

ヴァーチャルリアリティ (仮想現実感) 技術の安全性に関する研究

Safety features of the virtual reality technology

研究代表者

名古屋工業大学大学院工学研究科生産システム工学専攻 教授 山口 隆美
Prof., Department of Mechanical and Systems Engineering, Nagoya Institute of Technology
TakamiYAMAGUCHI

共同研究者

東海大学開発工学部医用生体工学科 助教授 山崎 清之
Assoc. Prof., Department of Bio-Medical Engineering, School of High-Technology for Human
Welfare, Tokai University
KiyoyukiYAMAZAKI
東海大学開発工学部医用生体工学科 教授 岡本 克郎
Prof., Department of Bio-Medical Engineering, School of High-Technology for Human Welfare,
Tokai University
KaturoOKAMOTO

We have been developing the Hyper Hospital, a network based virtual reality (VR) mediated medical care system. The Hyper Hospital is composed of two seamlessly integrated environments, that is, the virtual and the real worlds. Of them, its virtual environment expands the conventional medical care system using the VR technology as a principal human interface and collaboration tool. First of all, the safety of a VR system was studied from physiological and psychological perspectives within an ergonomic framework. Two series of human studies using healthy young male subjects were conducted. They were exposed to the VR system with different intensities of physiological and psychological stimuli. None of the physiological or psychological parameters such as urinary catecholamine excretion, heart rate, or blood pressure indicated that significant fatigue occurred. This implies that the use of our VR system does not induce more fatigue than the control experiments. Based on this result, we extended the Hyper Hospital system onto a variety of computer networks. They were; the Internet (the Hyper Hospital on the WWW), the hospital information system (the Unified Medical Information System), the satellite based communication network (the Hyper Hospital on the Satellite), and the ISDN communication network (the Hyper Hospital on the ISDN). Performances of the prototypes of these extended systems were experimentally examined. It was concluded that they are suitable to the various tele-medicine and tele-care functions for the Hyper Hospital network.

1. 研究目的

我々は、医療用のヴァーチャル・リアリティ (仮想現実感-VR) システムを自主開発し、これに基づいて、電子情報ネットワーク上にVRなどをヒューマン-マシン-ヒューマン・インタフェースとして構築される新しい医療システムである、「ハイパーホスピタル (超病院)」を構想してきた。本研究は、この構想の一環として、VR技術が人に与える影響を生理学的、心理学的、衛生学的に検討し、その安全性を確立することを当初の目的とした。これは、VRが、その使用者に対し、既存のヒューマン・インタフェースよりはるかに強烈な影響を与えるので、その安全性を確立することには緊急の必要があったからである。従って、本研究では、我々が医療用に開発したVRシステムを用い、我々のこれまでの研究によって既に確立した方法、および、さらに本研究で新規に開発検討を行った方法を用いて、

健常被験者および各種疾患患者における生理学的、衛生学的および心理学的な安全性を第一に検討した。これと並行して、我々が提案してきた、ハイパーホスピタル (超病院) の実現に必要な種々のシステムおよびネットワーク基盤などのソフトウェアおよびハードウェア開発を行うこととした。

2. 研究経過

2.1 ヴァーチャルリアリティの安全性に関する研究
本研究は、主題に示されるように、本来ヴァーチャルリアリティのハードウェアの開発と、これを実際に用いた場合のヒトの生理的、心理的な反応などを検討することが目的であった。そこで、当初は、われわれが開発したヴァーチャルリアリティ装置を改良しつつ、そのヒトへの影響を測定する実験的研究を行った。この研究結果は、論文(3),(5),(6),(7)などにおいて報告した。しかし、この研究の過程において、ヴァーチャルリアリティのハードウ

エアは、その商用利用の拡大と、コンピュータの高速化とともに、急速に技術的に高度化し、また、安価となったため、極めて特殊な用途以外にはハードウェアの自主的開発試作を続ける意義が失われた。そこで、我々は、研究の方向を発展させて、仮想世界の構築、ネットワーク上での仮想世界の構成、さらに、在宅医療ネットワークへのわれわれのハイパーホスピタル（超病院）システムの拡張などに重点を移して研究を継続することとした。

2.2 ハイパーホスピタル（超病院）の展開

2.2.1 エンドユーザがダイナミックに改変可能な仮想世界構築システム

現在にいたるまで、ヴァーチャルリアリティにおいて表示され、使用者に体験される仮想世界は、その提供者、設計者によって細部にいたるまで決定され、使用者がそれを改変することは想定されていない。医療目的にヴァーチャルリアリティを応用する場合、これでは、個々の患者・障害者・要介護者ごとに大きく異なる身体的、精神的状況に対応できず、不適応によってかえって各種の心身の障害をもたらす可能性がある。そこで、われわれは、使用者がダイナミックに（使用中に、あるいは、仮想世界の中から）改変できる仮想世界構築システムを開発した。その結果は、論文(2),(4),(8),(9),(10)において報告した。

2.2.2 ハイパーホスピタル・オン・ザ・ウェブ (Hyper Hospital on the WWW)

これは、インターネット上にハイパーホスピタル（超病院）を展開するためのヒューマンインタフェースとなるものであり、WWWブラウザをインタフェースとする患者-医療システム間通信網のプロトタイプである。開発したシステムは、米国の学会の席上、日米間を結ぶインターネット上で実際に運用できることを示した。（論文(13)）。

2.2.3 単一化医療情報ネットワークの開発

ハイパーホスピタル（超病院）を現実の医療情報ネットワークに展開する目的で、病院情報システム・イントラネット上への移植を試みた。このための基礎技術として、未熟児人工保育器をモデルとし画像とアナログ情報をインターネットプロトコルで双方向に伝送するシステムを開発した。この結果は、論文(14),(21)において報告した。

2.2.4 衛星通信への展開（ハイパーホスピタル・オン・ザ・サテライト Hyper Hospital on the Satellite）

さらに、医療に必要な大量画像転送のための基礎技術として、衛星通信網へ上述の単一化医療情報ネットワークを接続する実験を行った。この目的でマルチメディア通信衛星回線を利用したネットワークを開発した。この実験結果は、論文(17),(18),(19),(20),(24),(25)において報告した。

2.2.5 ISDN 電話回線経由のテレビ会議システムを利用したネットワーク技術の医療システムへの応用（ハイパーホスピタル・オン・ザ・ISDN Hyper Hospital on the ISDN）

上述した衛星通信経由のネットワークは、大容量

のデータを受信するには最適であることが示されたが、衛星通信の地上設備のコストの制限から、一般家庭などにおいては受信設備しか現実的には利用できない。そこで、この問題を解決するために、ISDN電話回線を用いたテレビ電話を用いて、画像と、アナログ情報（心電図など）を送受信するシステムを開発した。これについては、論文(22),(25),(26)において報告した。

2.2.6 ヴァーチャルカメラオン-両眼に任意の独立の視野を与えるシステムの開発-

これらの研究の過程において、ネットワーク経由でTVカメラをコントロールするシステムの開発が必要となった。さらに、これを発展させて、ヴァーチャルリアリティ用のヘッドマウントディスプレイ(HMD)とこのTVカメラシステムを組み合わせることで、両眼に任意の独立の視野を与えるシステムを開発した。これは、ヒトでは全く実現したことのない非常に広い視野をつくり出す装置であり、その心理的、生理的影響など興味深い点が非常に多い。（論文(23)）。

3. 研究成果

3.1 ヴァーチャルリアリティの安全性に関する研究

本研究において、当初計画に盛り込まれた安全性の検討については、おおむね計画通り実施することができた。心電図、血圧、尿中カテコラミン分泌などを指標として確認された生理的な疲労は、VR使用そのものによる疲労ではなく、高ストレス性の問診やVRの中で提示される極度に高速の動画像による心理的な疲労であると考えられた。この結果から、我々のVRシステムはそれ自身では重大な身体的、精神的な影響を与えないことが確認された。以上より、ハイパーホスピタル（超病院）において、VRシステムをヒューマンインタフェースとして用いる際の安全性が確認された。

3.2 ハイパーホスピタル（超病院）の展開

3.2.1 エンドユーザがダイナミックに改変可能な仮想世界構築システム

本課題においては、UNIX上で動作するインタプリタ言語である Tcl と、仮想世界を構築するグラフィックスシステムのインタフェースを開発することにより、ダイナミックにコンテキストを変更できる仮想世界記述システムの開発に成功した。

3.2.2 ハイパーホスピタル・オン・ザ・ウェブ (Hyper Hospital on the WWW)

上記のシステムをさらに、HTML化し、そのCGIを用いて、仮想世界記述システムを移植することが可能となった。これによって、普及しつつあったWWWブラウザを用いて仮想世界にアクセスし、その構成(Look and Feel)を動作中に変更する機構が可能となった。

3.2.3 単一化医療情報ネットワークの開発

病院内の医療情報ネットワークを単一化する試みとして、未熟児人工保育器を対象とし、器内温度などのアナログデータと、児を含む内部の画像と同時に常時WWWのページ上で更新表示するシステムを

構築した。このことにより、インターネットに接続された病院内イントラネットを用いて、患者、家族・社会とのコミュニケーションを図ることが可能となると考えられた。

3.2.4 衛星通信への展開 (ハイパーホスピタル・オン・ザ・サテライト Hyper Hospital on the Satellite)

当時、NTTと東海大学とが実施していた、通信衛星経由で、インターネットプロトコルを用いて実現されたマルチメディアネットワークを利用し、これまでに開発された、我々のハイパーホスピタル (超病院) システムを移植した。このシステムは、患者が、受診した病院などの医療システムと、臨床画像データなどを参照しながら対話的に遠隔診療を受ける場合を想定して設計された。使用した衛星通信システムは、情報の流れが非対称であるという特徴があり、画像情報などの流れを考慮に入れば、今後の患者中心の遠隔医療を実現する上で有用なシステムになり得ると考えられた。

3.2.5 ISDN 電話回線経由のテレビ会議システムを利用したネットワーク技術の医療システムへの応用 (ハイパーホスピタル・オン・ザ・ISDN Hyper Hospital on the ISDN)

本研究では、ISDN回線上において動作するTV電話会議システムのアプリケーション共有機能を利用して、患者・要介護者側においては一切操作の必要がなく、生理的状態 (心電図、体温など) を遠隔モニターし、これをローカルあるいはリモートで時系列データとして蓄積するシステムのプロトタイプを実現することができた。そのユーザインタフェースの例をFig. 1に示す。

3.2.6 ヴァーチャルカメレオン-両眼に任意の独立の視野を与えるシステムの開発-

本システムでは、本研究を開始したときの初心に立ち戻ってハードウェアを含むシステム開発を行った。このシステムは、ポヒマス磁気センサーを使用して、両手の指示する任意の方向を検知し、これを追従して方向をかえるTVカメラからの画像を両眼別々に提示するシステムである。これは、いわば、ヒトに、草食動物あるいは、カメレオンのような視野を与えるものであり、個人差による慣れの程度の相違はあるが、ヒトの認識する世界を変化させることができる。これに関しては、システムを試作した段階であり、今後の認知心理学的な検討をまって、詳細を報告する予定である。

4. 今後の課題と発展

我々が、本研究を構想した1990年代はじめには、ヴァーチャルリアリティも、ネットワーク医療も、まだ実用の技術とはいえず、相当の未来に実現し得る技術課題と考えられていた。技術的開発に関して言えば、本報告書を作成している1998年においては、ヴァーチャルリアリティに関して予言されたもののかなりの部分は実現した。しかし、我々が

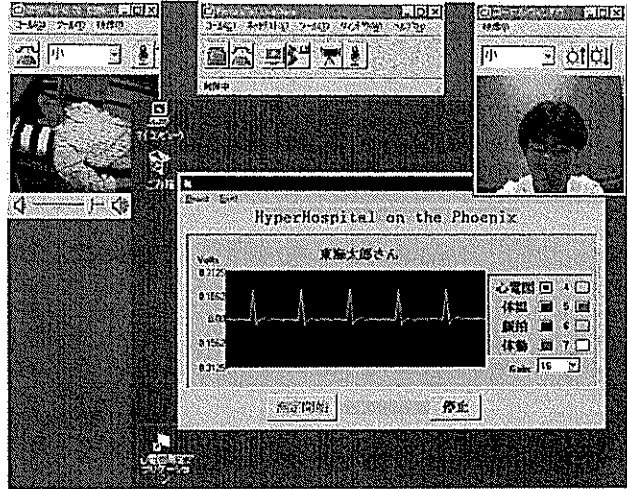


Fig.1 テレビ電話会議システムを利用した在宅患者遠隔モニターシステムのインタフェース。上左に、患者家庭を模した実験サイト、上右に医療施設を模したサイト、下中央に、心電図などアナログデータの表示ウィンドウを示す。

一貫して問題としてきた「ヴァーチャルリアリティは”人間中心”であり得るか」という疑問は、取り残されたままである。ヴァーチャルリアリティは、ゲームあるいは設計・プロトotypingなど、直接の利潤が見込まれる分野において飛躍的な発展を遂げたが、非営利的あるいは投資効率の低い分野での応用は極めて遅れていると言わざるを得ない。

来る21世紀において、我が国社会が迎える超高齢化に対して、老人など要介護者への社会的サポートの問題は極めて重要である。これに対し、テクノロジーの分野においても従来の技術開発とは異なった根本的な取り組みが必要となっている。この意味で、日産財団の援助をうけて行ったわれわれの基礎的な技術開発が新しい医療システムの構築に幾分なりとも寄与できることを期待し、また、我々自身の今後の研究においても、これを基盤として、より患者・要介護者の立場にたった技術開発を継続して実施することとしたい。

終わりにあたり、本研究を可能とした三年間にわたる日産科学振興財団の援助に心より感謝する。

5. 主要な発表論文

- (1) 山口隆美, ハイパーホスピタル(超病院)の研究, パイオニアダストリー, 12(2)5-14, 1995
- (2) 中西裕二, 早坂智明, 山口隆美, ハイパーホスピタル (超病院) のための, エンドユーザ (患者) が構成を自由に変更できる仮想世界構築システムの概念と実装例, Human Interface News and Report, 10(2)233-240, 1995
- (3) 中山哲也, 忠津聡, 杉岡由喜子, 古田展康, 新藤邦元, 小林拓史, 高橋裕一, 日下優子, 後藤源太, 須藤三徳, 山本康人, 山岡徳光, 早坂智明, 中西裕二, 山崎清之, 山口隆美, 人工現実感がもたらす生理的疲労の定

- 量的検討—コントロール研究—, Human Interface News and Report, 10(2)241-248, 1995
- (4) 中西裕二, 早坂智明, 山口隆美, ハイパーホスピタル(超病院)のための, エンドユーザ(患者)が構成を自由に変更できる仮想世界構築システムの概念と実装例, 電子情報通信学会技術研究報告, 95(83)23-30, 1995
- (5) 中山哲也, 忠津聡, 杉岡由喜子, 古田展康, 新藤邦元, 小林拓史, 高橋裕一, 日下優子, 後藤源太, 須藤三徳, 山本康人, 山岡徳光, 早坂智明, 中西裕二, 山崎清之, 山口隆美, 人工現実感をもたらす生理的疲労の定量的検討—コントロール研究—, 電子情報通信学会技術研究報告, 95(83)31-38, 1995
- (6) 忠津聡, 杉岡由喜子, 古田展康, 新藤邦元, 小林拓史, 高橋裕一, 日下優子, 中山哲也, 後藤源太, 須藤三徳, 山本康人, 山岡徳光, 早坂智明, 中西裕二, 山崎清之, 山口隆美, 仮想現実システムにおける作業負荷の生理学のおよび生化学的影響に関する検討, Journal of Advanced Science, 7(2)71-78, 1995
- (7) Y.Sugioka, S.Tadatsu, T.Nakayama, Y.Yamamoto, T.Kobayashi, Y.Takahashi, N.Yamaoka, Y.Nakanishi, T.Hayasaka, G.Goto, M.Sudo, Y.Kusaka, N.Furuta, K.Shindo, K.Yamazaki and T.Yamaguchi, Evaluation of the Safety Features of a Virtual Reality System, Symbiosis of Human and Artifact, (Eds.) Y.Anzai, K.Ogawa, and H.Mori, Elsevier Science B.V., Amsterdam, pp. 447-452, 1995
- (8) T.Yamaguchi and K.Yamazaki, Virtual Reality Technology as Human Interface to Networked Medical System—Its general construction, user reconfigurable design, new cybernetic interface, feasibility, and safety features, Symbiosis of Human and Artifact, (Eds.) Y.Anzai, K.Ogawa, and H.Mori, Elsevier Science B.V., Amsterdam, pp. 605-610, 1995
- (9) T.Hayasaka, Y.Nakanishi and T.Yamaguchi, An Interactively Configurable Virtual World System, IEICE Transactions on Communications, E78-B(7)963-969, 1995
- (10) 山岡徳光, 中西裕二, 早坂智明, 山口隆美, 仮想現実感を用いた医療システム—ハイパーホスピタル(超病院)—コンセプトと患者が構成を変化させることができる仮想世界の構築, 日本機械学会第4回バイオエンジニアリングシンポジウム講演論文集, 日本機械学会, 東京, 95-26:201-202, 1995
- (11) 山口隆美, ハイパーホスピタル(超病院)ヴァーチャル・リアリティによる医療の転換, 新医療, 22(10)37-40, 1995
- (12) 山口隆美, ハイパーホスピタル(超病院), BME(日本ME学会雑誌), 9(11)29-35, 1995
- (13) T.Yamaguchi and K.Yamazaki, The Hyper Hospital Virtual Reality—Mediated Networked Medical Care System, Technology and Informatics, Health Care in the Information Age, Future Tools for Transforming Medicine, (Eds.) S.J.Weghorst, H.B.Sieburg, K.S.Morgan, IOS Press, Amsterdam, pp. 220-238, 1996
- (14) 岩本和久, 白谷篤史, 加藤正和, 中西裕二, 小林拓史, 山岡徳光, 早坂智明, 後藤源太, 中山哲也, 山口隆美, ハイパーホスピタル(超病院)—仮想空間と現実空間にわたる医療システム—のための単一化医療情報ネットワーク, Human Interface News and Report, 11(2)261-266, 1996
- (15) 山口隆美, ハイパーホスピタル(超病院)を提案する, ばんぼう, 183:74-77, 1996
- (16) T.Yamaguchi, Y.Nakanishi and K.Yamazaki, The Hyper Hospital: Virtual Reality Mediated Network Based Medical Care, 1996 Advances in Bioengineering, S.Rastegar, ASME, New York, BED—Vol. 33:443-444, 1996
- (17) 日下優子, 山本康人, 小林拓史, 中西裕二, 上野貴司, 山口隆美, 通信衛星回線経由のインターネット上での遠隔医療のための基礎的研究—ハイパーホスピタル・オン・ザ・サテライト—, 医用電子と生体工学, 35(1)100-106, 1997
- (18) 上野貴司, 山本康人, 小林拓史, 後藤源太, 中西裕二, 日下優子, 加藤正和, 白谷篤史, 岩本和久, 山田総一郎, 上田陽子, 山口隆美, 衛星回線経由のインターネット上でのハイパーホスピタル(超病院)の構築, Human Interface News and Report, 12(2)207-210, 1997
- (19) 山口隆美, 上野貴司, 山本康人, 小林拓史, 後藤源太, 中西裕二, 日下優子, 加藤正和, 白谷篤史, 岩本和久, 山田総一郎, 上田陽子, 衛星回線経由のインターネット上でのハイパーホスピタル(超病院)の構築—提案と予備的検討—, 電子情報通信学会技術研究報告, 97(85)89-92, 1997
- (20) T.Yamaguchi, Performance tests of a satellite-based asymmetric communication network for the 'Hyper Hospital', Journal of Telemedicine and Telecare, 3(1)78-82, 1997
- (21) 後藤源太, 中西裕二, 山口隆美, インターネット上で情報を発信する人工保育器—ハイパーインキュベータ(超保育器)—, 医用電子と生体工学, 35(3)325-328, 1997
- (22) 山口隆美, ハイパーホスピタル—マルチメディア情報通信ネットワークに展開される新しい医療システムの提案—, 画像ラボ, 9(2)13-16, 1998
- (23) 岩本和久, 山口隆美, パーチャルカメレオン—両眼に任意の独立の視野を与えるシステムの開発—, 画像ラボ, 9(3)10-12, 1998
- (24) 山口隆美, 山崎清之, マルチメディア衛星情報通信ネットワークに新しい在宅医療システムを展開する, 在宅医療, 5(1)41-45, 1998
- (25) 山口隆美, 仮想現実をインタフェイスとして, マルチメディア通信網に展開される遠隔医療システム, 医療とコンピュータ, 9(7)7-11, 1998
- (26) 上野貴司, 山口隆美, ISDN回線とテレビ会議技術を用いた在宅患者モニタリングシステムの試作, 医用電子と生体工学, 36(3)印刷中, 1998