

RFID とプロジェクションマッピングを活用した科学館向け エンタテインメント VR システム

北田 大樹^{*1} 和田 孝志^{*2} 白井 暁彦^{*3}

Entertainment Virtual Reality System for Science Museum utilizing RFID and projection mapping

Taiki Kitada^{*1}, Takashi Wada^{*2} and Akihiko Shirai^{*3}

Abstract 本稿は、エンタテインメントコンピューティングの利用例として、「科学館におけるエンタテインメント体験を通じた科学コンテンツの開発」における具体的事例を報告する。新潟県立自然科学館で開催されている企画展「謎解きアドベンチャー 失われた紋章」で開発した RFID とデータベースサーバーによる成績・属性システムとプロジェクションマッピングを活用した科学クイズコンテンツについて、特に、多人数が同時に参加し、数万人のユーザーが利用する科学館向けエンタテインメントシステムのバックエンド開発において必要とされる、ソフトウェア開発手法、テスト手法、品質について、考慮・対策すべき技術的要因や課題について報告する。

Keywords: RFID, Projection Mapping, Education, Virtual Reality, Entertainment System

1 はじめに

科学館におけるエンタテインメントシステムは「楽しい体験を通して科学を伝える」という機能が求められる。業務用のアーケードゲームやデジタルサイネージ等のシステムと異なり、開発基盤・予算規模は大きくない一方で、利用者規模は展示施設にもよるが中規模科学館では一日あたり千人以上、企画展であれば期間中に数万人程度、常設展であれば数十万人程度の体験者が利用するシステムになり、高い安定性が求められる。加えて、有料の企画展・特別展の運営形態では、システムに求められる更に品質は高く設定される。

本報告では、産学連携において実施された新潟県立自然科学館で開催されている企画展「謎解きアドベンチャー 失われた紋章」の開発において、エンタテインメントコンピューティングに関わる産学間の協業について、ソフトウェア開発手法を中心に事例報告を行う。

2 関連研究

本プロジェクトは、現在、一般的に普及しつつある RFID を基盤とした非接触タグとデータベースサーバーによる成績システム、プロジェクションマッピングを使い、中規模の地域科学館において、科学に対して楽しい体験をもって興味を持

たせる目的のクイズコンテンツを開発した。

関連する先行事例および研究として、「ユビキタスゲーミング」[1]と「マジクエスト」を挙げる。前者は 2004 年に国立科学博物館にて実施された TV ゲームとコンピュータを特集した企画展示「テレビゲームとデジタル科学展」において、赤外線を用いた測位システムと小型端末を用いて、展示物について学習をしながらゲームを進める世界初の実世界ロールプレイングゲームを実現したユビキタスゲーミングの展示化である。廣瀬らは論文[2]において、“実際の空間そのものをゲームの空間として設定することにより、その空間を歩き回りつつ、実世界におけるさまざまな情報を得ながら楽しむことができるゲーム”と説明しており、測位システムと小型端末によって展示鑑賞者の行動に合わせたインタラクションを実現している。後者の「マジクエスト (MAGIQUEST)」は、2005 年にアメリカで誕生したファンタジックな世界観の大規模な展示造作で構成される体験型ロールプレイングアトラクションである[3]。日本国内では、東京ドームシティアトラクションズ、ラグーナ蒲郡のラグナシアといったアミューズメント施設で稼働している。

アトラクションの内容としては、体験者は赤外線発信装置や記録用メモリが内蔵された「ワンド」

*1 神奈川工科大学情報工学専攻, kitada@shirai.la

*2 新潟県立自然科学館, t-wada@sciencemuseum.jp

*3 神奈川工科大学, shirai@ic.kanagawa-it.ac.jp

*1 Information and Computer Sciences, Kanagawa Institute of Technology

*2 Niigata Science Museum

*3 Kanagawa Institute of Technology

と呼ばれる杖型端末を使い、アトラクション内に隠されたアイテムを収集しながら、クエストと呼ばれる試練をクリアすることが目的である。

この2件の先行事例および研究の他にも、例えば、ナムコ・ナンジャタウンの「もののけ探検隊」[4]のような端末を設置する施設共存型が存在する。

本プロジェクトは RFID を使用するという点に関して、すでに行われている数多くのエンタテインメントシステムに似ているが、プレイヤーとのインタラクションは、3面のプロジェクションマッピングによって投影された部屋と部屋に付随するガジェットによって構成されており、マジクエストほどの造作を必要とせず、科学コンテンツの情報提示やポータビリティ、拡張可能性において特徴がある。

3 企画展の概要

3.1 概要

本プロジェクトで開発されたシステムは、新潟県立自然科学館にて7月21日から9月2日の間、開催される企画展「謎解きアドベンチャー失われた紋章」で使用されるシステムとして開発がおこなわれた。

本企画展は「物質とは何か？」というテーマを元に、探索ゾーンと展示ゾーンが設けられている。探索ゾーンでは、古代ギリシャで物質の根源として考えられていた火・水・風・土からなる四代元素、ヨーロッパ中世で行われていた錬金術、現代の化学につながる歴史の歩みをプロジェクションマッピングによるクイズゲームコンテンツを体験できる（以下、略名としてサイエンスクエストを使用）。

展示ゾーンでは、探索ゾーンの解説パネル、プロジェクションマッピングを利用した展示物などテーマにそった解説コンテンツを中心に解説コンテンツが展示されている。

3.2 コンテンツの設定

探索ゾーンのクイズゲームとプロジェクションマッピングを活用したコンテンツの世界観設定として次のようなシナリオを設定している。

19世紀のイギリスを舞台とし、依頼人である伯爵(図1)から四代元素をモチーフとした火・水・風・土の4つ紋章を入手することを託される。

紋章は難易度を表しており、火から順に難易度が高くなる構成となっている。体験者は入場時に難一つの紋章を選び、真実のランタンと呼ばれるRFIDが内蔵されたLEDランタンを持って、プロジェクションマッピングによって様々な世界が描かれる5つの試練の部屋を道順に沿って冒険していく。その過程で、各試練の部屋で出題される科学クイズを解きながら、紋章を入手することが目的となっている。全ての試練の部屋を冒険後、出口にて科学クイズの結果に応じて紋章の入手の可否が判定され、設けられた基準を満たしていれば、成績書(図2)に印字される形で体験者に紋章が手渡される。



図1 依頼人のイメージ

Fig.1 "Coil Friedman", client of the quest



図2 成績書のイメージ

Fig.2 Certification of result

3.3 体験の流れ

体験者は用意された道順に沿って通路を進んで行きながら、順番にコンテンツを体験していく。

(1) 入場（依頼人の部屋）

体験者が体験ゾーンに入場すると、依頼人から紋章入手を依頼される依頼人の部屋から始まり、担当員である依頼人の秘書からランタンを手渡される（図 3）。ここでは、紋章の選択をおこない、システム内部的には、ユーザー情報の登録をおこなう。



図 3 真実のランタン

Fig.3 "Lantern of True", the user interface

(2) クイズの回答（試練の部屋 1～5）

紋章の選択後、体験者は道順に沿って、試練の部屋を冒険していく。

試練の部屋では、各部屋の中央に設置されている台座にランタンを置く事で、部屋内がプロジェクションマッピングによって映像が投影され、クイズの問題と 2 つの解答候補が中央の壁に投影される。体験者は制限時間（10 秒）以内に部屋内に設置されているガジェットを使い、前面の壁に投影されている正解だと思う解答候補が投影されている方のガジェットを作動させ、問題の回答をおこなう（図 4）。



図 4 ガジェットによる回答

Fig.4 Answering by the gadget

このガジェットを使って、体験者の回答をシステム側で正誤判定を行うことで、正誤判定に応じた映像が部屋内に投影される。これにより、正誤判定に応じたインタラク션을実現する。このように 5 つの各試練の部屋に設けられた難易度に応じたクイズを回答しながら、体験者はコンテンツを体験していく。

(3) 成績結果と退場（依頼人の部屋）

道順に試練の部屋を解き、5 つの部屋を巡回し終わると出口側の設けられた依頼人の部屋に戻る形となる。ここでは、各 5 つの試練の部屋のクイズ成績を成績書として体験者に渡し、ランタンの回収を行う。

4 システム構成

3 で紹介したコンテンツを実現するためのシステムについて解説をおこなう。システムを解説するにあたって依頼人の部屋と各試練の部屋のシステム基本構成図と解説を以下に示す（図 5）。

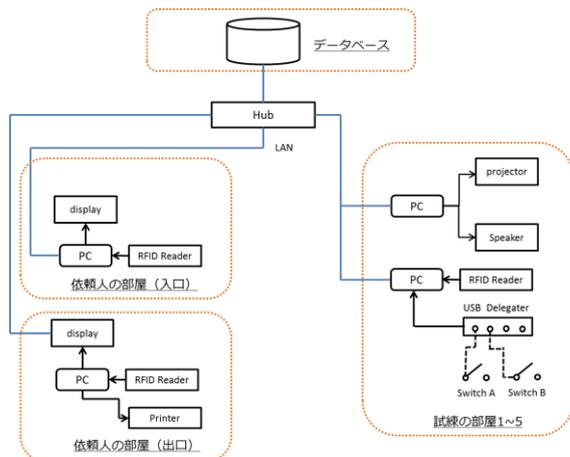


図 5 基本構成図

Fig.5 System structure

依頼人の部屋(入口・出口)には、RFID リーダーを使用する目的で PC1 台と RFID リーダーが設置されており、出口側の試練の部屋のみ成績書発行のためにレーザープリンタが設置されている。

各試練の部屋には、依頼人の部屋と同様に RFID リーダーとガジェットの制御用（以下、略名としてクライアント PC を使用）とプロジェクションマッピングの映像制御用の PC の計 2 台、ガジェットの入力を検知するための株式会社ビッドトレードワンの USB 制御デバイス[5]、スピ

一カ、プロジェクタが設置されている。

なお、各 PC は OS に Windows7 Professional エディションを使用し、LAN ケーブルとハブでネットワークに接続されており、固定 IP アドレスが割り振られている。

また、室内の照明の制御、体験者の動線追跡、検知、告知をおこなうシステムも別の機器によって運用されている。具体的には、試練の部屋 1 と試練の部屋 5 の出た所に光センサーが設置されており、体験者の送り込み・受け入れ管理などに活用されている他、部屋から部屋への移動を促すために適切なタイミングで効果照明を制御するなど雰囲気を壊さない体験者の誘導をおこなう。

4.1 RFID を使った成績・属性システム

出口側の依頼人の部屋で、成績書を発行するには、体験者ごとに入口の依頼人の部屋で選んだ難易度を表す紋章と各試練の部屋で回答したクイズの正誤判定を保管しておく必要がある。これを実現するために RFID とデータベースサーバーを使った成績・属性システムの開発をおこなった。各プログラムの開発においては、開発環境に Visual Studio 2010 (.Net Framework4.0) を使用する。

4.1.1 RFID の用途

体験者を識別する方法として RFID タグを使用する。RFID を使用することで、重複のない固定した値で体験者を識別することができ、データベースにおいて体験者のデータを判別することができる。使用する RFID タグおよびリーダーの仕様としては、10 桁の英数字の値が記録されている EM4102 規格の直径 30mm、厚さ 1.3mm のシールタイプの RFID タグと同規格の OLMEX 社の RFID タグリーダーユニットを使用する。

サイエンスクエストにおける RFID の利用に関しては、ハード側の制約もあり、RFID そのものにユーザーデータ（紋章の種類、成績等）をもたせていない。一般的に RFID と同様の Felica をはじめとする非接触 IC カードは内部に様々なデータを収納するのが一般的である。サイエンスクエストでは、RFID タグを図 3 の真実のランタンの底部分に埋め込み、複数台用意して体験者間で使い回して使用する。たとえば、内部にユーザーデータを持たせる場合、新たに試練の部屋を増設

し、問題数を増やすなどの改良を加えるとなると、複数台ある全てのランタンの RFID タグの内部データを書き換える必要がある。内部的にデータを持たせることで生まれるメリットも存在するが、今回は最小限の個体識別データのみを収納し、それ以外のすべてをシステム側で管理することで、データベースを完全に外部から切り離れたシステムとし、例外ではあるがデータスキミングなどの脅威からも守られる管理と拡張性がしやすい 4.1 の冒頭で述べた仕様で実装をおこなった。

なお、RFID リーダーも RFID タグと同様に世界観を壊さないように部屋の装飾に合わせて、目立たないように各部屋に設置されている。

4.1.2 データベースサーバー

体験者ごとのクイズの正誤判定を保管するデータベースサーバーの構築をおこなった。サーバーの構築にあたっては、サーバー用 OS には Ubuntu Server12.04LTS[6]を使用し、データベース管理システムには PostgreSQL9.14[7]を使用している。なお、開発初期段階では仮想ソフトウェア Oracle VM Virtual Box [8]上に仮想環境をとってサーバーを構築し、テスト工程作業を得て、実機の方へサーバー構築をおこなっている。

具体的に PostgreSQL 上に設計したデータベースの構造を表 1 にまとめた。構造の説明に関しては 4.1.3 で説明を行う。

表 1 データベースの構造
Table1 Design of Database

構成(カラム)	扱うデータ
管理用番号	データベース登録時に自動で挿入される番号
RFID値	10桁の英数字
紋章情報	体験者が選択した火・水・風・土のいずれかの紋章
問1～5の成績結果	問1～5までの成績結果
問1～5の回答情報	問1～5の体験者が回答した選択肢
総合成績	問1～5までを合計値
体験者人数	人数
プレイヤー(RFID)の管理フラグ	trueかfalseで判別
登録日時	データの登録日時
更新日時	データの登録の最終更新日時

4.1.3 データベースの利用

実際にデータベースサーバーを使用し、体験者ごとのデータを管理するために依頼人の部屋(入口)で使用する体験者情報を登録するプログラム ScienceQuestEntry と各試練の部屋で使用するクイズの進行および正誤判定プログラム Lantern を開発した。両プログラムともにサーバー側の

PostgreSQL と通信をおこなうために .NET Framework データ プロバイダの Npgsql[9]を使用する。

まず、体験者情報を登録するプログラム ScienceQuestEntry は、体験者が入場する依頼人の部屋（入口）において、依頼人の秘書にあたる係員が、RFID リーダーでランタンの RFID 値を読み取り、体験者が希望する紋章（属性）、体験者人数を決められた数字に置き換えたものをテンキーで入力することでデータベース内に表 1 にもとづいた体験者のデータが 1 件登録される。

次にクイズの進行および正誤判定プログラム Lantern は、各試練の部屋の回答および正誤判定を行うためにクライアント PC 上で稼働している。

台座にランタンが置かれると、RFID 値からデータベースに登録されている該当する RFID 値の体験者のデータを問い合わせ、映像制御 PC と連携しながら、クイズの進行とガジェットによる正誤判定を得て、体験者のデータの更新をおこなう（図 6）。

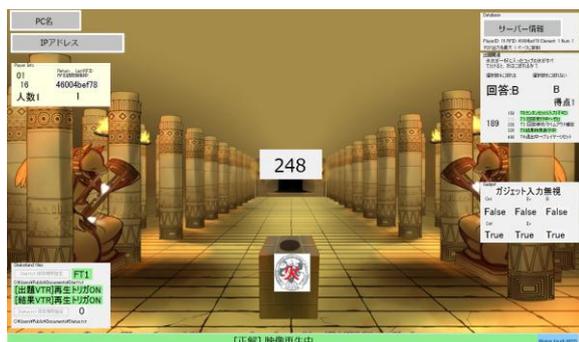


図 6 クイズの進行を管理する Lantern プログラム
Fig.6 Program "Lantern", for quiz procedure management

また、Lantern プログラムは依頼人の部屋（出口）の成績書発行時の印刷も受け持っており、依頼人の部屋の PC 上で稼働している。各試練の部屋の問題を終了した体験者のランタンを RFID リーダーで読み取り、紋章を入手できる正解数であるかデータベースに問い合わせる成績書の印刷をおこなう。

なお、ランタンは使い回して使用するため、そのままデータを登録していくだけでは、重複したデータがデータベースに登録されてしまう、そこで、各体験者のデータ内にプレイヤー（RFID）の管理フラグを設け、登録時と各試練の部屋での

コンテンツ体験中はフラグを稼働中(true)、成績書発行後にはフラグを体験終了(false)とすることで、RFID 値がデータベース内で重複していてもフラグが稼働状態の体験者のデータのものを指定することでこの問題が解決する。

4.2 プロジェクションマッピング

各試練の部屋の天井には NEC ディスプレイソリューションズ製のプロジェクタ（NP-M350XSJL）が前面・右・左側の壁に向かって設置されている（図 7）、それぞれが部屋の前・右・左の壁に映像を投影することで、プロジェクションマッピングを実現している（図 8）。



図 7 プロジェクタ群
Fig.7 Projector clusters

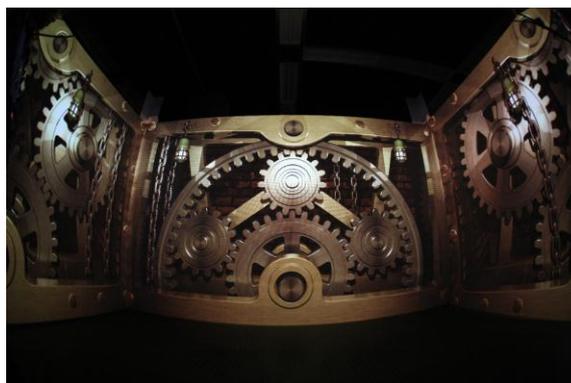


図 8 プロジェクションマッピングの例
Fig.8 Result example of Projection mapping (Room1)

なお、映像の制御方法として、映像制御用の PC で稼働するプログラムの仕様上、TCP/IP による同期が難しいため、RFID クイズの進行および正誤判定プログラム Lantern が稼働するクライアント PC と映像制御用の PC との間でファイル共有機能を使って、映像の制御をおこなっている。

具体的には、Lantern プログラムの進行に合わせて、映像制御用の PC 側のファイル共有フォルダの指定されたテキストファイルに進行状態を示す略語の書かれた内容を書き込み、映像制御用の PC 側が一定周期にそのテキストファイルを読み込むことで Lantern プログラムの進行状況を把握され、連携を実現している。

5 問題と解決策

本プロジェクトで開発されたシステムは 2012 年 7 月 21 日の企画展の開始から稼働を開始している (図 9)。

本章では稼働開始から現在にいたるまで実際に発生した問題と解決策について述べる。



図 9 企画展の様子

Fig.9 Entrance of Exhibition in Niigata Science Museum

一つ目に開発者側が想定していた体験者のアクションと実際のアクションが異なる問題が発生した。各試練の部屋でのガジェットを使ったクイズの回答において、体験者側が回答を開発者側が想定していたよりも制限時間一杯まで回答に悩み、カウントダウン 0 秒の段階でガジェットを作動させる行動が多いことが分かった。回答に用いるガジェットは試練の部屋ごとに異なるため、作動までに時間がかかるガジェットの場合、作動させている間に回答が打ち切られてしまうこともあり、クレームになりうる問題となった。

この問題の修正策として、回答時間の修正を加えることとなったが、タイミングがどんどんシビアになっていき、システム間の連携もさらにシビアになっていく問題に発展した。プログラム側の調整により、解決はしたが、本質的な解決として

はクライアント PC と映像制御用の PC を TCP/IP で同期するか 1 台のシステムで統合するような改善が必要である。

二つ目にファイル共有による同期方法による問題も浮上した。クライアント PC と映像制御用の PC 間のテキストファイルを使った進行状況の同期を行う際に稀にテキストファイルが開けないというエラーが発生し、例外処理として扱われ、プログラムが強制終了するといった致命的な障害が発生する問題が起こることが分かった。原因としては、テキストファイルを書き込もうとした瞬間に映像制御用の PC 側のプログラムがテキストファイルを読み込んでいてアクセス権限的にアクセスが出来ずエラーになる場合とネットワークの遅延などが考えられる。問題の解決策として、映像制御用の PC の動作を真似るエミュレータを開発し、実際にアクセス権限の関係でテキストファイルの取り合いになる状況を再現し、プログラムを失敗することを前提にした内容に変更し、テキストファイルを開くことに成功するまで繰り返す仕様に変更した。

6 まとめ

大規模なエンタテインメントシステム開発において体験者を「楽しませる」ことを考えた場合、見た目やインタラクションの面白さも重要であるが、それ以上に安定して動作することが重要であるということが分かった。そのためにもユーザーを想定したテスト工程や失敗を前提とした設計を行う必要がある。

謝辞:本論文執筆にあたって、ア트워크をご提供いただいた神奈川工科大学情報メディア学科所属の大貫絵梨、望月陽子、神奈川工科大学情報工学専攻所属の小出雄空明、サカエ商工各位、および写真の提供と取材にご対応いただいた新潟県立自然科学館の西潟氏、富士氏、サイエンスクエスト運営・制作関係者全員にここに謝意を表したい。

参考文献

[1] 檜山 敦, 山下 淳, 西岡 貞一, 葛岡 英明, 広田 光一, 廣瀬 通考: “「ユビキタスゲーミング」位置駆動型モバイルシステムを利用したミュージアムガイドコンテンツ”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 vol.10, No.4, 2005

[2] 檜山 敦, 山下 淳, 西岡 貞一, 葛岡 英明, 広田 光一, 廣瀬 通考: “ユビキタス・ゲーミング 博物館におけるユビキタス情報支援システムの実証実験-”, 電子情報通信学会総合大会講演論文集 2005 年 基礎・境界

[3] マジクエスト

<http://www.tokyo-dome.co.jp/magiquest/index.html>

(最終アクセス : 2012 年 8 月 9 日)

[4] ナムコ・ナンジャタウン,もののけ探検隊

<http://www.namja.jp/attraction/shop/shop02.html>

(最終アクセス : 2012 年 8 月 9 日)

[5] 株式会社ビットトレードワン,USB DELEGATER

<http://bit-trade-one.co.jp/P-Tools/Pro001-DEL.html>

(最終アクセス : 2012 年 8 月 9 日)

[6] Ubuntu Server 12.04 LTS

<http://www.ubuntu.com/download/server>

(最終アクセス : 2012 年 8 月 9 日)

[7] PostgreSQL

<http://www.postgresql.org/>

(最終アクセス : 2012 年 8 月 9 日)

[8] Oracle VM VirtualBox

<https://www.virtualbox.org/>

(最終アクセス : 2012 年 8 月 9 日)

[9] Npgsql

<http://pgfoundry.org/projects/npgsql/>

(最終アクセス : 2012 年 8 月 9 日)