

業務用ビデオゲーム表示技術の変遷

— テレビ受像機への描画からリアルタイムグラフィクスへ —

三部 幸治

1970年代に本格化した業務用ビデオゲームは、さまざまな画像表示手法が投入され独自の進化をしてきた。「TTLロジック」による手法に始まり、「ビットマップ表示方式」によるスペースインベーダーの大ヒットを経て、業務用ゲーム独自の「スプライト表示技術」は市場を広げ、DSP等の高速演算機能を組み込んだ「リアルタイムポリゴン表示」等、他産業より数年早く新技術を投入活用してきた。そして、これら業務用ゲームの技術は、家庭用ゲーム、携帯電話コンテンツ、通信カラオケ等多くの産業に繋がっている。この論文では、これら業務用ビデオゲームの中心となる画像表示手法の進化とその背景を述べる。

キーワード: ビデオゲーム、アーケードゲーム、ゲームセンター、スプライト表示、リアルタイムポリゴン表示、業務用ゲーム

Brief history of arcade video game display technologies

– From CRT display technologies to real time graphics –

Yukiharu SAMBE

Arcade video games, whose market expanded in 1970s, evolved in its own way by the adoption of various display technologies. TTL logic was applied at the beginning, bitmapped display was applied for the huge hit “Space Invaders,” “sprite display technology” originally developed in arcade game field enlarged the market, and very fast numerical operations such as DSP were incorporated into “real time polygon display.” As described above, arcade video games introduced, developed, and utilized new display technologies a few years earlier than other industries. These arcade game technologies led to the development of many other new entertainment systems, such as home console games, mobile phone contents, and even network (downloadable) karaoke. This paper describes the evolution of arcade game display hardware technologies and its background.

Keywords: Video game hardware, arcade game, sprite display, real-time polygon display

1 はじめに

世界のゲーム産業市場規模は約5兆円である^{[1][2]}。日本はその20%を占め、家庭用ゲームと業務用ゲーム（ゲームセンターゲーム、アーケードゲームとも呼ばれる）市場がおよそ同じ規模で2分している。業務用ゲーム市場がこれほど大きいのは日本だけで、新技術の投入等がその市場を支えている。業務用ゲーム機器は遊技者に「非日常の体験」を提供する一方、ビジネスであるこの産業では、優れたハードウェアやプログラミングによるゲームであっても、2週間ほどの（試作品の）インカムテスト期間に十分な収益が得られなければ開発作業は中断される。このインカムテストを生き延びる割合は20%ほどで、さらにヒット製品につながるのはその中の数%である。これら厳しい環境で生き延びたゲームコンセプトとそのハードウェアは、技術的にも商業的にも優れたものが多い。著者は1970年代から30年以上に渡り業務用ゲーム等エンターテインメント機器の研究開発とそのマネジメントに従事してきた。この論文では、あま

り表に出ることがない中で独自の発展をしてきた業務用ビデオゲーム表示技術の変遷とその背景について述べる。（なおゲームにおいてはそのコンセプトが重要であることは明らかであるが、これらは別稿に譲りこの論文では論じない。）

2 ビデオゲーム表示方式の発展

2.1 ビデオゲーム黎明期

最初のビデオゲームは米国ブルックヘブン国立研究所（BNL）のウィリアム・ヒギンボーサムによって1958年に考案されたとされるが^[3]、その商業的成功は70年代初期に米国でノーラン・ブッシュネルが設立したAtari社による業務用ゲーム「PONG」である。その後日本の業務用ゲーム技術者はこれらにヒントを得て、独自にビデオゲームを研究開発し、その後1978年にスペースインベーダー（1978年（株）タイトー:開発者 西角友宏氏）が大ヒットしている。これ以降も米国との激しい競争の中、業務用ビデオゲームの表示技術は電子技術の進歩と相まっておよそ7、8年ご

(株)タイトー AM事業本部 技術顧問 〒243-0498 海老名市下今泉 3-11-1
TAITO Corporation AM Div. Senior technology advisor 3-11-1 Shimoimaizumi, Ebina-city 243-0498, Japan E-mail: sambe_yukiharu@taito.co.jp

とに独自の進化発展をしてきた。以後、順次その進化の様子を述べる。

2.2 ビデオゲーム前夜：1960年代メカトロ時代

ビデオゲームが登場する前の60年代、図1のように今日のゲームセンターに見られるゲーム機がすでに存在しており、そのプレイフィールドも今日のビデオゲームとおよそ同等である。CPUや高速なロジック部品がなかったこの時代、メカ機構、モーター、電球、そして電磁リレーによるシーケンサーが使われ、この例（スカイファイターII：タイトー1971年：開発者：西角友宏氏）では①背景に流れる雲の表示、②敵飛行機の表示、③敵の爆発表示、④弾痕表示、⑤ヒット検出、の主には5つのメカトロユニットでゲー



図1 メカトロゲーム機

ム機が構成されている。一時市場を席卷したこの種のメカトロゲーム機も、電磁リレーの接点不具合や機器の摩耗による保守作業が不可欠で、市場では保守作業の軽減と同時に複雑で早い動きを実現する技術が求められ、ブラウン管（テレビ受像機）を使ったインタラクティブなゲーム開発に技術者の目が向いてゆく。

2.3 ビデオゲーム表示の基本

70年代に始まるビデオゲームであるが、その表示技術の基本は今も同じで、ブラウン管上に電子ビームを順次左右上下に振ってラスタを描き、その上に画素を載せることで画像を表示する（図2.1）。図2.2は表示のための基本信号作成を、図2.3はビデオゲーム表示における表示期間とブランキング（帰線消去）期間の考え方を示す図である。この例では、水平走査線1本を63マイクロ秒（その中のブランキング時間は10マイクロ秒）で、同じく垂直方向は16.6ミリ秒（その中のブランキング時間は1.3ミリ秒）で描いておりNTSC方式のテレビ表示周期に近い。一方、図2.4はこの後述べるスプライト表示方式におけるもので、水平ブランキング期間を増やすことで、当時非力であったメモリー性能を最大限引き出す工夫をしている。（なお、このような比率であっても水平方向の表示幅は短くなるものの、通常のテレビ受像機はその違いを吸収し、画面表示やテレビの同期動作に支障はない。）

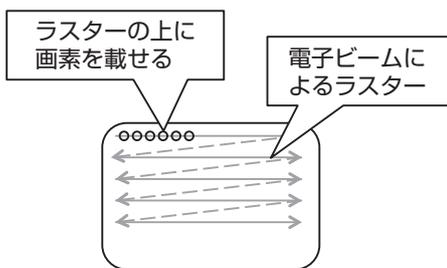


図2.1 ラスタ表示

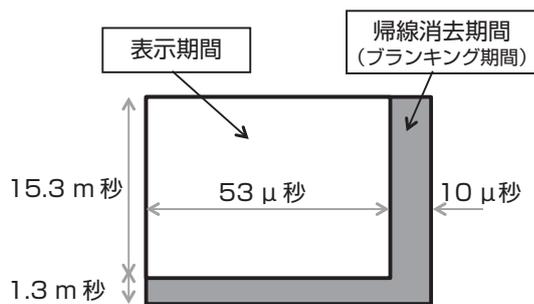


図2.3 表示期間とブランキング

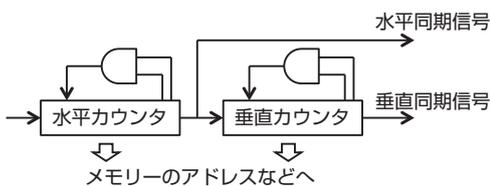


図2.2 ビデオ表示カウンタ

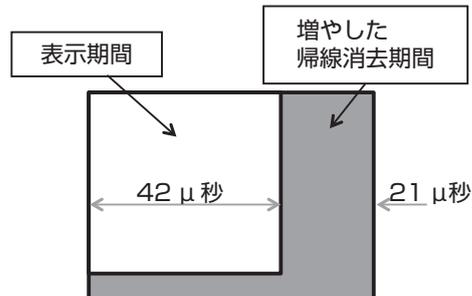


図2.4 スプライト方式の表示期間とブランキング期間

図2 ビデオ信号の基本

2.4 TTLロジックによる方式：1970年代前半

1972年に発表された米国 Atari 社の「PONG」は国内に導入されちょっとしたブームとなった。それを受け、国内の業務用ゲーム技術者は参考とする資料もほとんどない中、「PONG」のロジック回路にヒントを得て、半年後には異なる発想の独自技術でビデオゲームを開発している。電子回路の中心は TTL ロジックによるもので、この時期 TTL は高速化と低価格化が進んで業務用ビデオゲームの発展を側面から支えている。図3は当時のレーシングカーゲーム（スピードレース：1974年タイトー）の機能ブロックで、「デジタルカウンタのプリセット機能」等を活用して目的とするブラウン管の表示位置に絵を描いている。ゲームに必須のヒット検出（この場合は自車と敵車・道路緑石）は、表示された絵同士の画素の重なりを検出してハードウェアの動作を切り変える等、この時期 CPU はまだ搭載されておらず、制御の中心は TTL ロジックである。

【TTL ビデオゲームの限界】

この時代、ハードウェア（TTL ロジック回路）そのものがゲームコンセプトを実現しており、ゲームコンセプトを理解するハードウェア技術者は少数で、ここに人的な限界があった。また、初期には TTL200 個ほどでビデオゲームは商品化されたが、表示物体が多い複雑なゲームの要望が増えるにつれ、必要な TTL の数も増えハードウェアコストも間もなく限界に達する。

2.5 CPUビットマップグラフィックの時代：1970年代後期

70年代中期になって、米国企業が CPU を使ったビデオゲームを投入した（Gunfight：1975年 Midway）。国内では商業的な大成功には至らなかったが、CPU を使うことでゲーム制作の柔軟性を高め、初めてゲームコンセプトとハードウェアの分離が可能となった。一方この時期、これら CPU ハードウェアゲームに学んだ国内の業務用ゲーム技術者は、およそすべての開発ツール類を手作りしながら CPU 搭載ビデオゲームを開発している。大成功を納めたスペースインベーダーもすべて手作りのツールで開発されている。

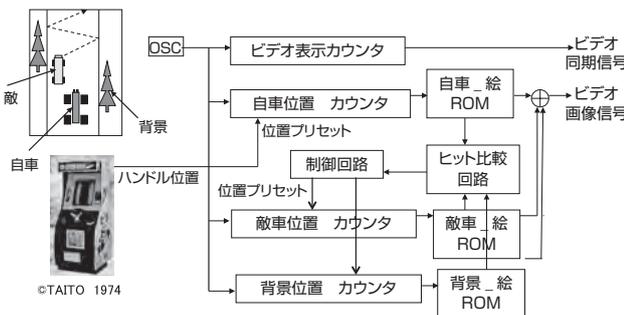


図3 TTLによるビデオゲーム回路ブロック

ところで、当時の一般的な画像表示方式はミニコンピュータの操作卓等として普及していた「キャラクタディスプレイ方式」である。この手法は少ないメモリーで構成でき、回路構成もシンプルでコストも低いが、限られた位置に限られた文字図柄を表示するもので表示制限が多い。（ランプゲームやマージャン等、この手法で市場投入されたゲームも少なくない）しかし、画面を自由に動き回るゲームの実現を目指した当時の業務用ゲーム技術者は、まだ高価であったメモリーを多く必要とするビットマップグラフィック方式をその開発の中心に据えている。図4はスペースインベーダーの機能ブロックで、画像表示用メモリーを時分割でCPUと表示ブロックで共有するビットマップグラフィック方式である。それまでのTTLロジックのゲーム機に比べるとはるかに柔軟性に富んだビデオゲーム表示技術である。

【ゲーム開発ツール類の誕生】

この時代の国内ゲーム開発者は、ハードウェア、ソフトウェア、グラフィック作成を自ら行うマルチ技術者で、作業効率向上のためにさまざまなツールを自ら開発活用している。初期には紙とエンピツと人の手でデジタル化していたグラフィック作成作業を、専用のグラフィック作成ツールを作り上げ、絵柄形状の修正や色の変更そしてアニメーションの確認も行えるツールに仕上げ活用している。また、多くのサブルーチンプログラムが協調しながら並行して動作するゲームソフトにおいて、これらを統合して動かすために初期のリアルタイムOSも自ら作成して組み込んでいる。さらに、プログラム開発ツールも自製のデバッガーを活用しており、これらは基本的なデバッグ機能に加え、ハードウェアと協調してプログラムごとのCPU占有時間をリアルタイムに測定表示する機能等当時としては先進的な機能も組み込まれている。

【CPUビットマップグラフィックの限界】

上記インベーダーゲームで使われた「ビットマップグラフィック方式」は、表示物を動かすには新たな表示位置に物体を描き、同時にいままで描いていた部分を消去する処

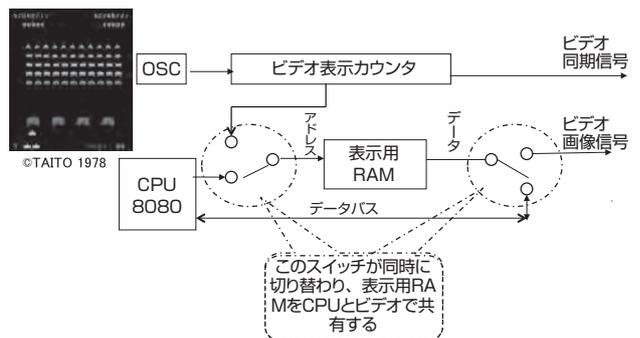


図4 ビットマップグラフィックによるビデオゲーム回路

理をすべてCPUプログラムが行う。その結果、動きの激しいゲームではすぐに処理の限界に達する。例えばインベーダーのハードウェアではリアルタイムに塗りつぶしを行う画面の面積は全画面の1/4ほどで、動きの激しいゲームには向いていない。解決策としてより高速なCPUを搭載し、描画速度を高めたビットマップグラフィック方式等が市場投入されたが（QIX：1981年タイトル、ハレーズコメント：1986年タイトル）短い期間で限界に達した。

2.6 スプライトの時代：1980年代

1978年、表示物の位置座標と絵柄の番号をCPUが書き込むだけで所望の絵柄をハードウェアが表示する業務用ゲーム独自の「スプライト表示方式」^[4]が米国Atari社で考案された。図5はこの方式によるビデオゲームシステムの機能ブロックである。当時高価であった高速なメモリーを用いて「ラインバッファメモリー」を構成したこの方式は、ハードウェア処理とソフトウェア処理がバランスよく分離されている。国内ではナムコ社の「ギャラクシアン：1979年」に初めて使われた。この方式では当時の高速メモリー素子（アクセス速度70nsほど）と周辺を構成するTTLの速度はラインバッファ回路を実現するのにギリギリの速度仕様であることが多く、回路設計者のセンスが問われる部分でもある（ギリギリの速度仕様は市場でのトラブルの遠因^[5]にもなった）。そしてできるだけ多くの画素をテレビの水平ブランキング期間内にラインバッファに書き込むために、そのブランキング期間を標準テレビ信号（NTSC）の倍に広げ設計に余裕をもたせる等の工夫が行われている。これら工夫の結果、55匹のインベーダーをゆっくり動かすのが限界であったビットマップ方式に比べ、10倍以上の数の表示物を高速に自由に動き回る画面が実現できている。80年代のおよそ10年間、ビデオゲームはこの手法を基本として、多くのビデオゲームコンセプトが試されている。そして今日に至るほとんどのビデオゲームジャンルが開拓され、この表示方式は初期の家庭用ゲームの表示方式にもなっている。

【役割の分化】

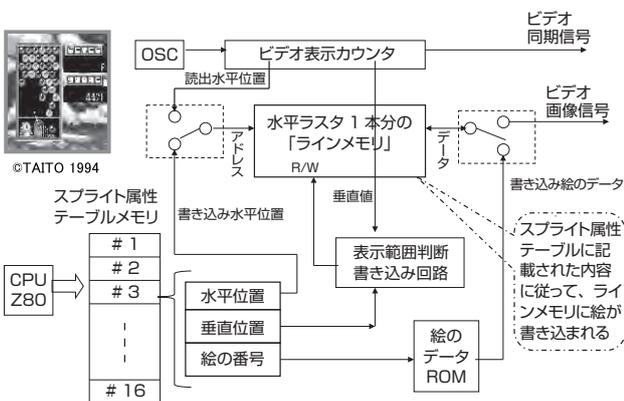


図5 スプライト表示回路によるビデオゲーム回路

一方この時期、プログラマー、ハードウェア技術者、ゲームコンセプター、グラフィッカー、そしてその取りまとめ役を行うプロデューサー（多くは中間管理職）等役割が徐々に専門分化され、特にプロデューサーは直接外部の競争にさらされながら次の時代のゲームコンセプトの実現と、プログラマー、ハードウェア技術者、ゲームコンセプターの融合を図り、次の技術開発に繋ぐ重要な役割を担うようになっていく。

【市場の拡大とスプライト表示の限界】

スペースインベーダーの大ヒットで急拡大した市場では、上記スプライト方式のゲームが多数開発される中、さらなる新しい表現とより複雑なビデオゲームが強く要望されるようになった。一方、スプライト方式では例えば表示物を拡大・縮小・回転させるためには、あらかじめ多くの絵柄を準備する必要があり、グラフィック作業とその絵柄を格納するメモリーも爆発的に増加し、表示品質も十分ではない中、コストだけが上がりつつあった。

2.7 DSPポリゴンの時代（1990年代前半）

（株）タイトーでは1986年にメカトロ手法による飛行機の着陸操縦を体感するフライトシミュレーターゲームを試作し市場テストの結果が好評であった。一方、このメカトロによる手法は判りやすいが、耐久性とコストに課題がある。これを受け、上記スプライト表示技術を大幅に拡張した同ビデオゲームの製品化を試みたが、昼間の離着陸に伴う風景や滑走路の拡大縮小回転表示に多くの技術的困難があり、まずはスプライト技術を拡張して夜間誘導灯を表示するフライトシミュレーターゲームを開発投入することとした。誘導灯であれば、点在するその並びを回転、拡大、縮小することで済み、比較的少ない数値演算とスプライト技術だけで実現ができるためである。そして市場投入の結果、さいわいこの機種も好評を得ている。一方この間、並行して昼間の離着陸表示を可能とする表示技術の開発検討を行い、ポリゴン表示ハードウェアの構想に行きついている。

図6に、当時のポリゴン表示ブロック図を示す。ここではポリゴンの頂点座標を計算するためにDSPを用いている。詳細な説明は割愛するが、図の「ポリゴン表示ブロック」は、ポリゴン表示メモリーの上にXおよびY分周器で設定された傾きの直線をXおよびYカウンタのカウンタアップにしたがって描き、この直線3本からなる三角形ポリゴンを描画する^[6]ブロックである。ここにおけるポリゴン表示メモリーはテレビ表示に必要なメモリーの10倍ほどの広さを持ち、描こうとするポリゴンが画面からはみ出す位置にあってもポリゴンを描き切る回路構成としている。テレビ画面表示の際には、その表示部分だけを切り出して、順次テ

レビ画面のラスターに三角形ポリゴン画素を表示する仕組みである。ポリゴンの塗りつぶしはラスター描画の際に上記三角形のポリゴン直線とラスター位置が最初に交わった位置から横方向に次の線分と交わるまで塗りつぶしを続ける仕組みである。図6のスクリーン画像は、国内で最初にポリゴン表示を実装したフライトシミュレーターゲーム（トップランディング：1988年タイトル）である。

[DSP ポリゴン表示の限界]

上記フライトシミュレーターゲームは、上空から見た比較的単調な地上平面と少数の高層建築物をポリゴン表示するものであったが、例えば電車運転ゲーム（電車でGO！：1997年タイトル）では、これとは比較にならない数のポリゴンが必要になる。初期のポリゴンゲームではDSPを複数搭載してこれらに対処しポリゴン処理能力を増やしたハードウェアを投入したが、すぐに限界に突き当たった。また、それぞれのポリゴンに単色を付加して表示した画像は、一種塗り絵のように不自然で、照射される光線の向きや反射等微妙な色の変化等を表現する表示ハードウェアに自ずと開発目標が向かった。

2.8 GPUレンダリングの時代：2000年代

立体的な画像は、図7に示す3つのステップで作られる。最初に箱庭的空間である「ワールド座標」に多数のポリゴンで構成されたすべての物体（人物、建物、背景等）を拡大・縮小・回転等を行って所望の場所に配置する。その後視点方向から2次元平面に切り取る「クリッピング」処理等を行い、「レンダリング処理」で光線の向き等を加味した色の付加等を行い表示する。このほとんどの過程で膨大な量のリアルタイム数値演算が必要で、初期には多数の

DSPを用い、専用のグラフィックLSIをタイトー、セガ、ナムコ等の業務用ゲーム製造企業が自ら設計開発したが徐々にその設計作業が膨大になり2000年以降はパソコンにその需要を広げた専門のGPU(Graphic Processor Unit)メーカーと協業している。現在は米国のNVIDIA社、カナダのATI(その後AMDに統合)がGPUの2大メーカーである。図8に現在のポリゴン表示LSI(GPU)の内部構成例を示す^[7]。積和演算を得意とするプロセッサが多数配置され(この図ではSP)、その上で、ある種のマイクロプログラム(スレッドと呼んでいる)が実行される。それらは、ある時には頂点計算、ある時にはクリッピング処理、ある時にはテクスチャーの貼り付け等多様な役割を担う。メインCPUは、ある定まったデータの並び(マイクロソフトのDirectXやシリコングラフィックスのOpenGL等でデータ規格化されている)をGPUに与えることで、GPUはこれらスレッドを切り替えながら所望の処理を行い、結果をビデオメモリーに書き出すことを行う。ある意味、この部分はブラックボックスとして処理が行われていることになる。最新のものでは千個を超えるSPプロセッサが搭載され、同GPUは一部のスーパーコンピュータでも活用されている。

3 新技術投入のプロセス

業務用ゲーム産業においては他産業よりも数年早く新技術が商品化されることが多い。著者は、その背景として次の3つがあると感じている。①業務用ゲームでの企画・試作・市場テストのプロセスが短時間で回っていること。②比較的高額な新技術の投入が可能であること。③技術横断的な人材が活動していること。

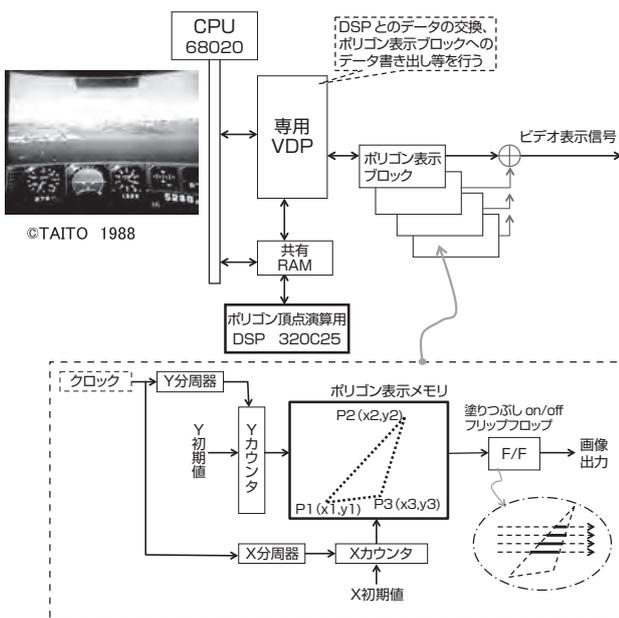


図6 DSP・ポリゴン表示ビデオゲーム回路

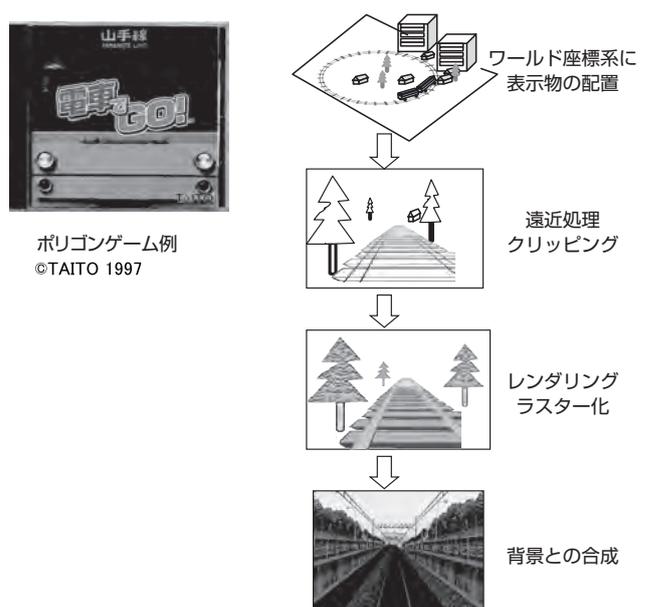


図7 立体表示の処理ステップ

3.1 短時間のテストプロセス

業務用ゲーム産業では試験的な製品であっても、完成度60%ほどの試作品をゲームセンターに試験設置することで消費者の反応を素早く知ることができる。先の表示技術例以外にも独特のビデオ表示技術が数多く試されており、例えば、CRTの電子ビームで直接描くことで多数の表示物体の拡大・縮小・回転を可能にしたベクタースキャン表示方式^{[8][9]}や、スプライト表示の絵柄をハードウェアで拡大縮小を可能にする方式^[10]、動画像を取めたLDディスクとゲーム表示を組み合わせた方式^[11]等、多くの独自表示方式が試されている。そして消費者はそのゲームメーカーやブランドとは関係なく硬貨（例えば100円）を投入してゲーム機を試し、気に入らなければ二度と戻ってこない。明快な市場テストである。いわば、市場をテスト環境として、さまざまな新技術を試しているのである。一方、類似産業である家庭用ゲームソフト産業では商業的な成功をその販売本数で判断するが、そのためにはゲームソフトの完成後、ゲームCD等を製造し、流通に乗せた後に初めて消費者の本当の需要実態を知る等、プロセスは短くない。

どの産業にも試作品等の市場テストの仕組みはあるが、業務用ゲーム産業におけるそのプロセスは的確で短い。

3.2 新技術の投入コスト

70年代の一般的な業務用ビデオゲーム機の取引価格は50万円～100万円で、そのコストの半分は電子部品で占められていた。CPUとメモリーがまだ高価（5万円ほど）であった当時、業務用ゲームが率先してこれらを採用できた理由はこの比較的高いゲーム機の取引価格にある。図9は、新しい技術をそれぞれの市場で活用するのに必要なコストイメージを描いたもので、左端は研究室等の、「斬新ではあるが信頼性や実装コストにはまだ課題を抱える技術」の

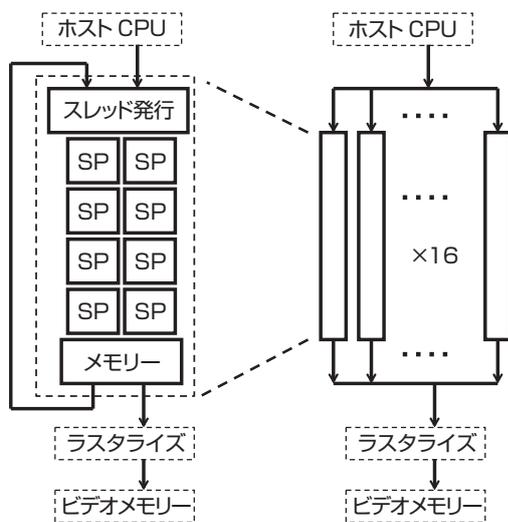


図8 GPUの内部構成
(NVIDIA GeForce8800 技術資料より筆者作成)

エリアである。右端のエリアはコンシューマー向け技術で、「一般消費者に渡るまでの時間はかかるが、信頼性や実装コストは十分に練られたものである」ことが多い。中央のエリアは、比較的高コストな新技術や考案が活用されるエリアで、業務用ゲーム市場はここにある。例えば、マイクロコンピュータと呼ばれたCPUが産業界で本格活用される数年前に業務用ゲーム市場ではこれらを本格活用し関連産業に刺激を与えている。また、ポリゴン演算処理において、当初は高価で扱いにくいDSPをいち早く業務用ゲームでは取り入れ積極活用された。周知のように、これらDSPは現在では劇的に価格を下げ携帯電話にその主要部品として複数搭載されている。

3.3 技術横断的な人材

先に述べたように、初期の業務用ゲーム産業では開発者が自らハードウェアの設計、ソフトウェアの開発、グラフィックや効果音の作成、そしてその開発ツールも自作する技術横断的な人材が産業を牽引した。この流れは現在も健在で、役割が専門分化された最近の業務用ゲーム開発においてもプロデューサーは複数技術の専門家であることが多い（なお、専門分化とは主に①ゲームコンセプト、②電子回路ハードウェア、③プログラミング、④グラフィック、⑤サウンド、⑥ネットワーク、⑦メカ機構、⑧プロデューサーである）。

業態の異なる通信カラオケが、タイトー、セガ等業務用ゲーム企業に始まり^[12]、さらに携帯電話の着メロビジネス等に繋がった背景もここにある。

ところで、ビデオゲームの遊技者は、そのゲームプレイに慣れてくると、さらに次の「新しい体験」を求める。それらに応えるべくプロデューサーは新しいゲームコンセプトと表現技術を追い続け、それらが次の技術開発の目標となっている。スプライト技術が生まれた背景、ポリゴン技術を必要とした背景等はその顕著な例である。一方、「遊技者

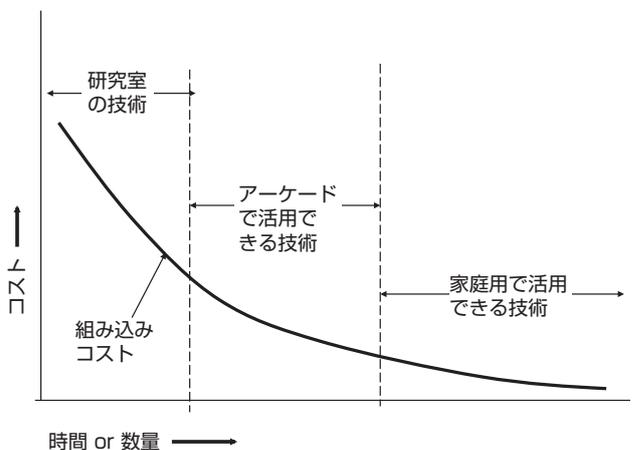


図9 技術導入のコスト

が求める新しい体験」は、外からは見えにくい潜在的なものであるため、作ってみて、試してみても初めて判ることがほとんどで、多くのゲーム機が試作され市場テストが行われる理由がここにある。

4 表示技術の年表と背景

図 10 に、以上のまとめとして、業務用ビデオゲーム表示技術の進化とその背景年表を示す。

ビデオゲーム表示技術の基本は、「CPU に負担をかけずに、ハードウェアでいかに多様な表示を実現するか」にある。そのためにはビデオメモリーの効率的・効果的な読み書きの回路設計が重要であり、CPU ビットマップ方式ではブラウン管表示の間隙を縫って CPU がビデオメモリーのアクセス権を取り合う回路設計技術に、スプライトでは CPU を介さずに高速メモリーに直接画素を書き込むロジックに、DSP ポリゴンではこれらに加え DSP 演算結果を反映したポリゴンを直接メモリーに書き込むロジックに回路技術が生きている。そして、それぞれの時代に入手し得るメモリーや TTL 等の電子素子の多くはおよそその限界速度で動く設計が必要で、わずかな見落としが後に問題となることを多くの設計技術者が経験している^[5]。

また、これら技術の進化を促した背景要因は次のように集約される。

【TTL → CPU ビットマップ】 ①ハードウェア設計能力とゲーム開発センスの両方をもつ人材が不足し、ハードとソフトの分離が必要となり、②ゲーム開発ではゲームの質を高めるためにその微修正や手直しが必須であり、これらを容易にするために CPU 導入が重要で、③動く表示物のため

には、それぞれ独立した表示用回路（主にはカウンタとの組み合わせロジック回路）が必要で、表示物の数が増えると、そのまま回路規模が大きくなり、コスト増大への対処が必要になった。

【CPU ビットマップ→スプライト】 見栄えのする画面表示のために①高速に、②多くの動き回る表示物を、③ CPU に負担をかけずに表示する手法としてハードウェアロジックがその多くを担う手法としてスプライト方式が考案された。

【スプライト→ DSP ポリゴン】 三次元的な物体を表示するために考案された。当時すでに大型計算機や専用計算機で「ポリゴン技術」が用いられていたが、これらは業務用ゲーム機器に採用できるコストをはるかに超えるもので、ゲーム機に採用するために①徹底した簡素化、②数値演算素子としての DSP の採用、③高速描画のための専用 LSI の設計を行っている。一方、当時ポリゴンに代わる手法として、先に述べた「ベクタースキャン表示」があり、米国では多くのゲームが作成されている^{[8][9]}。しかし線画が主体で表示物体が幾何学的であるこの手法は、彩色ができないこともあって次第に使われなくなった。

【DSP ポリゴン→ GPU レンダリング】 ポリゴン表示ではその頂点データ等を演算処理するが、①従前 (DSP ポリゴン) の 100 倍近い数のポリゴン表示、②光線を意識した自然なレンダリング彩色等、が要望され DSP を複数並べるだけでは演算処理が間に合わなくなった。当時 10 数個の DSP を並べる手法も検討されたが、メモリー間のデータ転送速度が不足し、自社開発ではコストと開発期間も膨大となることが明らかとなり、GPU 専門メーカーとの協業を始めた。

一方、協業により業務用ゲームメーカーは独自の表示技

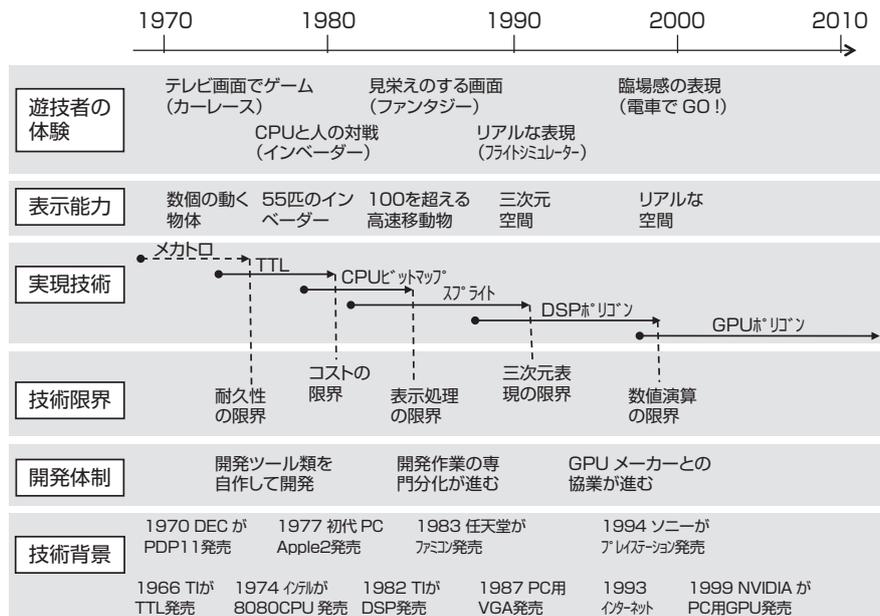


図 10 表示技術年表と背景

術を投入する機会が減り、結果として同じような表現のゲームが多数を占めることになり、今後のさらなる斬新な技術革新に注目が集まっている。

5 おわりに

（株）タイトーは、2004年から先に述べたGPUメーカーのグラフィックハードウェアを搭載した「業務用ビデオゲームハードウェア：Type-X」を外部のゲームソフト企業に提供している（図11）。高性能パソコンに似た構成で、開発環境は一般のPC環境をそのまま活用することができる。タイトーを含め20社以上のゲームメーカーがゲームソフトを作り、すでに70以上のゲームタイトルが市場に投入されている。そしてタイトー等これまでの業務用ビデオゲーム企業は、そのハードウェア性能を引き出すためのソフトライブラリ等に開発の中心が移っている。

すでに述べた様に、業務用ゲームはビジネスと密着しており、日の目を見ずに葬り去られるゲームが無数にある。一方、実績の少ない技術であっても積極的に取り入れ、他産業に比べて数年早く新技術として活用され、他の産業にも少なからず影響を与えている。

ゲームセンターが社会の片隅で煙たがられた時代等を経て、多くのエンジニアやクリエイターそしてゲームセンター運営の方々の努力により、今日では社会的認知が得られ、現在のゲームセンター来場者の半数は女性である。日本の強みとしてアニメ等と一緒に論じられるゲーム産業が今後も発展し、さらに新たなエンターテインメントが生まれることを確信している。

謝辞

メカトロゲーム、TTLビデオゲームそしてスペースインベーダーと、国内ビデオゲーム黎明期の基礎をおよそ一人で作られた西角友宏氏からは、この時代の多くを教えていただき、ここに改めて感謝いたします。また、この論文作成にあたり、産総研の赤松幹之様と持丸正明様には、査読者としてシンセシオロジーの主旨のもと繰り返し多くのご指導をいただきました。併せてお礼申し上げます。ありがとうございました。



図11 ビデオゲームハードTYPE-X (タイトー)

参考文献

- [1] 経済産業省: ゲーム産業戦略 (2006).
- [2] 日本アミューズメント産業協会: アミューズメント産業界の実態調査報告書 平成22年度 (2011).
- [3] 赤木真澄: それは「ボン」から始まった, アミューズメント通信社 (2006).
- [4] Method for generating a plurality of moving objects on a video display screen: US Patent 4116444 Sept.26, 1978 (スプライト表示に関するUS特許広報).
- [5] MIDWAY'S Galaxian Trouble shooting logic board part2: 1980 Midway FORM 00214-8008
- [6] 図形ぬりつぶし方法とその装置: 公開特許公報 昭55-10656 (1980).
- [7] NVIDIA GeForce 8800 GPU Architecture Overview, November 2006
- [8] Vector generator: US Patent 4027148 May 31, 1977 (ベクタースキャンによる表示方法).
- [9] 三部幸治: RX62Nでよみがえる! ベクタ・スキャン・ゲームの製作, インターフェース, 38 (5), 129-139, CQ出版 (2012).
- [10] 標体の画像表示装置: 公開特許公報 昭59-040687 (1984).
- [11] 対話式ビデオディスクシステム: 公開特許公報 昭59-500076 (1984).
- [12] 三部幸治: 商品企画技術者の役割, 技術士現場の視点, 日刊工業新聞, 2007年4月4日版 (2007).
- [13] 三部幸治: 携帯電話を使ったコンテンツビジネスの展望, 赤門マネジメント・レビュー, 1 (8), 607-624 (2002). <http://www.gbrj.jp/journal/amr/AMR1-8.html>
- [14] 三部幸治: アミューズメントに於けるデジタル処理の進化, 九州大学学術情報リポジトリ (2008). <http://jairo.nii.ac.jp/0001/00010100/en>

執筆者略歴

三部 幸治 (さんべ ゆきはる)

1974年東京電機大学工学部電子工学科卒、1979年（株）タイトー入社、2000年CTO常務取締役、現在 技術顧問。技術士（電気・電子）。長年業務用ゲーム機器等のシステム設計とマネジメントに従事。1992年世界で最初の通信カラオケを考案し事業化した。



査読者との議論

議論1 全体構成

コメント (持丸 正明: 産業技術総合研究所デジタルヒューマン工学研究センター)

この論文は、アーケードゲーム機を中心に画像表示技術の変遷を軸として、ゲーム進化、ソフトウェア開発体制の変化、周辺技術への波及等を俯瞰し、そこから将来のアーケード技術について展望する論文であると理解しました。技術がどのように構成されてきたか、ということ画像表示技術を中核として俯瞰し展望していくという発想は、構成学として有益な内容を含んでいると考えます。

コメント (赤松幹之: 産業技術総合研究所ヒューマンライフテクノロジー研究部門)

アーケード版のビデオゲームの技術の変遷を記述した論文であり、技術の進展とともに技術導入についても言及されており、技術の社会導入の一つの例として大変興味深い内容になっています。技術史的な論文になってしまわないように、この技術的変遷の中で、なぜ新しい技術に変化したのか (目標の設定)、それを実現するための技術の選択の論拠、またそれぞれを実現するために解決してきた技術的課

題は何であったのか（開発シナリオとプロセス）についての記述をしていただきたいと思います。

回答（三部 幸治）

ご指摘、ありがとうございます。修正論文にそれらを追加記載させていただきます。補足しますと

目標の設定

ビデオゲームの遊技者は、そのゲームプレイに慣れてくると、さらに次の「新しい体験」を求め、ゲームプロデューサーはそれらに応えるべく新しいゲームコンセプトと表現技術を追い続け、それらが次の目標となります。スプライト技術が生まれた背景、ポリゴン技術を必要とした背景等がその顕著な例です。一方、遊技者が求める「新しい体験」は潜在的なものであるため、作ってみて試してみ始めて判ることがほとんどで、多くのゲーム機が試作され市場テストが行われる理由がここにあります。

開発シナリオとプロセス

ビデオゲームの技術は、突き詰めると「CPUに負担をかけずに、ハードウェアでいかに多様な表示を実現するか」ということとなります。そのためにはビデオメモリの効率的・効果的な読み書きが重要で、初期のビットマップ方式ではCRTディスプレイの間隙を縫ってCPUがビデオメモリのアクセス権を取り合う回路設計技術に、スプライトではCPUを介さずに高速メモリに直接画素を書き込むロジックに、ポリゴンではこれらに加えDSP演算結果を反映したポリゴンを直接メモリに書き込むロジックに試行錯誤した回路技術が生きています。

議論2 開発技術の他製品への展開

質問（赤松 幹之）

図に書かれている技術とコストは重要なポイントですので、具体例をもって論じることができると読者に有益だと思います。すなわち、書かれている具体的な技術について、アーケードゲーム技術として導入しようとしたとき、それが研究室レベルの技術としてどこまで出来上がっていて、それをゲーム技術とするためにその技術をどのように改良していったのか、またアーケードゲーム技術として発展することで家庭用技術としてどのように使えるものになったのか等、アーケード技術としての時期に、それぞれの技術がどのように変化して、家庭用技術として使えるようになったのかを、個別の技術ごとに記載できませんでしょうか。

回答（三部 幸治）

修正論文にCPUとDSPについて簡単に記載させていただきます。補足しますと

- ・CPUがまだ高価で産業用にもあまり普及していなかった1970年代に、業務用ゲームでは率先して使い始めています。NECが技術者向けCPU学習用キットとして発売したTK80（1976年）が10万円ほどの価格でした。この時期すでに一部のアーケードビデオゲームにはCPUが搭載されていました。CPUが家庭用機器に組み込まれたのはそれから10年以上経過してからとなります。
- ・DSPは、ご存じのように1980年前半NEC等が音声圧縮等のデジタル信号処理用として各種研究や一部専門家向けに投入しています。その後米国TI社がDSPの出荷を始め、業務用ゲーム機ではフライトシミュレーターゲーム（1988年）に最新のTI製DSP（TMS320C25）を組み込んでいます。この時期の取引価格は1万円を超え、当時の半導体価格としては高価なものの一つでしたが、現在ではさまざまな機器に内蔵されています。
- ・フライトシミュレーターゲームの制作において、パイロット養成に活用されているフライトシミュレーターの技術を検討しました。しかし映像表示部分だけでも桁違いのコスト（数千万円～数億円）であり、そのままの導入はできないことを再確認しています。結果、簡素化したポリゴン表示機能（1988年）を独自に検討設計して活用しています。家庭用ゲーム機にポリゴンが採用されたのは7年後の1995

年です。

- ・コピープロテクト手法：この論文には記載しませんでした。インベーダーゲームの後、ゲーム機のコピー業者が世界中で暗躍しました（1980年代前半）。このコピー対策として、当時研究されていた「ナップサック暗号（1978年）」にヒントを得た手法を活用しています。具体的には「外部から読み取りができないプログラム内蔵型ワンチップマイコン」を米国企業と一緒に開発し、このマイコンとメインCPUの間で暗号通信を行うことで「コピー防止」を実現しています（1983年：フロントライン ほか：タイトー）。現在「USBドングル」として不正コピーを防止する仕組みと同じです。

議論3 技術の社会的な目的

質問・コメント（持丸 正明）

Synthesiology 誌の目的の一つは「社会にある変革をもたらすという目標を定めたとき、それに向かってどのように技術を選択し構成していくか、その結果がどのようになったか」ということを論文として蓄積していくことにあります。アーケードゲームの社会的目標はなんですか？例えば、「新しいユーザー体験」と「効率的な開発、機器運用」として定義してみてもどうでしょうか？この論文では、メカトロ、ビデオ、TTL、CPU、ポリゴン数値演算、GPUレンダリングというかたちで技術の変遷が展開されています。それぞれの時代において、これらの技術の投入によって実現したいと考えていた「新しいユーザー体験」と「効率的な開発、機器運用」があると思います。

すなわち、画像表示技術の変遷を記載するに際して、その時代に求められた「新しいユーザー体験」と「効率的な開発、機器運用」を、その時代の目標として掲げ、その目標に向けて、中核となる画像表示技術としてどのようなものが選択されたか（選択された理由はなんであるか）、さらに周辺技術としてCPUやメモリー、表示デバイス、ソフトウェア開発手法等がどのように変化し組み合わせられたか、という視点で「目標に向けた技術の選択と統合」のかたちで技術史を俯瞰していただくと構成学として意義のある論文になるかと思えます。

回答（三部 幸治）

- ・アーケードゲームの社会的目標は、遊技者に非日常の体験をしていただくことにあり、生活に潤いを提供することにあります。遊技者は継続して次の「非日常の体験」を求め、それらに応えるために新しいゲームコンセプトを提案し、新しい表示技術等を開発するのがゲーム企業といえます。その結果、1970年には考えられなかったような表現が可能となり、大きな産業となっています。
- ・目標に向けた技術の選択と統合について、修正追加させていただきます。特にスプライトからポリゴンに移る過程について記載させていただきます。よろしくお願いいたします。

議論4 自領域での技術開発と他領域からの技術の導入

コメント（持丸 正明）

「新しいユーザー体験」と「効率的な開発、機器運用」という社会ニーズに駆動されて、新たな画像表示技術が選択され統合されてきたと考えたとき、(1) 他の分野の技術的進展に伴って開発された技術が転用された（TTL?）、(2) アーケードゲームが牽引役となって技術が開発された（スプライト? GPU?）の2通りがあるのではないのでしょうか。構成される要素技術の萌芽が自らの領域であったとしても、その技術が他で進展した場合、自らの領域の技術にこだわることなく他の領域で進展した技術を取り込んで構成していくという枠組みが示されています。このような技術の構成の仕方が、「新しいユーザー体験」や「効率的な開発、機器運用」という目標に対してどのように効果的であったのか、まで含めて記述していただくと、構成学として意義のある論文になるかと思えます。

回答（三部 幸治）

- 修正論文に一部追加記載させていただきます。補足しますと
- ・TTLはご存じのように汎用計算機等への活用を目的として開発され

たもので、簡便にデジタル処理ができるこれらの機能はビデオゲームでは不可欠のものと当初から認識されていました。

- ・初期のポリゴン表示に使ったDSPは1970年代後半、音声圧縮等のデジタル信号処理用として投入されたもので、その数値計算能力の高さに注目したゲーム産業がいち早くポリゴンの数値計算に活用しました。
- ・GPUに関して、複雑化するポリゴン表示用に10数個のDSPを活用する案もありましたが、開発も製品もコストが見合わず、外部GPUメーカーと協業を始めました。その結果ゲーム開発環境はそのGPU企業から調達でき（自社で整備する必要がなくなり）開発コストの低減ができ、PCの進化に伴って進化したGPUを使うことで、よりリアルな立体表現が可能となっています。一方、多くの業務用ゲームメーカーがこれら同じものを採用したため、その表現が似たものになっており、今後の方向を考える上で重要な検討項目の一つともなっています。

議論5 今後のアーケード技術の展望

コメント（持丸 正明）

「次のアーケード技術」を展望するにあたり、やはり、「新しいユーザー体験」や「効率的な開発、機器運用」について、どのような目標が設定されるか、という視点で整理していただくと、論文全体の主旨が一貫して分かりやすいかと思います。

「新しいユーザー体験」については、すでに飽和したものもあるのではないのでしょうか？あるいは、特定のユーザーとともに「新しいユーザー体験」を極めてしまったために、それについてこれなくなったユーザーがでてくるといった状況があると思います。査読者からみると立体表示や半球スクリーン表示等は、さらなる画像表示の高度化としての「新しいユーザー体験」を極めていく方向性であり、「メカトロ回帰」は、高速移動や高画質表示だけではなく別の身体能力を使ったインタフェースによる「新しいユーザー体験」軸の提案に繋がっているのではないかと思います。家庭用ゲーム機でいえば、前者がSCEで後者がWiiのような位置付けです。このあたりをもう少し掘り下げて、今後の技術を展望していただけると面白いと思います。

回答（三部 幸治）

- ・ご指摘のように「新しいユーザー体験については、すでに飽和したもの」が多くあります。インベーダーゲームに見られるシューティングゲームはおそらく百を超える種類の同様なゲームが市場に出回り、このジャンルは一部を除いて飽和してしまいました。そして一部の愛好家がさらに難しいゲームを求めた結果、一般ユーザーが離れてしまったジャンルでもあります。
- ・「新しいユーザー体験」として初稿では半球スクリーンやメカトロ回帰を取り上げました。ご指摘のように、これらは画像表示の高度化とインタフェースによる新しい体験の提供ということですが、論文の軸である「ビデオゲームの進化」から少々離れてしまい、また不明瞭な

事柄もあって修正版では削除させていただきました。

議論6 開発に関わった人数の変遷

質問（赤松 幹之）

それぞれの世代での開発に関わった人数が変わってくることも興味深い点です。どう技術を扱ったためにこれだけの人数が必要となったのかが記載できませんでしょうか。

回答（三部 幸治）

開発に関わった人数については、一概に言えないこともありこの論文では省略させていただきましたが、最も増えた人員はグラフィック担当です。初期にはシンプルな絵柄を動かすことで済んでいたものが、直近では3Dモデリングやその動き（モーション）を作成する等、開発人数が増えました。プログラマーも増えていますが、開発ツール（OS環境や開発言語等）の進歩があり、グラフィックほどの増加はありません。電子回路ハードウェア人員は自社でLSIを設計していたポリゴン時代が最も多くなっており、続くレンダリングの時代ではNVIDIA社等のGPUに方針を変えることでハード人員は減少しています。

議論7 ビデオゲーム業界への参入の背景

質問（赤松 幹之）

タイトーは最初はジュークボックスの会社でしたが、ビデオゲームに着手するきっかけは何だったのでしょうか？

また、スペースインベーダーゲーム機を喫茶店に置くというのは、新しいビジネスモデルだったと思いますが、その経緯はどういったものだったか書いていただくことはできませんでしょうか。

回答（三部 幸治）

ジュークボックスの件：ご指摘のように、タイトーは1960年代ジュークボックスを輸入してレンタルするビジネスをしていました。当時このジュークボックスの横に同じく輸入したピンボール等が置いてあり、ここに独自開発したメカトロゲームを置くことに始まり、その後のビデオゲームに繋がりました。

喫茶店に置かれた経緯：1970年頃の喫茶店のテーブルの上には、ピーナツバンダーと云われる「硬貨を投入して、少量のピーナツを販売する小型の自動販売機」が置いてありました。その後ピーナツ販売が下火になるに従い、同じ喫茶店のその場でお客さまに硬貨を使っただくサービスとして、ゲーム提供を思いついたそうです。実は、インベーダーが発売される以前に喫茶店テーブル型テレビゲームは市場投入されており、インベーダーで爆発的に広がった結果、インベーダーと喫茶店が印象として強く結びついたものと思われます。

技術もビジネスも少しずつ形を変えて成長するものであることをあらためて感じます。