

# ラク楽実践 VR

## - 手と足と頭を使え！ VR システムの作り方 -

かれこれ18年ほど前、私が研究者として研究室に配属された時、最初に先生から世の中にはこんなモノがあると紹介された力覚提示システムが SPIDAR でした。当時は色眼鏡で立体表示を行っていたバージョンも、長年の研究を経て、今では製品として入手可能なバージョンに成熟しています。

今回のラク楽では、その SPIDAR の開発の歴史をゲストエディタの長谷川さんにいつもの論文とは一風変わった側面から、某番組風に思いっきり語っていただきました。論文としては表に出にくいシステム開発のノウハウの一端を感じて頂けることと思います。

また、SHOP 情報では筑波地区の VR 研究の要、いや、日本の VR の資材面を支えている秘密をゲストエディタの矢野さんにご紹介いただきます。 野間春生(ATR)

### 第4回 SPIDAR 製作の歴史 - どこにでもあるプロジェクト X -

長谷川晶一（東京工業大学）

連載の名前はラク楽実践 VR だが、VR の研究にとってシステム構築は要だと思し、新しいシステムを作るのは大変なことではなかなか楽々とは行かないと思う。筆者は1996年から力覚インタフェース SPIDAR の製作をしてきたが、ここ数年やってきたことは、大変なシステム構築を如何に楽に済ませるかということだった。そこで本稿では、初期のシステムを苦労して作った先人達の話を含めて、SPIDAR 開発の歴史と現在について書く。

#### SPIDAR 創成期

SPIDAR の原型は、学祭の出し物として1988年に作られたビリヤードシステムだった。ビリヤードの球が糸につながっていて、キューで球を突くとその力に応じて画面の中で球が動いた。当時学生だった平田幸広（現諏訪東京理科大学講師）が中心となって開発した。

このボールが指輪に変わり、力覚を提示するためにブレーキで糸を止められるようにしたものが最初の SPIDAR だった。最初の SPIDAR にはモータは使用しておらず、ブレーキにはリレーを使用していた。制御には NEC の PC98 を使用しており、制御回路は PC98 の C バス用の専用ボードを外注していた。



平田らが作ったビリヤードゲーム

#### SPIDAR 発展期

石井雅博（現富山大助教授）が博士課程で研究室に入った当時、SPIDAR は制御周期が遅くモータも非力で満足な力覚が出せるものではなかった。石井は制御回路、モータ、糸、指輪などの SPIDAR のコンポーネントを徹底的に調べ上げ、最良のものに置き換えていくという仕事を進めた。制御回路やモータについては、カタログの収集からはじめた。石井は、雑誌「トランジスタ技術」「インターフェース」の広告を頼りに、片っ端からカタログを集めた。その中から書類選考をし、これほど思った数点についてはサンプルを請求した。こんなとき大学の研究室という肩書きは役立つ。どここの会社も比較的好意的にカタログやサンプルを送ってくれた。趣味の世界ではなかなかこうはいかない。糸

の選定には苦勞した。服飾用の糸だけならばカタログもあるが、糸の種類は多岐にわたり調べようがなかった。石井は研究者だけを結んでいた時代のインターネットニュース(仮\*)で聞いたり、街に出て様々な糸を買い集めたりした。集めた糸はすべて1mの長さに切りそろえ、バネばかりで引いて弾性率を調べた。こうして、釣り糸のなかでも特に感度の高いPEラインが選定された。指にはめるリングもこうして選ばれたものの一つだ。石井は指輪に始めて、ゴムバンド、マジックテープ、裁縫用の指貫と街にある指に嵌められる物を片っ端から試していった。こうして、ギターのピックが選定された。モータは指1本が出せる力とトルクリップルが少なく軽く回るという条件から選定した。カタログから Maxon, Escap, Faulhaber に絞り、各社の日本の営業に電話をして Maxon に決めた。ただし、1個4万円近くしたため購入がためらわれていた。ちょうどそのころ、それまで使用していたコパルのモータが製造中止となり、Maxon モータの導入が決まった。制御回路は、広告を見ていると汎用品でも作れることが分かってきた。当時はFAが小さな工場にも広がってきたころであり、汎用のカウンタやD/Aボードが製品化されていた。一般に汎用品は量産効果でコストが低く信頼性が高い。汎用品が使えるなら使うに越したことはない。こうして石井はVMEバスと数枚の汎用ボードから、高性能なSPIDARシステムを構築した。

しかしそれでもシャープな力覚は実現できなかった。計算に時間がかかり1kHzの制御ループが実現できていなかったのだ。最後に必要だったものは当時の最高速のPC9801RAだった。当時、制御用に高価なPCが必要だとは誰も思っていなかった。高速PCの必要性を説き続けた石井は年度末にやっと手にしたRAで1kHzの制御を実現した。



石井が残したSPIDAR、現存しない。  
写真左がEvans&Sutherland、右がVMEバス。



佐藤研に残るガラクダ類。今でも街に出る前にまずこの棚を探す。

### SPIDAR 応用期

1996年、研究室には石井が残した等身大のSPIDARシステムがあった。Evans&SutherlandのグラフィックスアクセラレータにSunのワークステーション、VMEバスにIBM PC、実験用電源とモータドライバという複雑な構成だった。これでバスケットボールのゲームをつくりSIGGRAPH97のEmerging technologiesで展示するという。徹底した小型化が必要だった。

回路設計は当時M1の圓道知博(現名古屋大学助手)が行った。圓道はPC単体で動作するようISAバスでシステムを組んだ。またサンハヤトの感光基板を使って手作りの小型モータドライバを製作した。圓道は石井の残した論文とソースから、SPIDARの制御ソフトとデモ用のソフトを作った。

グラフィックスは筆者の担当だった。当時出回り始めたばかりの廉価版グラフィックAPI DirectX3を使った。バグのたびに再起動を余儀なくされるWindows95に手を焼きながらグラフィックスサーバを完成させた。2台のPCはTCP/IPで結ばれゲームになった。本当に楽しめるものに仕上がった。

### SPIDAR 量産期

圓道の作ったドライバはコンパクトで十分な性能を持っていた。しかし、困ったことが起きた。世の中からISAバスが消えたのだ。インテルはPCIという新規バスで統一すると言う。もう一つ信頼性の問題があった。たくさんのデモをこなすにはたくさんのSPIDARが必要になる。筆者は毎年新入生に自分用のドライバを作らせたが完成率が低かった。一度動いてもデモ会場までの輸送に耐えないものばかりだった。

研究室はついにSPIDARドライバの完全外注化を決断した。最初の外注先はサーボモータのプロで得意のPWM制御に電流制御を組み込んだ回路を作った。

Maxon のモータはインダクタンスが小さく PWM 制御は難しかったのだが、プロの意地で改修を重ねたドライバが完成した。安心して使えるドライバだった。ただし性能は出なかった。利便性のため USB を採用しており、これがネックになった。USB1.1 は行きに 1ms, 切替に 1ms, 帰りに 1ms, 切替に 1ms で計 4ms を必要とする。力覚に必要な 1kHz の制御が実現できず、石井や圓道のドライバには遠く及ばなかった。

USB2.0 を用いた高速ドライバの構想はこの直後に始まった。新たな外注先のベンチャーが 2kHz で通信ができることを確認した。これはいける。今回は性能を追及して回路もアナログに戻した。

このとき筆者は二つのシステムを考えていた。単純に USB2.0 でモータを駆動する基本版とドライバ側が高性能プロセッサを持つインテリジェント版である。基

本版では、筆者はアナログの回路図と予備 I/O だけを指示して他は外注先に任せた。基本版は予定通り完成し 1kHz SPIDAR の量産体勢が整備された。いつデモがあっても SPIDAR が動くようになった。

しかし、筆者は満足していなかった。ドライバ側で制御ループを回せば、超高精度の力覚提示ができると信じていた。今度はたくさん注文をつけた。SH4 CPU を使用し D/A, カウンタに加え A/D も乗せる。しかも基板のサイズは従来どおり。入りきらないので基板を 2 枚に分けたいという提案にも食い下がった。基板面積の小さな D/A, A/D の選定, アナログ専用電源の省略, 基板裏表の入れ替えなど変更に変更を重ね、2 年の歳月をかけて回路が完成した。さらに当時 M2 の赤羽克人 (現 D1) が仕様不明確なハードと戦いながらファームを作成し、ついに 10kHz SPIDAR が完成した。

## ラク楽実践 VR 第 3 回 コラム

### お役立ち SHOP 情報 (茨城・つくば)



#### ジョイフル本田荒川沖店

所在地：〒300-1176 茨城県土浦市荒川沖 1-30

<http://www.joyfulhonda.com/>

VR システムは、電子部品の他に、人間で言えば体にあたるフレームや機械部品やその他周辺機材も重要な要素である。この手のものは、商社や通販などから調達することが多いが、「今すぐあの部品が必要」となったときに頼りになるのは、地元のホームセンターである。つくば地区での VR システム開発は、「ジョイ本」こと「ジョイフル本田」の存在を抜きには語れないといっても過言ではない。

ジョイフル本田は関東一円に展開しているホームセンターで、つくばにあるジョイフル本田荒川沖店は、広さが実に東京ドームの 2.2 倍、2000 台の駐車場を擁する超大型店舗 (これでもグループ内では中堅程度とか) である。日用品、収納用品、農業資材、木材、薬品、インテリア、エクステリア、ガーデニング、アンティーク、画材など「ここになければ諦める」とお客様に言われるほどになった」という宣伝文句も大げさではないほどの品揃えである。

著者らが研究で開発したシステムには最低 1 つはジョイ本で購入した部品が使われている。一番多いのはイレクター (プラスチックコーティングした鉄パイプを組み合わせて自由にフレームが作れるもの) で手軽にフレームが作れるので大変重宝している。さらにねじや木材、ちょっとした信号ケーブルや針金、塗料はもちろんのこと、本来の用途は不明な発砲スチロール製小型球面スクリーン、砂利や植物などジオラマ用素材、果てはペットセンターで金魚や熱帯魚、ウサギも入手し、ビデオコンテンツのキャラクタとして都内某美術館で公開されていた (生き物のその後の世話でも利用させてもらっている)。

ジョイフル本田は広い敷地にあらゆる生活必需品を集めたその品揃えもさることながら、行けば何とかかなりそう、何とかならなくてもあきらめがつく (?) ような不思議な雰囲気がある。休日など暇があると用もないのに行ってしまうと欲するものは著者だけではあるまい。そうでない人もたまにはお近くのホームセンターに足を運んでみてはいかがだろうか。

矢野博明 (筑波大学)