

## 高エネ機構における加速器 VR コンテンツ開発 ACCELERATOR VR-CONTENTS DEVELOPMENT AT KEK

古坂道弘<sup>#,A)</sup>, 広田克也<sup>A)</sup>, 清水 邦昭<sup>A)</sup>, ハイス由乃<sup>A)</sup>, 太田律子<sup>A)</sup>, 池松克昌<sup>A)</sup>, 山口誠哉<sup>A)</sup>, 肥後寿泰<sup>A)</sup>,  
阿部 哲郎<sup>A)</sup>, 福田 茂樹<sup>A)</sup>, 池田進<sup>A)</sup>,  
岩下芳久<sup>B)</sup>, 矢野博明<sup>C)</sup>

Michihiro Furusaka<sup>#,A)</sup>, Katsuya Hirota<sup>A)</sup>, Kuniaki Shimizu<sup>A)</sup>, Yoshino Hayes<sup>A)</sup>, Ritsuko Ota<sup>A)</sup>, Katsumasa Ikematsu<sup>A)</sup>,  
Seiya Yamaguchi<sup>A)</sup>, Toshiyasu Higo<sup>A)</sup>, Tetsuo Abe<sup>A)</sup>, Shigeki Fukuda<sup>A)</sup>, Susumu Ikeda<sup>A)</sup>, Yoshihisa Iwashita<sup>B)</sup>,  
Hiroaki Yano<sup>C)</sup>

<sup>A)</sup> High Energy Accelerator Research Organization

<sup>B)</sup> Kyoto University

<sup>C)</sup> University of Tsukuba

### Abstract

The KEK VR development team collaborated with the University of Tsukuba to reproduce the "KEK Educational Accelerator" and "X-band Acceleration Cavity" in the VR world in the UNITY game environment. Those who have experienced the recreated accelerator in the VR space are amazed at its realism and the fact that they can look inside and see its internal structure and simulated beams. An attempt is also being made to show the electromagnetic field in the cavity and the acceleration of electrons. The KEK VR development team was launched under the new project IINAS-NX from this fiscal year consisting mainly of members from the previous KEK IINAS project, the Open Innovation Promotion Department, and the Accelerator Laboratory.

### 1. はじめに

KEK では仮想現実 (VR) 技術を使って以下のような目的で開発を進めている。1) 加速器科学に関する一般の方への広報、2) 教育教材として KEK の総合研究大学院大学 (総研大)、一般の高校生、高専生、大学生、大学院生に対するデモンストレーション、あるいは加速器の授業の導入の一コマに使えるようなものの開発、3) 最終的には研究者のための VR 空間でシミュレーション結果ビューアーを作成し、ゴーグルで見回すことが可能なものの開発。

2020 年度以前は、KEK オープンイノベーション推進部が筑波大学と共同で X バンド加速器の VR 化及びその中での電界、電子の振る舞いを見せる VR の開発を行なうとともに、IINAS (Inter-Institution Network for Accelerator Science) プロジェクトとして教育加速器 (KETA) [1] の VR 化を行なって来ている。2021 年度にはそれらのプロジェクトを統合し、VR 開発チームとして開発を行なっている。さらに 2022 年度からは IINAS-NX として新しいプロジェクトが立ち上がり、デジタルコンテンツ開発運用チームとして活動を行なっている。

#### 1.1 加速器科学に関する一般の方への広報

VR で見る加速器は、例えば教育加速器のような加速管 1 本のシステムであっても現物を見るような驚きがある。VR ならではの事であるが、加速管の近くに行くことで加速管の中の構造が見え、電子が走っているのも見ることができる。このような経験は現物の加速器では不可能である。

今年度の KEK の一般公開は事前登録制で限られた

人数の参加で行われたが、その一つとしてこの VR システムの体験コーナーを設けた。ゴーグルをつけて VR 世界の中を歩き回り、見回るという行為は、少なくとも現時点ではほとんどの人にとって初体験のものであり、感嘆の声を上げる人がかなり多かった。現実の世界ではない、別の世界を見回れる感覚は多くの人にこれまでとは違った経験となっているように見える。

ちなみに 13 歳未満の児童には VR ゴーグルは推奨されていないため、残念ながら小学生以下の児童には体験できない。

#### 1.2 教育教材開発

KEK では総研大に加速器概論、加速器概論演習の授業がある。その最初の一コマにこの VR を使用し、概要を理解してもらおうという方向で開発を進めている。また、IINAS-NX で行われる国際セミナーでもこのシステムを使用しようとしている。

さらに、VR のシステムを学生などが自ら製作し、色々なことを試してみることは、いわゆる project based learning として非常に良い仕組みとなる可能性を秘めている。

かなり多くの大学には中小規模の加速器施設があり、KEK の加速器科学総合育成事業として幾つかの大学と事業を行っている。その中で広島大学、筑波大学、北海道大学などと各施設の紹介 VR を作成中である。広島大学放射光科学研究センターの HiSOR、筑波大学のタンデトロン[2] を UNITY に取り込み VR として見ることができるものを開発し、一般に公開したいという希望がある。

<sup>#</sup>furusaka@post.kek.jp

### 1.3 研究のツールとしてのシミュレーション結果ビューアー

加速器の粒子シミュレーションとしては GPT、CS studio などが使われており、後者では VR ゴーグルで結果を見ることもできるようになっている。今後さらに、VR (仮想的な世界)、AR (現実の世界の中に仮想的な世界のものを重ねる) 等々と、それらを統合した XR (Extended Reality) は研究の世界におけるツールとして使われていくことは間違いないであろう。また、今後様々なブレイクスルーが起きるであろう。このプロジェクトでは、このようシミュレーション結果ビューアーとして様々な試みをするを考えている。例えば空間次元で 3 次元、時間で 1 次元、色、透明度、粒子の変形、音、力など様々な次元量を駆使して多次元空間をどう表現するのが良いかといったことが考えられる。また、シミュレーションのパラメタを調整する方法として、例えば指先の動きとリンクするのが自然だと思われるが、まだまだ発想の余地があると思う。

我々は以上のような動機を持って開発を進めてきている。

## 2. UNITY で開発した仮想電子加速器

### 2.1 教育加速器 KETA の VR 化

KETA の VR は Meta Oculus 2 という VR ゴーグルをターゲットとして開発した。元々のデータは 3D CAD である Autodesk Inventor を使って入力された。それを出力フォーマットとして fbx、あるいは obj で書き出し、UNITY で読み込みを行っている。fbx の場合は色もそのまま移行できる。

3D CAD データを UNITY 内に取り込む作業自身は比較的簡単で、短時間で済む。しかし、その後 VR 空間で色、材質感、ライティング、影といった rendering に関連したものに関しては調整が必要である。

さらに全てのデータは最終的に polygon データになっていて、その構成 polygon 数が大きすぎるとコマの更新にかかる時間が長くなりすぎ、空間の中をスムーズに動くことが難しくなる。Polygon 数を減らすには多くの方法がある。今回はやっていないが、まずは 3D CAD の段で不要な詳細を削ることが有効のように思われる。自動的に polygon 数を減らすツールもあるようであるが、出来上がった時の質感が落ちる場合があり、結局は手作業で polygon を減らすことになるのが一般的のようである。

### 2.2 VR 教育加速器の説明

まずは UNITY のターゲットとして Oculus 2 とし、VR ゴーグルに開発したシステムをダウンロードする。それを実行すると最初に見える画面は Fig. 1 のようになる。「はじめる」をクリックすることで次の画面に移行する。

Figure 2 に示したように、全体画面中心にある小さな緑の十字を、「実験室へ」の下の矢印に合わせてと内部に入れる。以下操作は同じで、コントロー

ラは無くとも画面中央の十字を足跡、矢印、小さな丸などのターゲットに合わせて 3 秒待つとそのターゲットの種類に応じた動作が起きる構成となっている。



Figure 1: Front page.

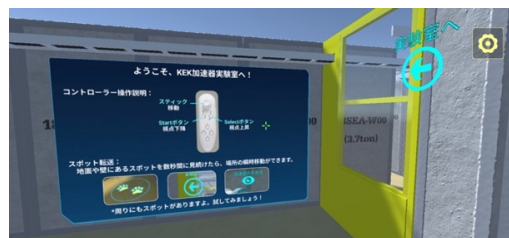


Figure 2: Instruction panel.

VR-KETA の全貌を Fig. 3 に示した。右手奥側に加速器本体、手前左側にクライストロン、モジュレータ、その手前に制御コーナーがあるのが見える。



Figure 3: The whole picture of the accelerator system.

加速器本体は Fig. 4 に示してある。目のマークに青い十字を合わせると加速管の中を見ることができ

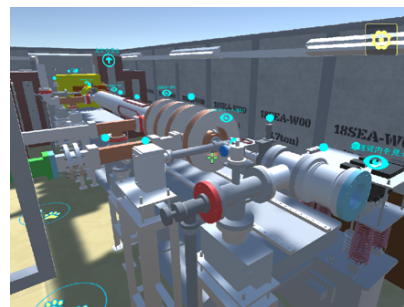


Figure 4: Accelerator view.

Figure 5 に示すように。青い小さなマークに十字に合わせると説明パネルが出てくる。

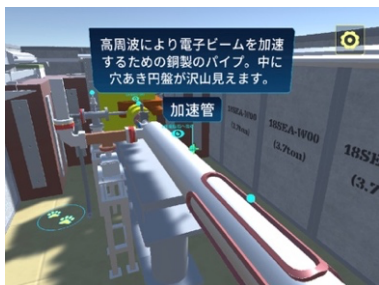


Figure 5: The accelerator tube, steering coils. An explanation panel is also displayed.

Figure 6 に示したように、電子銃のすぐ近くに寄るとある距離以内の物は消え、電子銃、アノードの切断面を見ることができる。

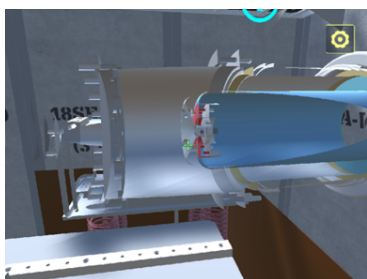


Figure 6: The electron gun cutout view.

Figure 7 に示したように。クライストロン、パルスフォーミングネットワークも、ある程度その内部構造も含めモデル化されている。

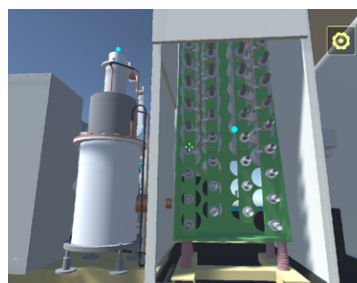


Figure 7: The Klystron and the pulse forming network.

Figure 8 には制御卓、左側にはクライストロン、モジュレータ、LLRF システムなどが見えている。



Figure 8: The control system.

### 2.3 開発中の粒子シミュレーション VR

GPT シミュレーション結果の VR 空間での粒子アニメーションを開発している。その結果の一部を Fig. 9 に示した。ただし、図では時間間隔は一定ではなく、現象が見やすいところの画像を取り出している。また、黄色の線は単なるガイドである。1) 電子源から一様に電子が出てくる。2-3) 電界が粒子を加速・減速し、バンチングが起こり始めている。4) バンチングし、一つの粒子の塊が分離。5) 二つ目のバンチングが起こり始めている。6-7) 1 周期が終了、

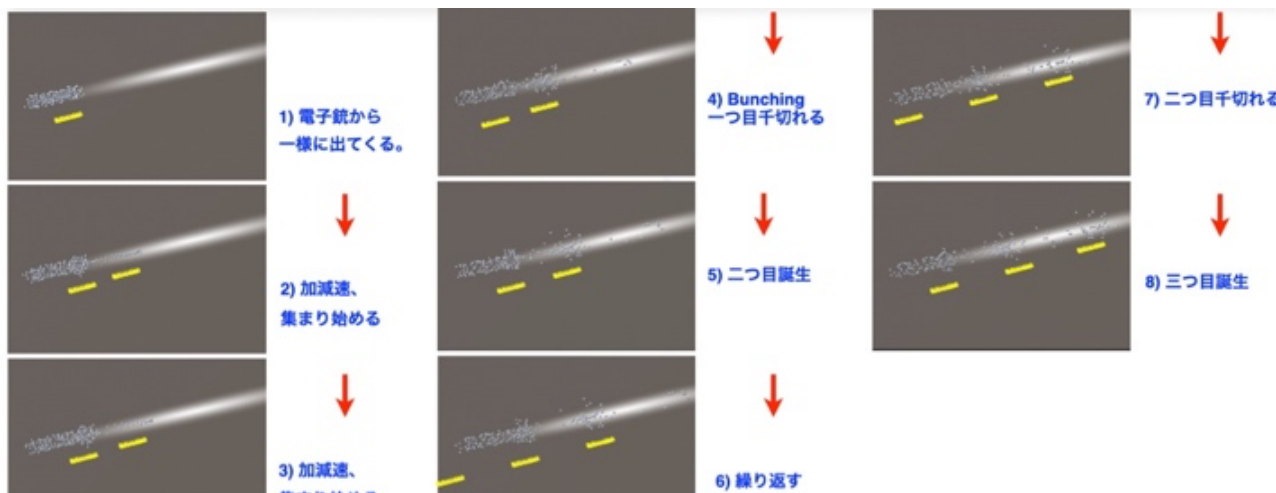


Figure 9: Beam tracking simulation result in VR. Yellow lines are just guide to the eyes.



次のサイクルに入る。8) 順次3つ目のバンチングが始まる。このデータでは空間電荷効果は入っていないが、効果を入れた計算の結果を入力することで簡単に結果を表示できる。

この粒子シミュレーション表示では、まずは粒子1個に相当する prefab と呼ばれるオブジェクト、ここでは小さな立方体を作成し、それを数百個複製している。画面の更新の際に、それぞれの粒子の座標を全て書き換えることで動きを見せている。Object志向のシステムなので、全ての prefab には transform という変数があり、position、orientation、scale に関し x、y、z それぞれを独立に変えることができる。実際 UNITY 開発環境の中ではアニメーションをしながら、Figure 10 に表示されるようなパラメータをダイナミックに実時間で変えることができる。例えば視点を変えながらシミュレーションを見るといったことが可能である。VR ゴーグルを用いていればその位置、見ている方向などがカメラの位置、向きを表す変数に刻々入力される。

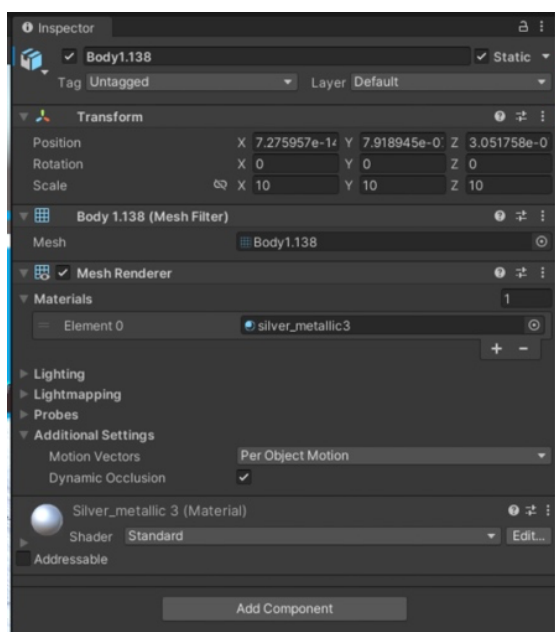


Figure 10: The inspector pane in the UNITY development environment.

各オブジェクトは C# で書かれた script を持つことができる。UNITY のシステムがイベントループ制御を行なっていて、初期設定、画面更新のタイミングで全ての script を評価する。通常 60-90 FPS (frame per sec) 程度になるようにオブジェクトの数などを調整する。

## 2.4 X-Band 加速空洞の VR 化

さらにもう一つが X-Band 加速空洞の VR 化で、空洞の 3D モデルを半透明にした上で、中に電界を色付きの円錐で表現し、色、円錐の向き、高さを変えてその変動を表現するシステムを作成した。また、中に電子を入れ、それを発射するタイミング

を変化させることでその後の動きを見せるゲームシステムも開発した。残念ながらその当時の VIVE という VR ゴーグル向けに開発したため、システムのセットアップが難しいという問題があった。

## 2.5 スマートフォンでの VR 体験、WebVR の可能性

VR ゴーグルはまだそれ程一般的でないため、スマートフォン (以下スマホ) で VR を見ることができると一般の人への紹介が楽になる。実際スマホを VR ゴーグルとして使うためのハコスコ (箱スコープ) のようなものがある。スマートフォンを 2 分割し、右眼用の画面、左眼用の画面とし、レンズ系を通して見ることで、ほとんど VR ゴーグルとして使用できる。実際 VR ゴーグルの中身はほとんどスマホと同じようなものである。スマホ内部で位置、向きの情報を刻々と得ることができる (6 DOF; degree of freedom の情報) ため、それを利用して VR を動かすことができる。ただし、スマホ自身にはコントローラはないため、コントローラを別途購入して利用することになる。一つの可能性は Bluetooth キーボードを使って qwe/asd などのキーを用いてコントローラとすることである。もう一つはゲーム用のコントローラを流用して使用することである。しかし、Bluetooth の接続があまり安定していないこと、UNITY の入力デバイスとしてコントローラを使うための software driver の組み込みが簡単ではなく、さらに機種依存性があるため、開発は簡単ではなかった。今回はこの問題を回避するためコントローラ無しでも移動などのナビゲーションを可能としている。

また YouTube で VR 体験が可能になるといった使い方ができる WebVR のシステムを試作してみた。Android スマホを用いて試してみたところ、市販の VR ゴーグルほどではないにしろ、それなりの体験ができることが分かった。ただし、現時点では iPhone では WebVR がサポートされていない問題がある。さらに WebVR を使うと VR でのスイッチ、ボタンなどの UNITY (C#) 環境での GUI 制御に加え、通常の http 対応のボタンなどを別途開発する必要があり、それなりに複雑なシステムとなる。十分実用的なシステムを作ることも可能である。問題はパフォーマンスで、機種によっては画面の更新が遅く、カクカクとした動きしか見ることができなくなったり、画素数が少なすぎて荒い画面しか見えなくなったりといったことがある。通常のデモンストレーションでは問題ないレベルにすることが可能である。

もう一つの手段はアプリとして開発し、App Store、Google Play ストアで download できるようにすることである。しかし App Store で download できるようにするためには Apple developer program に加入しなければならず、年会費が必要である。

## 2.6 UNITY game 開発環境の利用

VR の開発環境としては UNITY が 45% のシェアを持ち、Unreal engine が 17.1% でそれに続いている [3]。

KEK ではこれまでの開発環境としては UNITY を使って来ている。

VR のゴーグル (あるいは Head Mount Display, HMD)、例えば Meta Oculus 2、は基本的には Google が開発した Android OS が走っている計算機で、ほとんどスマートフォンと同じような物である。その画面を左右に二分割し、右眼、左眼に対応した画像を映し出す。ゴーグルにはレンズが付いていて、平面の画像に映し出された歪んだ像を、あたかも眼前の広い角度を見ているような像に変換する。

UNITY は polygon で作成した 3D モデルを右眼、左眼に対応した二つの仮想カメラで撮影し、それをゴーグルの右眼、左眼用の画面に映し出すことができる。(Figure 11 を参照) また、ゴーグルはその場所、向き、6 自由度の情報を刻々とその計算システムに送っている。その情報を元に 3 次元のモデルの中で自由に動き回ることができ、周りを見回すことができる。また、ゲームのコントローラのようなものが Bluetooth で接続されていて、2 自由度のジョイスティックがある他、いくつかのボタンが付いていて、UNITY の入力として使うことが可能である。

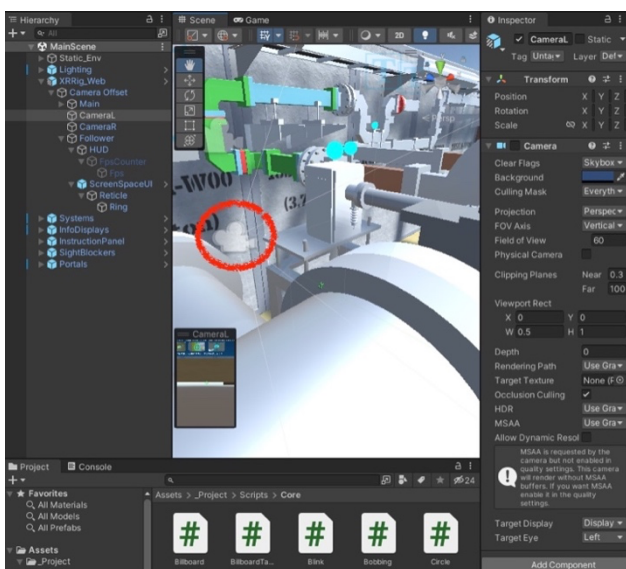


Figure 11. The cameras for stereo view shown in the red circle.

Figure 11 の赤丸で示した場所に右眼、左眼に対応した二台の仮想カメラがあり、VR のモデルを撮影している。あたかもその場所から現実の世界を見ているような感覚が得られる。

Figure 12 に構成部品の階層構造を示した。例えば加速器本体はここでは accelerator としてまとめられているが、それは Assembly-4:1、Assembly-5:1 などが構成部品となり、その中に変更電磁石、セラミックダクト、フランジ、ゲートバルブ、ヘルムホルツコイルなどの部品が入っている。教育 S-AccelerationTube の中にある Body1.138 が実際の polygon data を表している。ここでの階層構造はほぼ 3D CAD でのそれを再現しているが、それを編集す

ることも可能である。また、材料、表面の質感、色などはこの body 1 つに対し一つのものしか割り付けられない。



Figure 12. Hierarchy of the accelerator components.

### 3. まとめ

KEK では UNITY の VR/AR 開発環境を使い、様々な加速器、特に教育加速器 (KETA) の VR 化を行っている。加速器を見て周り、加速器の主だった部分に関し簡単な説明を読むことができ、独立に粒子シミュレーションで Bunching の様子を見ることができ VR アニメーションを作成した。これは一般の人だけでなく、学生、研究者に向けての広報の一環として開発されたものである。さらに教育教材として使えるシステムになっているとともに、研究現場での応用をターゲットにさらなる開発を行っていく予定である。

### 参考文献

- [1] Masafumi Fukuda, Yu Morikawa, Kazuyuki Nigorikawa, Yasunao Takeuchi, Toshiyasu Higo, Shigeki Fukuda, "DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE EDUCATION-ORIENTED ACCELERATOR", Proceedings of the 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, August 9-12, 2021, QST-Takasaki Online, Japan.
- [2] [https://www.tac.tsukuba.ac.jp/tac/wp-content/uploads/equipments/1mv\\_tandetron.mp4](https://www.tac.tsukuba.ac.jp/tac/wp-content/uploads/equipments/1mv_tandetron.mp4)
- [3] <https://metaverse-kyokasho.com/game-engine-share/>