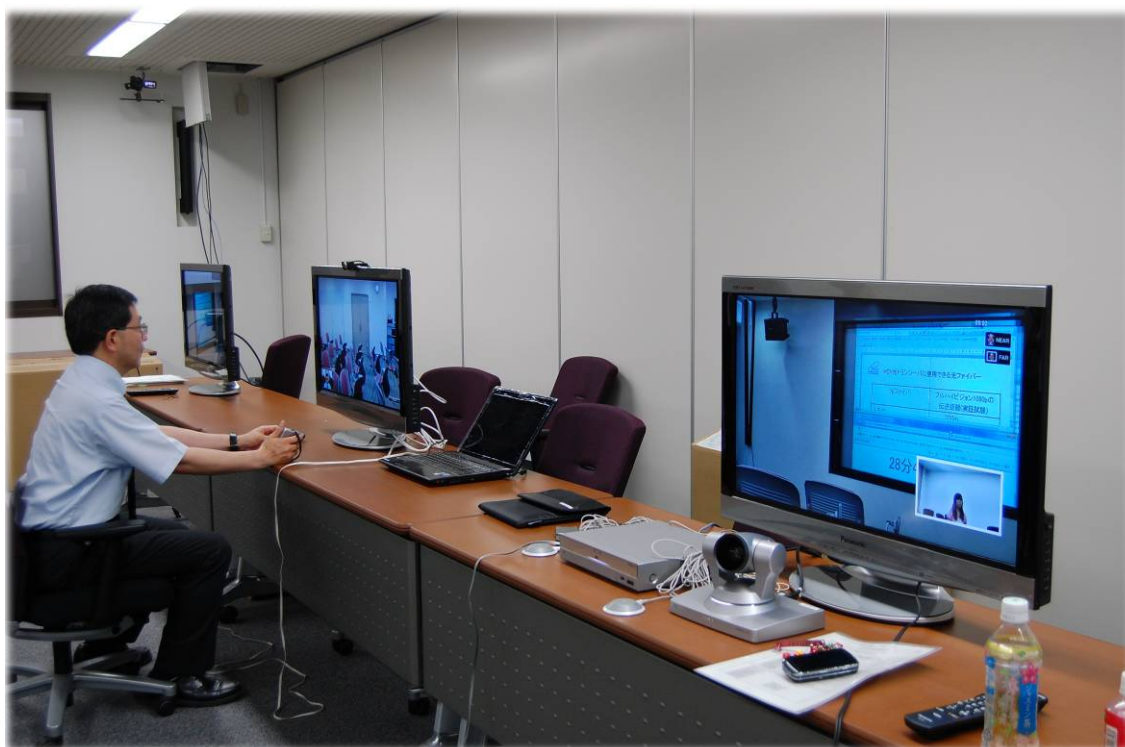


7. 稲葉クリニックONU→
メディアコンバーター
ルキナPOF



8. 杉並区医師会館2階会議室

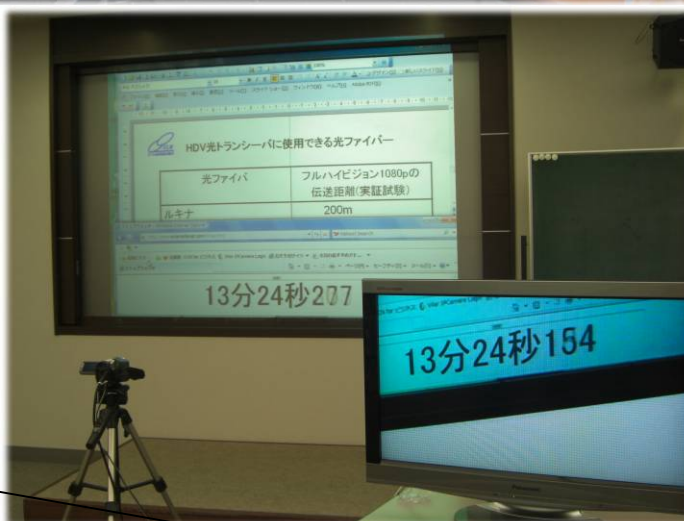
左から リアルタイム光伝送、SKYPE、TV会議



9. 杉並区医師会館3階

リアルタイム光伝送

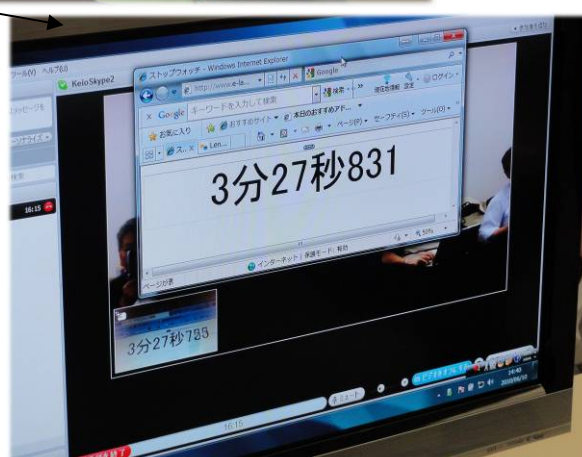
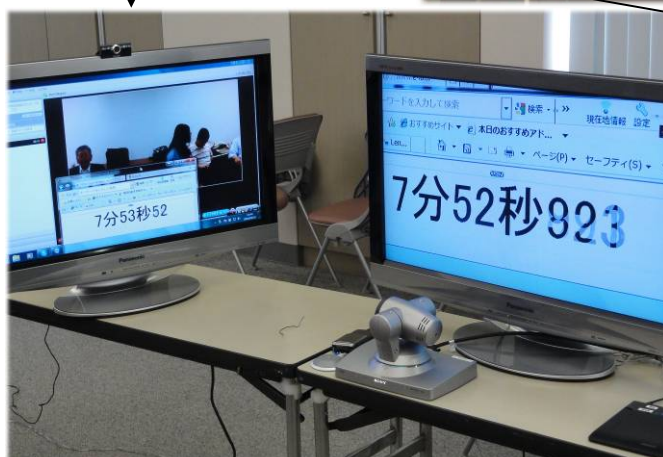
タイマーによる遅延測定



10. 杉並区医師会館3階

SKYPE と TV会議

タイマーによる遅延測定



1 1. 稲葉クリニック遠隔診断風景



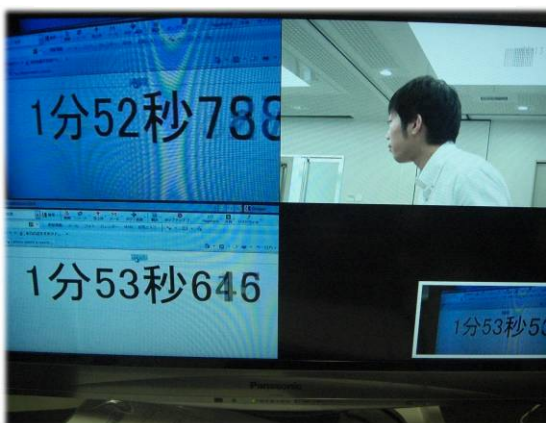
1 2. TV会議



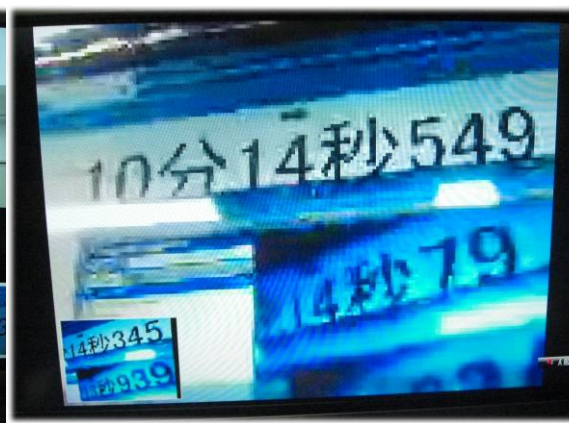
1 3. SKYPE



1 4. TV会議タイマー遅延実験



1 5. SKYPEタイマー遅延実験



2. 3 POF光ハイビジョン遠隔診断実験

2. 3. 1 遠隔診断実施タイムテーブル

リアルタイム遠隔診断公開実証試験 タイムテーブル

[日時] 2010年7月15日 13時～17時

[場所] 杉並区医師会会館

- 13:00 総司会 慶應義塾大学准教授 当麻哲哉
会長挨拶 杉並区医師会 会長 荒井和夫
実証実験の主旨説明 慶應義塾大学准教授 当麻哲哉
実証試験のシステム概要説明 イーラムダネット(株)菅田孝之
- 13:30 特別講演 慶應義塾大学 教授 小池康博
- 14:00 稲葉クリニック⇔医師会会館 遠隔診断
皮膚科 稲葉先生と窪田先生(内科)による質疑応答
- 14:30 医師会館内 2F⇔3F 遠隔診断
内科 窪田先生(内科)と稲葉先生による質疑応答
- 15:00 医師会館内 2F⇔3F 遠隔診断
眼科 濱田先生と稲葉先生による質疑応答
- 15:30 医師会館内 2F⇔3F 遠隔診断
整形外科 松本先生(CT画像テスト)
- 16:00 医師会館内 2F⇔3F 遠隔診断
耳鼻咽喉科 荒井先生
- 16:00 各先生からのコメント
閉会の挨拶 小池康博

[主催]

杉並区医師会

慶應義塾大学フォトニクス・リサーチ・インスティテュート

[協力]

財団法人 慶應工学会

NTTアドバンステクノロジー株式会社

イーラムダネット株式会社

2. 3. 2 遠隔診断実施内容

1. 遠隔診断 稲葉クリニック⇄医師会会館 14:00～14:30

皮膚科 稲葉先生と医師会館の患者と窪田先生(内科)による質疑応答

②ビデオ会議と③Skypeによる遠隔実証実験

患者(医師会館3階)を稲葉クリニックにて遠隔診断している風景



講演時間中の稲葉クリニックでの風景

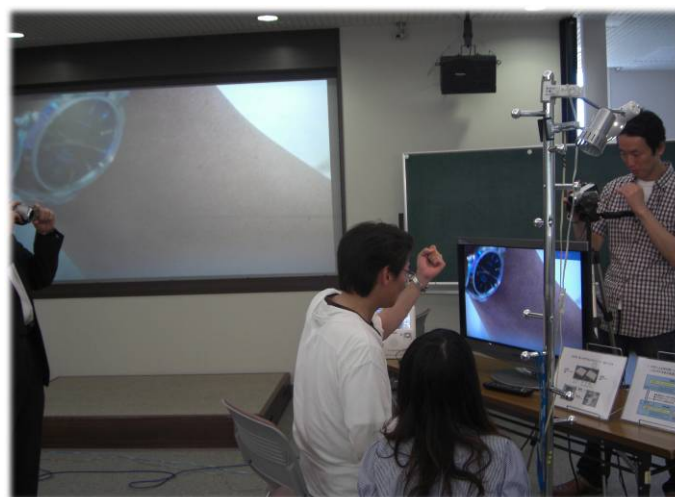
各写真の左側が②ビデオ会議、右側が③Skype



14:00以後、医師会館2階と3階にて、

①リアルタイム光伝送による診断

稲葉先生は、2階にて遠隔診断、患者(3階)風景



②テレビ会議による遠隔診断風景



2. 遠隔診断 医師会館内 2F⇔3F 14:30~15:00

内科 窪田先生(内科)と稲葉先生による質疑応答

②テレビ会議による遠隔診断風景(3F) 左 TV会議 右 Skype



3. 遠隔診断 医師会館内 2F⇔3F 15:00~15:20

眼科 濱田先生(2F)と患者(3F)による質疑応答

①リアルタイム光伝送による診断



③Skypeによる遠隔診断風景



4. 遠隔診断 医師会館内 2F⇔3F 15:20~15:40
整形外科 松本先生(CT画像テスト)

①リアルタイム光伝送による診断風景

②テレビ会議による診断風景(3F)



5. 遠隔診断 医師会館内 2F⇔3F 15:40~16:00
耳鼻咽喉科 荒井先生と患者 と2階の医師間の質疑応答

①リアルタイム光伝送による診断(3F)



②テレビ会議による診断風景(3F)



2. 3. 3 遠隔診断結果評価

1. 皮膚科 稲葉先生の評価

①リアルタイム光伝送による遠隔診断

実際に直接診断するのと全く同等な診断が可能。

教科書に出てくるようなはっきりとした画像。

②テレビ会議による遠隔診断

圧縮して伝送するため、皮膚の詳細な微細構造観察において
ブロックノイズが出て、観察不十分になる。とくに患者が動いた時。

大体において診断に利用可能である。

③Skypeによる遠隔診断

肌の色合い等の再現性が完全でない。診断不可能。

全般的な評価として、①リアルタイム光伝送による遠隔診断が最も望ましい。

2. 内科 窪田先生の評価

どの方法においても、患者の様子を伺うことができる。

内科の場合には、聴診器の利用が必須であり、遠隔にて聴診器の音を
聞く機器を必要とする。

3. 眼科 濱田先生

どの方法においても、患者の様子を伺うことができるが、

①リアルタイム光伝送の画質があると、

眼科の診断の80%は可能になると思われる。

4. 整形外科 松本先生

CT画像の撮影、伝送においては、CT画像の撮影方法をしっかりすれば、

①リアルタイム光伝送 および ②テレビ会議による遠隔診断

に利用可能である。

5. 耳鼻咽喉科 荒井先生

耳、鼻、口内の穴の中の撮影が一般的に難しい。

専用の小型撮影機など必要とする。

(付)第3章 考察と結論

本研究の目的である、画像データを遠隔地に伝送するためのデータ圧縮が、医師の遠隔診断に影響を及ぼすことを、実証することができた。

テレビ会議システムでは、圧縮によるブロックノイズがみられ、皮膚科などの画像で患部を診断する場合に、ノイズが邪魔をして診断できないことが分かった。また、遅延によるレスポンスの遅れが、医師の指示に即応できない患者との間に、多少の違和感を示した。

ウェブカメラシステムでは、画質が安定せず、通信状態に応じてダウングレードしてしまい、高画質での診断はできなかった。また、色の再現性が悪く、患部の状態を的確にみることはできなかった。

これらに対して、世界最速のプラスチック光ファイバーを用いたフルハイビジョン画像の非圧縮伝送においては、すべての医師から格段の画質の違いがあるとの証明を得ることができた。この結果により、高画質の画像を伝送して行われるチーム医療に対して、応用の可能性が十分にあることを立証した。

本研究成果は、2010年10月に開催されるPOF2010において発表される。したがって、本報告書は、発表後にさらなる分析データを加えてアップデートする予定である。

付録終了

参考文献

第1章

- [1] Groundbreaking Scientific Experiments, Inventions & Discoveries of the 18th Century, Jonathan Shectman, p. 172
- [2] Norman R. French, Optical Telephone System, US1,981,999 A, 1932.8.20
- [3] Kao, K. C.; Hockham, G. A. (1966). "Dielectric-fibre surface waveguides for optical frequencies". *Proc. IEE* 113 (7): 1151–1158.
- [4] F. P. Kapron, D. B. Keck, and R. D. Maurer, "Radiation Losses in Glass Optical Waveguides," *Applied Physics Letters*, Vol. 17(10), pp. 423-425 (1970).
- [5] I. Hayashi, M. B. Panish, P. W. Foy, and S. Sumski, "Junction Lasers Which Operate Continuously at Room Temperature," *Appl. Phys. Lett.* 17(3), pp. 109-111 (1970).
- [6] Y. Koike, Y. Kimoto and Y. Ohtsuka, "Studies on the Light-Focusing Plastic Rod. 12: The GRIN Fiber Lens of Methyl Methacrylate-Vinyl Phenylacetate Copolymer," *Applied Optics*, Vol. 21, No. 6, pp. 1057-1062, (1982).
- [7] Y. Koike, S. Matsuoka, and H. E. Bair, "Origin of Excess Light Scattering in Poly (Methyl Methacrylate) Glasses," *Macromolecules*, Vol. 25, No. 18, pp. 4807-4815, (1992).
- [8] T. Ishigure, Y. Koike, and J. W. Fleming, "Optimum Index Profile of The Perfluorinated Polymer-Based GI Polymer Optical Fiber and Its Dispersion Properties," *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 18, No. 2, pp. 178-184, (2000).
- [9] 総務省. 電気通信サービスの契約数及びシェアに関する四半期データの公表(平成24年度第4四半期(3月末)). (2014年2月16日引用). URL: http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban04_02000059.html
- [10] 総務省. ブロードバンドサービス等の契約数の推移. (2014年2月4日引用). URL: <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/field/tsuushin01.html>
- [11] 総務省. ブロードバンド基盤の整備状況. (2014年2月4日引用). URL: http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/broadband/index.html?sess=cd7d85ab5bcd7338f670a9e17c62c28a
- [12] 総務省. 平成24年通信利用動向調査の結果. (2014年2月5日引用). URL: http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01tsushin02_02000058.html
- [13] 総務省. 我が国のインターネットにおけるトラフィックの集計・試算. 2013年5月の集計結果の公表. (2014年2月4日引用). URL: http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban04_02000061.html
- [14] Cisco White Paper, "Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2012–2017," USA (2013)

第2章

- [1] Maki Sato, and Hiroshi Takizuka, “Next Generation Display & Transmission Technology,” 19th International Conference on Plastic Optical Fibers (ICPOF2010), (Yokohama, Japan), October 19-21, 2010.
- [2] 根津禎, あらゆる機器へ搭載狙うUSB, 日経エレクトロニクス 2009年2月23日号, pp.35-53
- [3] Tetsuya Toma, and Tetsuro Ogi, “Influence of Live Classic Concert on Stress and Relaxation in 3D High Presence Environment,” 2011 Asian Conference on Design and Digital Engineering (ACDDE 2011), (Shanghai, China), Proceeding II, pp.503-506, August 27-29, presented on Aug. 28, 2011.
- [4] Y. Fujiwara, H. Genno, K. Matsumoto, R. Suzuki and K. Fukushima, Estimating Human Sensations Using Chaos Analysis of Nose Skin Temperature, Japan Society for Fuzzy Theory and Systems 8(1) (1996), pp.95~104.
- [5] H. Genno, K. Ishikawa, O. Kanbara, M. Kikumoto, Y. Fujiwara, R. Suzuki and M. Osumi, Using facial skin temperature to objectively evaluate sensations, International Journal of Industrial Ergonomics 19 (1997), pp.161~171.
- [6] Y. Ueno, Y. Kuriyagawa and I. Kageyama, Study on an Estimation Method for Driver Strain-State using Facial Temperature, Japan Society of Mechanical Engineers Proceedings of 12th JSME Transportation and Logistics (2003), pp.229~232.
- [7] T. Matsuo, S. Watanabe, A. Koseki, T. Hori and T. Takahashi, On the evaluation of stress intensity through temperature measurement of face, Dynamics & Design Conference 346 (2008)
- [8] Tetsuya Toma, Tomoyuki Fujita, and Tetsuro Ogi, “A Study on Correlation between Nose Skin Temperature Drop and Sense of Presence by Display Resolution and Screen Size,” the Asian Conference on Design and Digital Engineering (ACDDE2012), (Hokkaido, Japan), Dec. 6-8, presented on Dec. 10, 2012.
- [9] Ryoma Hirose, Makoto Asai, Atsushi Kondo, and Yasuhiro Koike, “Graded-index plastic optical fiber prepared by the coextrusion process,” Applied Optics 47(22) (2008) 4177-4185.
- [10] 慶應義塾大学フォトリサーチ・インスティテュート, 新川崎タウンキャンパス(2014年1月9日引用), URL: <http://www.k2.keio.ac.jp/project-e-koike.html>
- [11] Ken Kuriki, Susumu Nishihara, Yukihiisa Nishizawa, Akihiro Tagaya, and Yasuhiro Koike, “Spectroscopic properties of lanthanide chelates in perfluorinated plastics for optical applications,” J. Opt. Soc. Am. B 19(8) (2002) 1844-1848.
- [12] Y. Koike, T. Ishigure, “High-bandwidth plastic optical fiber for fiber to the display,” J. Lightwave Technol. 24(12) (2006) 4541-4553.
- [13] I. Mollers, et al., “Plastic optical fiber technology for reliable home networking: Overview and results of the EU Project POF-ALL,” IEEE Commun. Mag. 47(8) (2009) 58-68.
- [14] H. Nishikawa, M. Yamamoto, T. Toma, H. Asada, “Development of face-to-face communications system,” The 1st International Conference on Advanced Photonic Polymers (ICAPP 2011), 2011.
- [15] Soren Grinderslev, “Fiber Optic Connectors: Expanded Beam vs. Physical Contact”, Tyco Electronics white paper
- [16] 矢崎総業株式会社 (出願人), “光ファイバーモジュール及びその製造法”, 特開2010-96903, 公開日: 2010.4.30
- [17] J. C. Baker, D. N. Payne, “Expanded-beam connector design study”, APPLIED OPTICS, Vol. 20,

page 2861, August 15, 1981

- [18] P. Polishuk, "Plastic Optical Fibers Branch Out," IEEE Commun. Mag. 44(9), 140-148 (2006).

第3章

- [1] P. Polishuk, "Plastic Optical Fibers Branch Out," IEEE Commun. Mag. 44(9), 140-148 (2006).
- [2] Mollers, D. Jager, R. Gaudino, A. Nocivelli, H. Kragl, O. Ziemann, N. Weber, T. Koonen, C. Lezzi, A. Bluschke, and S. Randel, "Plastic Optical Fiber Technology for Reliable Home Networking: Overview and Results of the EU Project POF-ALL," IEEE Commun. Mag. 47(8), 58-68 (2009).
- [3] J. C. Baker, D. N. Payne, "Expanded-beam connector design study", APPLIED OPTICS, Vol. 20, page 2861, August 15, 1981
- [4] R. J. Pimpinella, "A New Type of Fiber Optic Connector Designed for Military Optics Backplanes," IEEE Transactions on Components Hybrids and Manufacturing Technology, 15, 992-997 (1992).
- [5] Y. Koike and T. Ishigure, "High-Bandwidth Plastic Optical Fiber for Fiber to the Display," J. Lightwave Technol. 24(12), 4541-4553 (2006).
- [6] P. Decker, A. Polley, J. Kim, and S. Ralph, "Statistical Study of Graded-Index Perfluorinated Plastic Optical Fiber," J. Lightwave Technol. 29(3), 305-315 (2011).
- [7] 当麻哲哉、瀧塚博志、鳥飼俊敬、鈴木等、小木哲朗、小池康博、「ボールペン技術による家庭用高精細映像光伝送システム開発 —安価で簡易な光接続を可能とするボールペン型光インターコネクットの提案—」、シンセシオロジー.(11/25/2013 アクセプト)
- [8] T. Torikai, T. Yamauchi, S. Mine, N. Moriya, A. Mitsui, H. Suzuki, Y. Watanabe, T. Toma, and Y. Koike, "Optical I/O Connectors Employing Ball-Point Pen Type Optical Collimator Lenses Suitable for Plastic Optical Fiber Communications," in Proceedings of 21th International Conference on Plastic Optical Fibers (POF2012), (Atlanta, USA, 2012).
- [9] タイコエレクトロニクスアンプ株式会社. 公開特許「光ファイバーコリメータ」(特開2007-241094). (2007).
- [10] International Standard, Safety of laser products – Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide, IEC 60825-1 edition 1.2, (2001).

第4章

- [1] 片山和典, 伊藤文彦, 灰原正. ホームネットワークアーキテクチャに関する標準化動向. NTT技術ジャーナル2004.6 (2004), 56-59.
- [2] ITU SG9, ITU-T Recommendation J.190, (2002).
- [3] 丹康雄. ホームネットワークの現状と標準化動向. 通信ソサイエティマガジンNo.22(秋号) (2012), 90-98.
- [4] T. Toma, H. Takizuka, M. Kanou, T. Taniguchi, and Y. Koike, "Dual Full High Definition 3D Video Real-Time Communication System," 20th International Conference on Plastic Optical Fibers (ICPOF2011), (Bilbao, Spain), (2011).
- [5] K. Ishida, M. Sato, "Validation of energy conservation effect for household using HEMS," J.

- Environ. Eng., Architectural Institute of Japan (AIJ), 595 (2005) 57-64.
- [6] Panasonic, Fujisawa smart town project in Japan, online at: <http://panasonic.net/fujisawasst/>, (2013).
 - [7] NHK放送文化研究所. 2010年国民生活時間調査報告書. (2011).
 - [8] T. Toma, H. Asada, T. Ogi, and Y. Koike, "High-Speed Optical Home Network Using Graded Index Plastic Optical Fibers for a Smart House," *Advances in Computer Science : an International Journal*, Vol.2 (5) (2013) 141-149.

第5章

- [1] 慶応工学会. GigaHouse TownTMプロジェクト活動報告書 (2007)
- [2] 日本遠隔医療学会編集委員会監修. 遠隔診療実践マニュアル在宅医療推進のために. 東京: 篠原出版新社, 2013.
- [3] 米澤 麻子, 峰瀧 和典, 酒巻 哲夫, 他. 遠隔診療のニーズに関する研究. *日本遠隔医療学会雑誌* 2011; 7(1): 57-62.
- [4] Wurm E, Soyer P, Smith A. *Introduction to Tele dermatology, Telemedicine in Dermatology*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2012: 1-6.
- [5] 成田 英基. 医療現場での4Kモニター: 手術室用高精細8MP大画面カラーディスプレイ. *ディスプレイ* 2012; 18(11): 18-22.
- [6] 荒川 佳樹. 4K超高精細映像のアプリケーション. *情報通信研究機構季報* 2010; 56(1-2): 203-212
- [7] NHKエンジニアリングシステム. 第5回東京エコーラボで4K映像をライブ伝送. (2013年6月24日引用). URL: <http://www.nes.or.jp/news/2010/12/54k/>
- [8] 経済産業省. 主要寸法項目の年代別平均値. (2013年6月24日引用). URL: http://warp.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/286890/www.meti.go.jp/press/20071001007/004_bessi.pdf
- [9] Toma T, Sugeta T, Arai K et al. Real Time High-Definition Video Communication System Using GI-POF for Medical Applications. 19th International Conference on Plastic Optical Fibers (ICPOF2010), 2010; Proceedings: Page 139-142.
- [10] 経済産業省. 平成24年度 我が国情報経済社会における基盤整備(テレビのネットワーク化に関する調査研究). 「次世代テレビに関する検討会」報告書. (2013年6月3日引用). URL: <http://www.meti.go.jp/press/2012/02/20130228001/20130228001-4.pdf>
- [11] 総務省. 放送サービスの高度化に関する検討会. (2013年6月3日引用). URL: http://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/housouservicekoudoka/index.html

第6章

- [1] T. Taniguchi*, H. Yoshida, T. Toma, and Y. Koike, "The potential of the high speed optical link with PCP GI-POF in the house," 21th International Conference on Plastic Optical Fibers (ICPOF2012), (Atlanta, USA), Sept. 10-12, presented (poster) on Sept. 10, 2012.
- [2] Tetsuya Toma, Hiroshi Takizuka*, Koichiro Yoshimura, Shigehiro Oi, and Yasuhiro Koike, "Development of a Blade for Graded Index Plastic Optical Fiber (GI-POF) to Minimize Optical

Power Losses at the Cut Surface,” The 22th International Conference on Plastic Optical Fibers (ICPOF2013), (Buzios, Brazil), Sept. 11-13, 2013, presented on Sept. 12, 2013. (poster)

付録

- [1] 小池康博, 当麻哲哉, 世界最速プラスチック光ファイバを用いた非圧縮フルハイビジョン映像伝送によるチーム医療への応用. 慶應義塾外部連携研究創出助成制度, 少子超高齢化社会における大学を中心とした健康町づくり構想, (2010).
- [2] Hasegawa, T. and Murase, S., Distribution of Telemedicine in Japan, Telemedicine and e-Health, 2007, 13(6), pp 695-702
- [3] 医政発第0331020号, 「情報通信機器を用いた診療(いわゆる「遠隔医療」)について」の一部改正について, 2003年3月31日
- [4] Nakamura, M. et al, Development of Long-Range and High-Speed Wireless LAN for the Transmission of Telemedicine from Disaster Areas, EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, vol. 2008, Article ID 724010, 13 pages, 2008. doi:10.1155/2008/724010

研究業績

主論文に関連する原著論文:3件

1. 当麻哲哉、瀧塚博志、鳥飼俊敬、鈴木等、小木哲朗、小池康博、「ボールペン技術による家庭用高精細映像光伝送システム開発 —安価で簡易な光接続を可能とするボールペン型光インターコネクットの提案—」、シンセシオロジー.(11/25/2013 アクセプト)
2. T. Toma, H. Asada, T. Ogi, and Y. Koike, “High-Speed Optical Home Network Using Graded Index Plastic Optical Fibers for a Smart House,” *Advances in Computer Science : an International Journal*, Vol.2 (5), pp.141-149, (2013)
3. 当麻哲哉、鈴木創史、戸倉一、稲葉義方、小木哲朗、小池康博、「遠隔診療における4K超高精細映像の有効性評価～皮膚科診療への適用の可能性～」、日本遠隔医療学会雑誌、Vol.9 (2), pp.66-73, (2013)

Full Paper査読 国際会議 論文発表:1件

4. T. Toma*, H. Asada, H. Nishikawa, M. Yamamoto, and Y. Koike, “A Study on Advantages of a High-Speed Network System for a Home Monitoring, Management and Communication System in a Smart House,” the Second International Conference on Building Energy and Environment (COBEE 2012 (Boulder, USA), Aug. 1-4, presented on Aug. 2, 2012.

国際会議 論文発表:7件

5. Tetsuya Toma, Hiroshi Takizuka*, Koichiro Yoshimura, Shigehiro Oi, and Yasuhiro Koike, “Development of a Blade for Graded Index Plastic Optical Fiber (GI-POF) to Minimize Optical Power Losses at the Cut Surface,” The 22th International Conference on Plastic Optical Fibers (ICPOF2013), (Buzios, Brazil), Sept. 11-13, 2013, presented on Sept. 12, 2013. (poster)
6. Tetsuya Toma, Tomoyuki Fujita*, and Tetsuro Ogi, “A Study on Correlation between Nose Skin Temperature Drop and Sense of Presence by Display Resolution and Screen Size,” the Asian Conference on Design and Digital Engineering (ACDDE2012), (Hokkaido, Japan), Dec. 6-8, presented on Dec. 10, 2012.
7. T. Toma*, and Y. Koike, “A Study on 40Gbps GI-POF Interface for 4K3D Video Transmission,” 21th International Conference on Plastic Optical Fibers (ICPOF2012),

- (Atlanta, USA), Sept. 10-12, presented on Sept. 10, 2012.
8. T. Toma*, T. Sugeta, and Y. Koike, “Development of Television RF-Transmission System over GI-POF to Replace Microwave Coaxial Cable,” 21th International Conference on Plastic Optical Fibers (ICPOF2012), (Atlanta, USA), Sept. 10-12, presented on Sept. 11, 2012.
 9. T. Toma*, H. Takizuka, M. Kanou, T. Taniguchi, and Y. Koike, “Dual Full High Definition 3D Video Real-Time Communication System,” 20th International Conference on Plastic Optical Fibers (ICPOF2011), (Bilbao, Spain), Sept. 14-16, presented on Sept. 16, 2011.
 10. Tetsuya Toma*, and Tetsuro Ogi, “Influence of Live Classic Concert on Stress and Relaxation in 3D High Presence Environment,” 2011 Asian Conference on Design and Digital Engineering (ACDDE 2011), (Shanghai, China), Proceeding II, pp.503-506, August 27-29, presented on Aug. 28, 2011. (**Extended Abstract査読**)
 11. Tetsuya Toma*, Takayuki Sugeta, Kazuo Arai, and Yasuhiro Koike, “Real Time High-Definition Video Communication System Using GI-POF For Medical Applications,” 19th International Conference on Plastic Optical Fibers (ICPOF2010), (Yokohama, Japan), October 19-21, presented on Oct. 21, 2010.

国内会議 論文発表:1件

12. 当麻哲哉*、任柏澄、戸倉一、稲葉義方、小木哲朗、小池康博、「遠隔診断におけるリアルタイム高精細映像伝送に対する診療科別要求品質」、第32回医療情報学連合大会(2012年11月15-17日、新潟)(フルペーパー査読)

その他対外発表

定期刊行誌 掲載論文(共著):2件

13. 勝間田実三、当麻哲哉、小木哲朗、「チャット式遠隔カンファレンスに基づいた医師型セカンドオピニオンと予防型クリティカルパスの導入」、日本遠隔医療学会雑誌、Vol.8 (1), pp.2-7, (2012)、(原著論文)
14. 勝間田実三、当麻哲哉、小木哲朗、「途上国地方村への遠隔医療システムの導入—インド首都近郊都市ジャイプル市での移動型クリニック車の実効性分析—」、日本遠隔医療学会誌、Vol.7(1), pp.7-13, (2011)、(原著論文)

定期刊行誌 解説原稿:2件

15. 当麻哲哉、「世界のプロジェクトマネジメント教育の現状と教育プログラムの国際認定制度“GAC”」、工学教育、Vol.61(5), pp.16-21,(2013)、(論説)
16. 永谷裕子、当麻哲哉、「慶応義塾大学大学院SDM研究科の英語でのPM講座の事例紹介」、工学教育、Vol.61(5), pp.51-54,(2013)、(事例紹介)

Full Paper査読 国際会議 論文発表(共著):7件

17. H. Takizuka*, T. Torikai, A. Mitsui, H. Suzuki, Y. Watanabe, T. Toma, and Y. Koike, “A Proposal of Novel Optical Interface to Transmit 8K-UHDTV for Consumer Applications,” 18th Microoptics Conference (MOC’13), (Tokyo, Japan), Oct. 27-30, 2013, presented on Oct. 30, 2013.
18. Akira Yasuda*, Nobuaki Minato, and Tetsuya Toma, “Why do people purchase free-downloadable music software? -Systems evaluation on Japanese music consumer behavior using Bayesian Network Modeling-,” International Conference of Asia-Pacific Council on Systems Engineering (APCOSEC 2013), (Yokohama, Japan), Sept. 8-11, 2013, presented on Sept. 9, 2013.
19. Tetsuro Ogi*, Yosuke Kubota, Tetsuya Toma, and Takeshi Chikakiyo, “Evaluation of High Presence Sensation based on Biological Information,” The 16th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS 2013), (Gwangju, Korea), Sept. 4-6, 2013.
20. Jitsuzo Katsumata*, Tetsuya Toma, and Tetsuro Ogi, “The Possibility of Microinsurance to Cover Medical Coat of the Poor under Mobile Clinic in India,” 16th Pacific Asia Conference on Information Systems (PACIS2013), (Jeju, Korea), June 18-22, 2013.

21. Jitsuzo Katsumata*, Tetsuya Toma, and Tetsuro Ogi, “The Systemic Linkage for Using Telemedicine of Medical Equipments – In the Case of Hao Binh Situation in Vietnam,” 4th Asia-Pacific Conference on Systems Engineering (APCOSE2010), (Keelung, Taiwan), Oct. 4-6, 2010.
22. Jitsuzo Katsumata*, Tetsuya Toma, and Tetsuro Ogi, “Possibility of the Introduction of the Telemedicine in the Rural Villages in Vietnam,” 14th Pacific Asia Conference on Information Systems (PACIS2010), (Taipei, Taiwan), July 9-12, 2010.
23. S. Kim*, S. Haruyama, T. Maeno, T. Toma, and Y. Ohkami, “Preliminary Validation of Scenario-based Design for Amorphous Systems,” 20th International Council on Systems Engineering Annual International Symposium (INCOSE2010), (Chicago, USA), presented on July 5, 2010

国際会議 論文発表(共著):14件

24. Teruyuki Taniguchi*, Hirotugu Yoshida, Tetsuya Toma, and Yasuhiro Koike, “Development of High Speed Transmission System over GI-POF,” The 22th International Conference on Plastic Optical Fibers (ICPOF2013), (Buzios, Brazil), Sept. 11-13, (poster)
25. Hiroshi Takizuka*, Toshitaka Torikai, Hitoshi Suzuki, Akihito Mitsui, Yuji Watanabe, Tetsuya Toma, and Yasuhiro Koike, “A Study on 120Gbps GI-POF Interface for 8K-UHD Video Transmission,” The 22th International Conference on Plastic Optical Fibers (ICPOF2013), (Buzios, Brazil), Sept. 11-13
26. Jitsuzo Katsumata*, Tetsuya Toma, and Tetsuro Ogi, “Concentration of Imbalance of Payment in Neighboring Regional Hospitals and Clinics Using Mobile Van Clinics,” International Telemedicine Congress (Telemedicom12), (Coimbatore, India), Nov. 29-Dec. 1, presented on Dec. 1, 2012.
27. Jitsuzo Katsumata*, Tetsuya Toma, and Tetsuro Ogi, “Possibility of Integration of Medical Data Using Mobile Van Clinic and Virtual Conference,” 3rd India-Japan Symposium on “Frontiers in Science & Technology: Successes & Emerging Challengers,” Embassy of India, Tokyo, Japan, Sept. 19-20. Presented (poster) on Sept. 20, 2012.
28. I. Maida*, H. Sato, T. Toma, and Y. Koike, “A Study on Influence of Monitoring Delay Using Simplified Operation model for Remote Surgery,” 21th International Conference on Plastic Optical Fibers (ICPOF2012), (Atlanta, USA), Sept. 10-12, presented on Sept. 10, 2012.
29. T. Taniguchi*, H. Yoshida, T. Toma, and Y. Koike, “The potential of the high speed optical link with PCP GI-POF in the house,” 21th International Conference on Plastic Optical Fibers (ICPOF2012), (Atlanta, USA), Sept. 10-12, presented (poster) on Sept. 10, 2012.

30. T. Torikai*, T. Yamauchi, S. Mine, N. Moriya, A. Mitsui, H. Suzuki, Y. Watanabe, M. Kanou, H. Takizuka, T. Toma, and Y. Koike, "Optical I/O Connectors Employing Ball-Point Pen Type Optical Collimator Lenses Suitable for Plastic Optical Fiber Communications," 21th International Conference on Plastic Optical Fibers (ICPOF2012), (Atlanta, USA), Sept. 10-12, presented on Sept. 11, 2012.
31. Jitsuzo Katsumata*, Tetsuya Toma, and Tetsuro Ogi, "Possibility of Referral System to Developing Countries -Through Accumulation of Medical Data Using Mobile Clinic Van-, " Transforming Healthcare with Information Technology 2012, (Hyderabad, India), August 31-Sept. 1, presented on Sept. 1, 2012
32. Jitsuzo Katsumata*, Tetsuya Toma, and Tetsuro Ogi, "Improvement of Medical Quality in Rural Areas by Using Real-Time Tele-Diagnosis Supported by Chat Conference System with GI-POF Network," 1st International Conference on Advanced Photonic Polymers (ICAPP), (Kanagawa, Japan), Dec. 1-2, presented (poster) on Dec. 1, 2011.
33. Iwane Maida*, and Tetsuya Toma, "Research on the Relationship between Sense of Presence and Sympathy on a Disaster Film in 4K," 1st International Conference on Advanced Photonic Polymers (ICAPP), (Kanagawa, Japan), Dec. 1-2, presented (poster) on Dec. 1, 2011.
34. Jitsuzo Katsumata*, Tetsuya Toma, and Tetsuro Ogi, "Possibility of Telemedicine Using Mobile Van Clinic and Virtual Conference," International Telemedicine Congress (TELEMEDICON '11), (Mumbai, India), Nov. 11-13, 2011.
35. W. Lin*, and T. Toma, "Research on Efficiency of High-realistic Video Communications with GI-POF for Telemedicine," 20th International Conference on Plastic Optical Fibers (ICPOF2011), (Bilbao, Spain), Sept. 14-16, presented (poster) on Sept. 15, 2011.
36. Iwane Maida*, and Tetsuya Toma, "The Study of Parroting Efficacy for Audience with Monitor Size," 19th International Conference on Plastic Optical Fibers (ICPOF2010), (Yokohama, Japan), October 19-21, presented (poster) on Oct. 20, 2010.
37. Ming Li*, Mikito Tateishi, and Tetsuya Toma, "Strategy to Expand High-Speed Plastic Optical Fiber Home Network into China Market," 19th International Conference on Plastic Optical Fibers (ICPOF2010), (Yokohama, Japan), October 19-21, presented (poster) on Oct. 20, 2010.

国際会議 招待講演:2件

38. T. Toma*, H. Takizuka, and Y. Koike, "Real-Time medical Tele-Consultation Using 3D Dual Streaming Video Through GI-POF Network," **Invited Talk**, 1st International Conference on Advanced Photonic Polymers (ICAPP), (Kanagawa, Japan), Dec. 1-2, presented on Dec. 1, 2011.
39. T. Toma* and Y. Koike, "Real-time Face-to-Face Communication by Photonics

Polymers," **Invited Talk**, 2011 East Asian Symposium on Molecular Electronics Materials, (Jeju Island, Korea), April 29, 2011.

国内会議 論文発表(共著):18件

40. 佐藤幸男*、藤田智行、高橋真理子、高詰佳史、高沖英二、関根和彦、佐々木淳一、当麻哲哉、今西宣晶、相磯貞和、堀進悟、「医学教育における3D映像効果の検討」、第41回救急医学会(2013年10月21-23日、東京、発表日10月22日)
41. 勝間田実三*、当麻哲哉、小木哲朗、「遠隔医療とインドにおけるクリニック車の経済性」、第12回日本テレパソロジー・バチャルマイクスコピ研究会総会(2013年9月20-22日、東京、発表日9月22日)
42. 藤田智行、米田巖根*、当麻哲哉、「遠隔教育による手技習得を想定した映像遅延の影響に関する研究」、第17回日本医療情報学会春季学術大会(2013年6月20-22日、富山、発表日6月22日)
43. 菅田孝之*、当麻哲哉、小池康博、「テレビ信号POF光送受信器の開発ー屋内同軸ケーブルのPOF化ー」、電子情報通信学会ソサイエティ大会(2012年9月11-14日、富山、発表日9月12日)
44. 久保田曜丞*、当麻哲哉、小木哲朗、近清武、新井真由美、池辺靖、松山桃世、「高臨場感映像体験時の生情報計測」、ヒューマンインタフェースシンポジウム2012、pp.515-516、福岡、2012.9.4-7
45. 春山真一郎*、前野隆司、当麻哲哉、「ALPS:慶應SDM 研究科のProject-Based Learning」、日本工学教育協会 関東工学教育協会第60回年次大会(2012年8月22-24日、東京)
46. 永谷裕子*、当麻哲哉、「慶應義塾大学大学院SDM研究科の英語でのPM講座」、日本工学教育協会 関東工学教育協会第60回年次大会(2012年8月22-24日、東京)
47. 藤田智行*、和田則仁、当麻哲哉、「3Dディスプレイを活用した腹腔鏡手術シミュレーションの手技習得の短時間化に関する研究」、第44回日本医学教育学会大会(2012年7月27-28日、神奈川、発表日7月27日)
48. 勝間田実三*、当麻哲哉、小木哲朗、「途上国への医療連携システムの導入の可能性ー遠隔教育効果の研究を通して」、第44回日本医学教育学会大会(2012年7月27-28日、神奈川、発表日7月27日)(ポスター発表)
49. 久保田曜丞*、当麻哲哉、小木哲朗、「生体情報による高臨場感映像の評価」、第16回テレイメージング技術研究会(2012年2月17日、神奈川)

50. 勝間田実三*、当麻哲哉、小木哲朗、「移動型クリニック車システムの実証分析—ベトナム地方村民の立場からの分析」、国際開発学会第21回全国大会、pp.305-308 (2010年12月4-5日、東京)
51. 高橋良輔*、当麻哲哉、「運用者能動学習型開発に関する研究」、第6回情報システム学会全国大会 (2010年11月28日、東京)
52. 勝間田実三*、当麻哲哉、小木哲朗、「途上国都市部近郊での住民参加型医療システムは実現可能か—ベトナムのハノイ市の総合病院での調査を中心に」、日本遠隔医療学会学術大会 (JTТА2010)、(2010年9月25-26日、静岡)、日本遠隔医療学会雑誌 Vol.6 (2), pp.240-243, (2010)
53. 勝間田実三*、当麻哲哉、小木哲朗、「途上国地方村での医薬品供給システムの構築」、情報処理学会創立50周年記念全国大会 (2010年3月8日、東京)、全国大会講演論文集 第72回平成22年(4), 4-565 – 4-566, (2010)
54. 岡啓*、当麻哲哉、「OPMとScorecarding法の組合せによるシステム開発手法の評価」、第5回情報システム学会全国大会 (2009年12月6日、東京)
55. 勝間田実三*、当麻哲哉、小木哲朗、「途上国での遠隔医療導入は可能か、経済評価を中心に」、国際開発学会第20回全国大会 (2009年11月21-22日、大分)
56. 勝間田実三*、当麻哲哉、小木哲朗、「途上国での遠隔医療導入は可能か —インドの医療情報システムを中心に—」、日本遠隔医療学会学術大会 (JTТА2009 in KUMAMOTO)、日本遠隔医療学会雑誌、Vol.5、No.2、pp.224-225 (2009年10月10-11日、熊本)
57. 当麻哲哉*、大澤貴之、小池康博、大塚保治、「アニオン重合—拡散共重合による新しい分布屈折率光学材料とその光デバイス化」、第37回高分子学会年次大会、(1988年5月26日、愛知) (ポスター発表)

国内会議 招待講演:2件

58. 当麻哲哉*、「プロジェクトマネジメントの早期教育の重要性とPMIの取り組み」、**基調講演**、日本工学教育協会 関東工学教育協会第60回年次大会 (2012年8月22-24日、東京)
59. 当麻哲哉*、「最先端フォトンクスによる高精細映像を用いた遠隔医療の実現へ向けて」、**特別講演**、静岡がん会議2011 (2012年3月20日、静岡)

国際一般講演:1件

60. Yasuhiro Koike, and Tetsuya Toma*, “Latest Research Findings at KPRI for Face-to-Face Communication,” POF Symposium at OFC/NFOEC2013, (Anaheim, USA), Mar. 20, 2013 (当麻が講演)

国内一般講演: 12件

61. 当麻哲哉*, 「超高精細映像伝送のための新規光インターコネクットの提案」、高精細・高解像・3D表示の人間工学シンポジウム(2013年12月18日、横浜)
62. 当麻哲哉*, 「チャレンジする大学院『慶應SDM』—リーダーシップを育てるコミュニケーション重視の教育システム」、PMI Japan Festa 2013(2013年11月9-10日、横浜、発表日11月10日)
63. 当麻哲哉*, 「フォトニクスポリマー領域におけるR&Dと実用化に向けた課題」、エイトラムダフォーラム2013第3回(2013年10月10日、東京)
64. 当麻哲哉*, 「世界最速プラスチック光ファイバーによる革新的ボールペン型光インターコネクートを初公開」、第84回POFコンソーシアム全体会議(2013年6月20日、横浜)
65. 小池康博、当麻哲哉*, 「高精細画像システム ハード面からみた医学教育における3Dの可能性」、第44回日本医学教育学会大会特別セッション(2012年7月28日、横浜)
66. 当麻哲哉*, 「プロジェクトリーダーを育成する慶應SDMの挑戦」、PMI日本フォーラム2012(2012年7月7-8日、東京)
67. 当麻哲哉*, 「大画面3Dシステムの医療への応用」、フェイス・トゥ・フェイス・コミュニケーション・フォーラム分科会(2012年2月9日、神奈川)
68. 当麻哲哉*, 「失敗もプラスに変えるプロジェクトマネジメント」、ISACA東京支部月例会(2011年10月26日、東京)
69. 当麻哲哉*, 「4K3D実写映像の世界」、第75回POFコンソーシアム全体会議(2011年8月3日、神奈川)
70. 当麻哲哉*, 「4K3D実写映像の世界」、フェイス・トゥ・フェイス・コミュニケーション・フォーラム分科会(2011年7月14日、神奈川)
71. 当麻哲哉*, 「慶應義塾大学医学部 3D医療映像評価実験」、フェイス・トゥ・フェイス・コミュニケーション・フォーラム分科会(2011年6月9日、神奈川)
72. 当麻哲哉*, 「慶應SDM～プロジェクトリーダー育成への挑戦～」、itSMF Japan/PMI日本支部共催シンポジウム(2010年11月26日、横浜)

その他業績

特許:7件

- SC形光コネクタ, 特願2013-068646, 2013.3.28出願
- TV光伝送システム構成, 特願2012-211458, 2012.9.6出願
- Light Directing Film, WO 2007143341 A1, US7950838 B2, 2007.5.14
(JP2009-539145A 光配向フィルム, 2007.5.14)
- Brightness Enhancing Film Composition, WO 2005062082 A1, 2004.11.12
- 熱硬化性接着剤組成物 (Thermosetting adhesive composition), JP2002-332465A, 2001.4.25
- Release Material, Release Material Article, and Process for Producing the Release Material Article, WO 200164805 A3, US6660354 B2, 2001.2.28
- Constraint-Type Viscoelastic Dampers, WO2001014766 A1, 2000.7.21, the lead inventor
(JP2001-82537A 拘束型粘弾性ダンパー, 1999.8.26, 第一発明者)

斜字は成立特許、太字は第一発明者

受賞(新製品開発導入):10件

- 3M Golden Step Award 2006 (TBEF II M)
- 3M Golden Step Award 2006 (BEFRP2-RC)
- 3M Golden Step Award 2006 (BEF-RP 90/24)
- 3M Golden Step Award 2005 (TBEF II T)
- 3M Pathfinder Award 2000
- 3M ASUKA Funding Program Winner 2000
- 3M Global Sales and Marketing Professionalism Award 1999 (Silicone Free Tape #4395 for HDDs)
- 3M Technical Circle of Excellence Team Award 1999
- 3M Technical Circle of Excellence Team Award 1998
- 3M Annual Event Communication Excellence Award 1998

主な外部資金研究プロジェクト

- 最先端研究開発支援プログラム サブテーマ3 リーダー(2010～2014年):プロジェクト総額42億円(うちサブテーマ3:4億9500万円)
- 研究推進センター研究助成金「ウェルネス・コミュニティ・プロジェクト」課題A 共同

研究者(2009～2010年):プロジェクト総額1500万円(うち課題A:900万円)

- 財団法人慶応工学会事業「ファイバートゥザディスプレイプロジェクト」運営副委員長(2008～2009年):プロジェクト総額2500万円
- 総務省PREDICT「サステナビリティと導入インセンティブを創発するダイナミックな管理システムに関する研究開発(095103006)」研究分担者(2009年):プロジェクト総額6500万円(うち分担分:414万円)

資格

- PMI公認PMP (Project Management Professional)

外部委員等

- 慶應義塾大学理工学部附属 フォトニクス・リサーチ・インスティテュート 副所長
- POFコンソーシアム 幹事(副会長)
- PMI日本支部 理事(教育担当)
- 社団法人レーザー学会 レーザー照明・ディスプレイ専門委員会 委員
- ICPOF (International Cooperative of Plastic Optical Fiber), International Committee Member
- POF2010, Vice Chair of Local Steering Committee
- APCOSEC2013, the International Advisory Board (IAB) Member
- ICServ2014, Program Committee Member

謝辞

本研究全般にわたり、常にビジョンと方向性を示し研究資金のサポートをいただいた、慶應義塾大学理工学部小池康博教授（慶應フォトンクス・リサーチ・インスティテュート所長）には、言葉で言い尽くせないほど感謝しております。小池先生の存在なしには、本研究を成し遂げることはできませんでした。本当にありがとうございます。

また論文作成に当たっては、慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科 小木哲朗教授、ならびにSDM研究所 日比谷孟俊顧問より、多くの時間を割いて多大なるアドバイスをいただきました。さらに、論文審査にあたり、副査としてご指導いただきました、システムデザイン・マネジメント研究科 春山真一郎教授、理工学部 西宏章准教授、医学部 今西宣晶准教授の皆様に、厚くお礼申し上げます。

本研究の多くの部分は、総合科学技術会議により制度設計された最先端研究開発支援プログラム（FIRSTプログラム）により、日本学術振興会（JSPS）を通して助成されたものです。本研究を推進するに当たって業務委託させていただきました、多くの企業の技術者、研究者の皆様のご協力がありました。すべての皆様をここにあげることはできませんが、とくに本多通信工業 吉村宏一郎氏、パナソニック株式会社 西川弘記氏、POFコネクト 高木信一氏、株式会社ネクスト 中原武志氏、そしてともにメンバーとして活動してきた近藤篤志氏、河合信幸氏、瀧塚博志氏をはじめとする慶應フォトンクス・リサーチ・インスティテュートの仲間たちに心から感謝いたします。

付録に付しましたハイビジョン遠隔診療実験の研究においては、一部、ウェルネス・コミュニティ・プロジェクトの一部として慶應義塾大学より助成されたものです。助成の外部連携先として、三井物産株式会社 松岡康之氏のご協力がありました。また実験の計画から実施までは、イーラムダネット株式会社 菅田孝之氏、アストロデザイン株式会社 水井智毅氏、ネットワンシステムズ株式会社 戸倉一氏、杉並区医師会 荒井和夫医学博士、慶應義塾大学医学部 北川雄光教授ら、多くの医師、技術者の皆様のご協力のもとに行われました。さらに第3章のレンズ式コネクタの開発は、三菱鉛筆株式会社 鈴木等氏、三井章仁氏、鳥飼俊敬氏のご協力なしには成し得ない大きな成果でした。この場を借りて深く感謝いたします。

最後に、博士論文執筆に当たって終始サポートし、完成を祈って応援してくれた妻の啓子と、息子の賢太郎、秘書の大津志麻さんに心から感謝を表します。また、研究室の学生たちにも支えられここまで来ることができました。どうもありがとうございました。

2014年2月6日 当麻 哲哉

