

‰ 1. @ @ Ì
f 0 • [f ` f ff f Š f Š f B

早稲田大学理工学総合研究センター
音環境研究室 教授

山崎 芳 男

蓄音機はVRを

目指していた

最近バーチャルリアリティ (VR) という言葉を頻繁に耳にするようになったが, VRの的確な日本語訳は非常に難しい。仮想現実感あるいは人工現実感という訳はバーチャルリアリティを必ずしも的確に捉えていないのではないか。

レコード再生装置は古くは蓄音機と呼ばれ, 文字どおり音を蓄えることを目的としていた。昭和初期は単にポータブルといえは蓄音機のことであったように, 1950年代はハイファイ (HiFi) がレコード再生装置の, あるいは高級ラジオの呼称として定着していた。HiFiはHigh - Fidelity (高忠実度) の略であって, 何に対して忠実かは多少議論があるが, 演奏会場の音をそのまま自宅に持ち込もうという願望の込められた的確な呼称である。

1958年に45 / 45ステレオレコードが登場すると立体音響時代を迎え, HiFiステレオ, ステレオが音響再生装置の一般名称になったことはよくご存じの通りである。1982年CDが登場しSP, LPと続いたアナログディスク時代は終わり, デジタルオーディオ時代を迎えた。

ステレオの登場とともに臨場感という言葉が盛んに使われはじめた。この臨場感こそVRを最も

的確に捉えた日本語表現と言えるのではないか。レコードの歴史はまさにバーチャルリアリティ (VR) を追求してきたとみることができよう。

電話

テレグジスタンス

電話もまたその原語Telephoneが示すとおりVRのテレグジスタンス (tele - existence) を志向したシステムであることは間違いない。現在の電話の通話品質は決して高いものではないが, 電話を多くの人々がVRと意識するかいなかは別として, 自然にテレグジスタンスの道具として利用している。

ところで人間の耳が2つあることに着目した電話回線を使った遠距離立体音響再生, すなわち音場の移動に関する研究はアメリカのベル研究所を中心に1920年代から既に始められていた。1933年4月27日, ワシントンとフィラデルフィア間を電話線で結んでストコフスキー指揮フィラデルフィア交響楽団の演奏などを使った有名な3次元立体音響の実験が音響・物理学者らによって行われた。この実験によりステレオ再生やバーチャルリアリティに通じる数々の貴重な成果が得られている⁽¹⁾。

日本においても伊藤 毅, 牧田康雄らにより立

体再生の詳細な理論検討や実験が行われている⁽²⁾⁽³⁾。当時の立体音響再生が目的としていたものは、音響空間の時間・空間の移動技術、すなわちVRそのものといえる。

放送 立体音楽堂と イブニングステレオ

放送における立体音響再生の歴史も古く、アメリカでは日本で放送が開始された1925年にコネチカット州ニューヘブンにおいてAM放送2局による実験放送が行われた記録がある。

日本でも1952年12月5、6、7日の3日間、通常放送の終了後、ラジオNHK東京第1、第2放送を使ってステレオの試験放送が行われた。翌年から全国ネットの実験が何度か行われ、1954年4月から日曜昼の定時番組に「立体音楽堂」が登場した。さらにFENを含めた3チャンネルステレオの実験すら行われている。

また1954年には東京の民放3局、ラジオ東京、文化放送、ニッポン放送による3次元ステレオの実験が行われた。その後、東京、大阪、福岡、札幌などで民間放送によるステレオの定時番組も定着した。東京地区では1958年9月から文化放送

とニッポン放送によるイブニングステレオは、平日の夕刻、毎日15分ずつ放送されていた。家庭用音響再生装置にはAMラジオが2組組み込まれるという時代が数年続いた。

1957年に登場するいわゆる45 / 45方式の一本溝ステレオレコードの登場で、ステレオはオーディオの中心的存在となる。

FMステレオ放送の本格化とともにラジオ放送のステレオはFMに移行した。

1波によるAMステレオ放送についてもアメリカでは古くから研究が行われていた。日本でも1962年にTBSに実験局の免許がおりて実験放送を行った。その後、紆余曲折があり1991年AMステレオ放送が開始されたが、今となっては2波によるAMステレオ放送をご存じの方はほとんどいないのではないかと。

一方、テレビジョンの音声多重放送も1960年代から研究が行われ、1982年12月7日から本放送が開始され、現在ではほとんどの局がステレオ化されている。また1984年5月12日から直接衛星放送DBS (Direct Broadcasting Satellite) の実験放送が開始された。DBSの音声放送はA B2モードあり、両モードともデジタル放送であるが、Bモードでは2チャンネル、Aモードでは

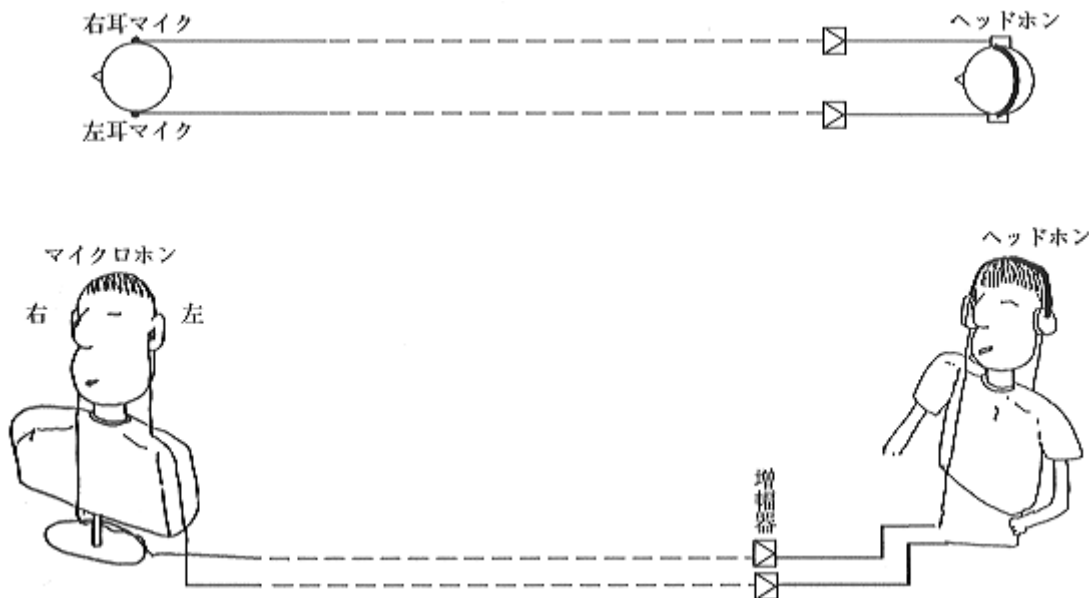


図1 バイノーラルシステム

4チャンネルステレオ放送が可能である。

ウォークマンとHMD

ヘッドホンステレオ、ウォークマンの登場によりヘッドホン受聴が一般的なものとなった。私自身はウォークマンが登場した時点では、まさかこのように普及するものとは夢にも思わなかった。

ヘッドホンは元来聴取者に負担を強いるものである。特に専らヘッドホン(当時はレシーバと呼ばれていたが)受聴であった鉱石ラジオ時代にも、能率の悪いマグネチックレシーバを茶碗あるいは井の底に置いて耳を近づけて聞こうとしたように、レシーバから解放されて音を聞こうとする涙ぐましい試みが真剣に行われていた。レシーバ受聴からの解放がラジオ受信機の初期の大きな課題であった。これは真空管の登場とともに一応解決をみたもので、よもやこれが再びヘッドホン受聴に戻るとは想像だにできなかった。

バーチャルリアリティの視覚の世界ではHMD(ヘッドマウントディスプレイ)からの解放、H

MDなしのVRというものに向けていろいろな試みがなされているが、案外装着感のない負担の少ないHMDが登場すれば、眼鏡をかける感覚で実際の景色をみながらHMDをかけて街中を歩いているという光景が出現するかもしれない。

パイノーラルシステム

人間はたった2つの耳で様々な方向から来る音を聞き分けている。図1に示すように原音場において実際の人間あるいはダミーヘッドHATS(Head and Torso Simulator)と呼ばれる擬似頭や、人間の上半身を模した人形の耳の位置に2つのマイクロホンを設置して2チャンネル収録を行い、2チャンネルヘッドホンを用いて聴取すると、原音場にいるのと同じように感じる。これをパイノーラルシステムと呼ぶ。

このパイノーラルシステムでは、ダミーヘッドと受聴者の頭が等価であれば正確な音場の再現が可能である。ヘッドホンの振動板と鼓膜による反射の問題、装着がうっとうしい等の問題はあるが、

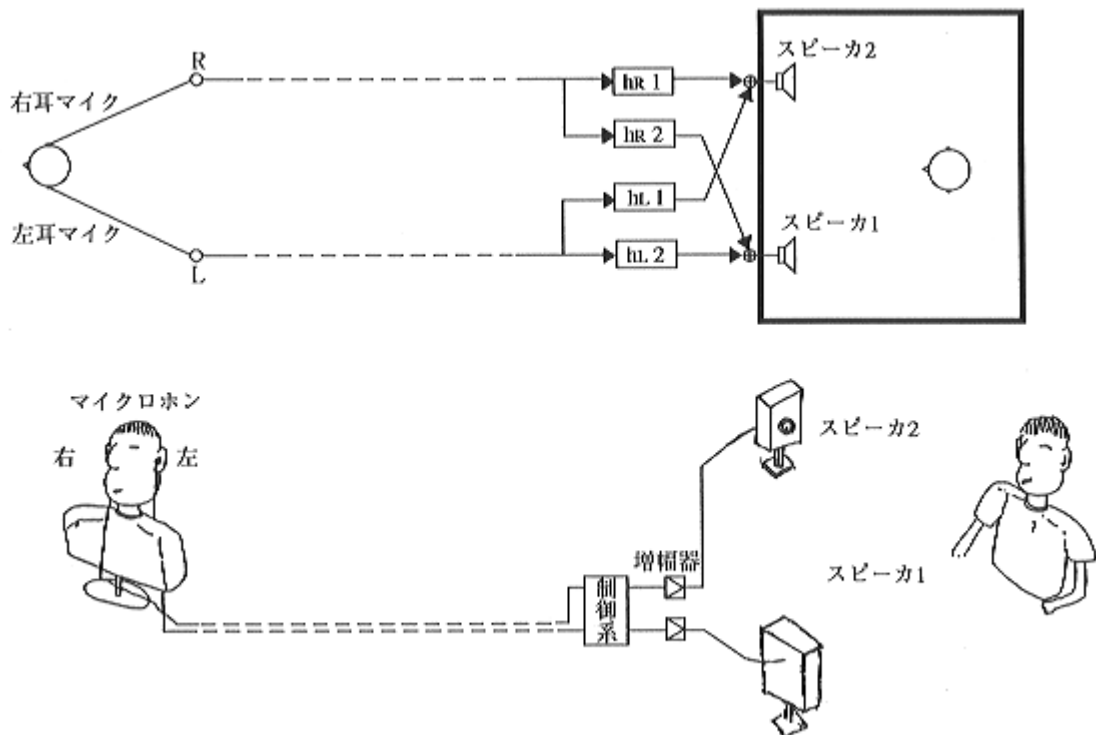


図2 トランスオーラルシステム

自分とそっくりな胸部から頭部を作り、自分の動きに合わせて動く装置を作れば、少なくとも音に関しては現場に居るのと同じ感覚を感ずる事ができるはずである。

現行のCD等のステレオ音楽のほとんどすべてがスピーカ受聴を前提として作られているが、これだけヘッドホンステレオが普及している現状を考えると、ヘッドホン受聴を対象としたパイノール録音のソフトウェアがもっと作られてもよいのではないか。

トランスオーラルシステム

前項のパイノールシステムにおいて、ヘッドホン受聴をスピーカ再生に置き換えたものがトランスオーラルシステムである。パイノールシステムのダミーヘッド等で集録された音をそのまま2つのスピーカから再生したのでは、左耳のみに与えるべき音が右耳にも、右耳への音が左耳にも聴こえてしまう。そこで図2に示すようにスピーカに与える信号に制御系を設け、このクロストーク分をキャンセルすることにより厳密な音場の再現が可能である。再生音場の響きが少ない場合に

はM. R. Schroeder や三浦種敏、浜田晴夫、岡部 肇らが提唱しているように、2つのスピーカでトランスオーラルシステムの実現が可能である⁽⁴⁾。

さらに部屋に響きがあっても、実現可能な逆フィルタシステムMINT (Multiple-input / output Inverse Theorem) をNTTの金田 豊、三好正人らが提案している⁽⁵⁾。この方法では図3に示すように3制御系にすることにより正確な制御が可能である。一般に $n+1$ 個の制御系を設けることにより、響きのある部屋の n 点を精度よく制御することが可能である。

キルヒホッフの

積分公式に基づく制御

前項のトランスオーラル系で、スピーカ再生で正確な音場の再現が可能であるが、音場が再現されるのはその人の耳の位置だけであるから、頭を動かすと制御系は崩れてしまう。動きを許容するには、その動きを検出してそれに応じて伝送系を変化させなければならない。さらに部屋の音響条件、窓が開いたり、戸が閉まったり、あるいは人

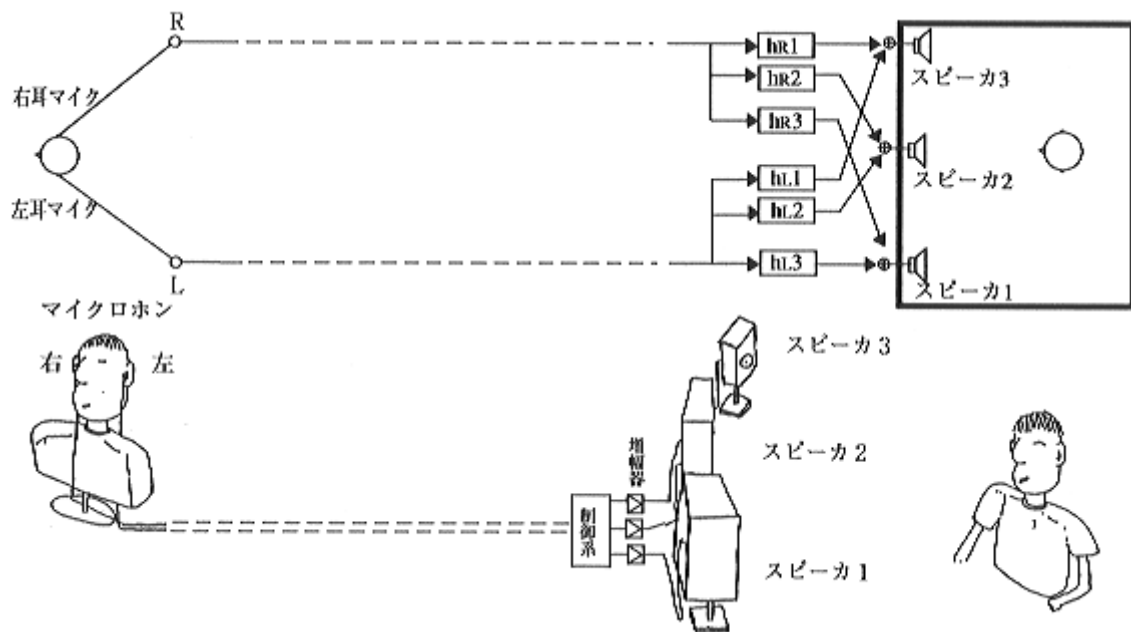


図3 MINT法による響きのある部屋でのトランスオーラルシステム

間の数が変わったり 家具の配置が変わったりすればそれに適応して制御しなければならない。これは現実には大変難しい。

ところでキルヒホッフの積分公式によれば、ある閉曲面内に音源が無い場合、すなわちホールで音楽を聞くようなモデルに対しては、原理的には閉曲面の表面の音圧と法線方向の粒子速度を目的の音場のそれと一致させることにより目的の音場と同じ音場が得られることが知られている。この境界面の条件を揃える方法により音だけでなく光熱、風等についてもVRを実現することができる。

ただし音波の波長と人間の可聴領域とを考えると、制御点すなわちマイクロホンやスピーカを境界面上1～2cmの間隔で網羅して制御する必要があり、現段階の技術では実現不可能である。ただこの方法は頭の回転や体の移動も可能な音場を作り出すことができるという将来の可能性を持つ方法である。現段階ではこのスピーカの数ある程度減らして、どこまでにするかという研究も幾つかなされている⁶⁾。また多数のスピーカを使って波面を原音場と一致させるというような研究も試みられている。

さらにこの方法では、必ずしも閉曲面上にスピーカを置かなくても、前述のMINT等の手法を利用して閉曲面境界面にはセンサであるマイクロホンのみを置き、スピーカを離れた位置において実現する方法もある。

前より後ろの音に敏感

人間にとって当然視覚が非常に重要な情報摂取手段である。しかし目で捉えられる範囲は前方に限られ、それ程広いものではない。したがって人間は元来後ろからの情報は、多くは聴覚、気配というものに頼っている。実際聴覚は後ろに対して驚くほど鋭い識別能力を持っている。音のバーチャルリアリティの実現においては後ろからの情報が大切であるということを常に認識する必要がある。

我々が行った前述のキルヒホッフの積分公式に基づく実験においても、制御点の数と同じ場合、その配置は常に前方よりも後ろの数が多い場合に自然に感ずるという結果が得られている。実際こ

れは簡単な定位の実験をすれば明らかである。すなわち眼をつぶって前方に人が立ってしゃべった場合、定位は比較的曖昧であるが、後ろの方で人間に喋ってもらえば非常に的確に位置や距離を判断できる。

いずれにしても人間はたった2つの耳で様々な方向から来る音を聞き分けている。信じられないことであり、また数学的にもあり得ないことであるが、片耳でも慣れればかなり正確な定位が可能である。これは長い経験で人間が方向別の伝送特性を正確に記憶しているからであろう。人間のセンサの能力は驚くべきものである。

片目・片耳でVR実現

視覚のVRは一般にHMDや偏光眼鏡等を使った2眼視で行われているが、1987年9月のテレビジョン学会誌に、木内雄二先生のテレビジョンを片目で見れば自然で臨場感があるという大変興味深い寄稿があった⁷⁾。実際、実験してみるとわかるが、ある大きさのTV画面や写真を片目で見ると非常にリアルである。これは一台のカメラで撮ったものを両目で見るから無理があるのであって、片目で見れば非常に自然であるという理にかなったものである。

耳についても前述のように片耳でもかなりの情報を得ることができる。案外割り切って通常の画面とモノラル收音ソースにより片目片耳で実用上十分なVRが実現できるかもしれない。この場合HMDは片目、片耳を覆うだけの簡単な道具ですむことになる。実際オーディオマニアのなかにはモノラルレコードあるいはパイノーラル再生しか聴かない人もいるくらいである。

完成前のホールの音を聴く

VRは時間・空間の移動技術である。時間の移動としては、古代都市の景観やそこでの人々の生活をVRで体験することもできるし、逆に未来を体験することもできる。例えばコンサートホールやオペラハウスの設計、コンピュータや縮尺模型により完成時の姿や音を体験することも可能である。

現在、東京都世田谷区に建設中の世田谷文化生活センター(仮称)内の劇場の音響設計にこの手法が導入された。施主、建築設計者、音響プロデューサー、男女俳優が参加して舞台上での発声のしやすさ、客席での音の響きや明瞭度を検討して音を決め、これに基づき室形状や音響材料の選定等の音響設計を実施した⁽⁸⁾。そうならないことを望んではいないが、関係者一同、もし完成時の音が設計時と異なっていれば工事の手直しも辞さないという意気込みでいる。

ソフトウェアの産直

映画やテレビの映像には監督やプロデューサーなどの制作者の意思が反映されており、それが価値をもっているのに対して、VRはむしろ監督やプロデューサーなどの意思ではなく、自分の意思で見たいものを見、聴きたいものを聴くことに意味があるといえるのではないか。

いわば仲買人は不要のソフトウェアの産地直送である。

著作権等の問題は別として、例えばオペラハウスの何か所かにオペラグラスのようなビデオカメラとマイクノール收音装置を設置すれば、オペラハウスの好きな席でオペラグラスを通して鑑賞するのとほぼ同等の体験をすることは現在の技術でも十分可能である。

動物園や植物園は不要？

ユネスコは世界遺産条約に基づいて、現在94カ国411カ所を遺産リストに指定している。日本でも1993年、姫路城と法隆寺地域の仏教建造物が文化遺産に、屋久島と白神山地が自然遺産に登録された。遺産指定によって、特に自然遺産は人が押し寄せて破壊されるといった新たな懸念も生じている。そこで遺産の自然や景観を損なわない範囲で、カメラ・マイクロホンを設置することにより電話や衛星回線を通して、いながらにして遺跡や動植物の観察が可能となる。著者らはユネスコや各国の大学、研究機関と協力してVRによる世界遺産の体験システムの構築の検討を始めて

いる。

世界遺産に限らず、例えばシャンゼリゼや銀座通り、世界各地の海岸やスキー場、幹線道路や鉄道の駅等を結ぶネットワークを構築すれば、各種の情報サービスに頼ることなく、自分の目と耳での確かな情報を把握することが可能となる。

参考文献

- (1) "Symposium on Wire Transmission of Symphony Music and its Reproduction in Auditory Perspective", E. E., Vol. 53 (1934).
H. Fletcher, "Basic Requirement", pp. 9 - 11.
J. C. Steinberg and W. Snow, "Physical Factors", pp. 12 - 17.
E. C. Wente and A. L. Thuras, "Loudspeakers and Microphones", pp. 17 - 24.
E. O. Scriven, "Amplifiers", pp. 25 - 28.
H. F. Afel, R. W. Chesnut and R. F. Mills, "Transmission Lines", pp. 28 - 32.
E. H. Bedell and I. Kerney, "System Adaptation", pp. 216 - 219.
- (2) 伊藤 毅, 音響工学原論(下), コロナ社.
- (3) Y. MAKITA, "On the Direction Localization of sound in a Stereophonic Sound Field", "European Broadcasting Union Review", 37 A, pp. 102 - 108, June, 1962.
- (4) 浜田, "基準的集音・再生を目的とする Orthstereophonic Systemの構成", 音響学会誌, 39, pp. 337 - 348 (1983).
- (5) 三好, 金田, "音場の逆フィルタ処理に基づく能動騒音制御", 音響学会誌, 46 (1990).
- (6) 白石, 鮫島, 伊勢, 山崎, 松村, "キルヒホッフ積分公式に基づいた頭部周辺の音場制御", 音講論集, pp. 465 - 466 (1994. 3).
- (7) 本内雄二, "テレビ画像の立体感を強める方法", テレビジョン学会誌, 41, pp. 834 - 835 (1987).
- (8) 高林, 大野, 中江, 清山, 山崎, 伊藤, "実時間たたみ込み装置による音場制御", 音講論集, pp. 385 - 386 (1983. 3).