

KEK 一般公開における来場者カウンターの製作と運用

○小笠原 舜斗[#]、岡田 貴文、帯名 崇
高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設

概要

2019年までのKEK一般公開では、SuperKEKB加速器において見学者数の計数を機械式数取器で行っていた。2023年の一般公開では新たな試みとして、見学ルート入口と出口でそれぞれ異なる電子的な計数システムを新たに製作し導入した。入口においてはボタン押下による電子的な手動計数、出口においては画像処理による自動計数を導入し、それぞれの計数結果はEPICSでリアルタイムに共有されるようにした。これら二つのシステムの製作と運用結果、来年以降へ向けた課題と展望について紹介する。

1. はじめに

KEKつくばキャンパスでは、例年9月頃に一般公開を実施している。2020年以降は新型コロナウイルスの影響で開催形式を変更せざるを得なかったものの、2023年度の一般公開^[1]は2019年以来4年ぶりに、事前予約不要・自由見学方式での実施となった。

SuperKEKB^[2]は、KEKつくばキャンパスに所在する電子陽電子衝突型加速器である。地下11mにある一周約3kmのトンネル内に、電子および陽電子の円形加速器が設置されている。例年の一般公開では、3kmのトンネルのうち約200mの区間を開放し、見学者を受け入れている。

これまでの一般公開では、SuperKEKBの見学者数を機械式の数取器を用いて計数していた。2023年度の一般公開では、時間帯別の来場者数など従来よりもきめ細かい情報を得ることを目的として、画像認識による来場者数の自動計数を導入した。また、これを補完するシステムとして、スイッチとArduinoを用いた電子的な計数デバイスによる手動計数も導入した。これら二つのシステムによる計数結果は、加速器制御で広く使われるEPICS (Experimental Physics and Industrial Control System)^[3]と呼ばれるフレームワークを用いて収集・記録した。本稿では、これらの計数システムの開発と運用結果について紹介する。

2. SuperKEKB 見学コース

2.1 見学コース概要

図1に、KEKつくばキャンパスの航空写真およびSuperKEKBの見学コースを示す。図1中の赤と青の円は、SuperKEKBメインリング(電子および陽電子リング)を示す。一般公開では、SuperKEKBトンネルに幾つかある地上建屋のうち「6C搬入棟(6C)」と「富士実験棟(富士)」の間およそ約200mの区間を見学ルートとして公開する。6Cを入口、富士を出口として、トンネル内は一方通行としている。見学者は6Cから入城し、トンネル各所の職員から説明を受けながらトンネル内を自由に見学し、富士で退城する。図2に、一般公開当日のトンネルの様子を示す。

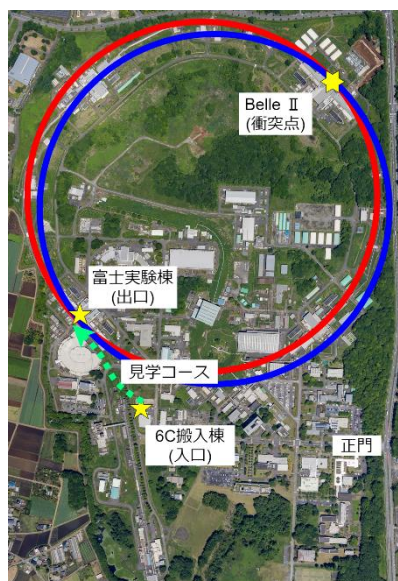


図1. SuperKEKB 見学コース

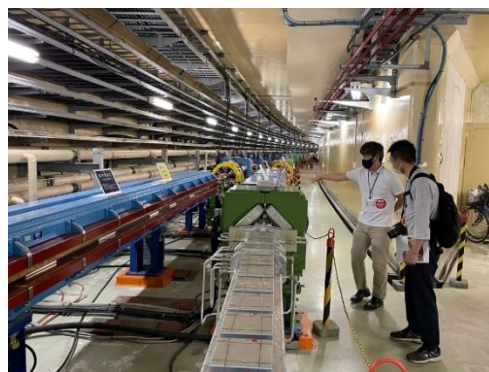


図2. 一般公開中のトンネルの様子

2.2 6C 搬入棟(入口)

トンネル入口となる6Cは、電磁石等の装置を地下のトンネルへ搬入するための地上建屋である。地上階には大型のシャッターを備え、建物内には地上から地下トンネルまでを貫く約7m四方の吹き抜けおよび天井クレーンを備える。

一般公開ではシャッターを開放して見学者入口とし、吹き抜け脇にある入城扉の前に机を並べて受付としている。見学者は受付でパンフレットを受け取って入城扉を通り、エレベータまたは階段で地下トンネルへアクセスする。

2.3 富士実験棟(出口)

出口となる富士実験棟は地上2階・地下4階建の建物であり、2階から地下4階までを一つの空間とした大型の実験室を備える。実験室の地下3階部分にトンネルと接続する開口部があり、コンクリートシールドで囲まれた2本のビームライン(電子および陽電子)が実験室を横切っている。地下4階には入域扉が設けられており、これが富士における管理区域への唯一の出入口となる。また、実験室を一周する回廊が地下2階・地下1階にそれぞれ設けられている。

トンネル見学を終えた見学者は、コンクリートシールドの脇を歩いて地下3階から地下4階へ階段で降り、入域扉を歩いて退域する。その後は地下4階の通路を歩いてエレベータホールへ移動し、地上へ戻る。

3. 画像認識による自動計数

画像認識による来場者自動計数のアプローチとして、背景差分法[4]による物体検出を選択した。この方式では、来場者を頭上から撮影する位置に固定したカメラの映像を用い、背景画像と比較することで物体(来場者)を抽出する。さらに、抽出した物体の重心位置をフレーム間で比較し、同一物体を特定・追跡する。事前に設定した計数ラインを通過した物体の数をカウントすることで、来場者数を計数する。

背景差分法による物体検出の実装にあたっては、OpenCV[5]の BackgroundSubtractorKNN を採用した。この機能では、背景画像を特別に与えなくとも、過去のフレーム画像から平均的な背景画像を取得し、差分となる物体を検出することができる。さらに、物体の影を物体とは独立に検出する機能も有する。

3.1 カメラ設置場所の検討

前述の手法で通過人数を正しく計測するには、カメラを計測に適した場所に設置することが非常に重要である。人数計測に適したカメラ設置場所として、以下のような条件が挙げられる。

- 通行人をできるだけ真上から撮影できること。
(真上以外の画角だと、前後に並ぶ等して領域が重なった人物を識別するのが困難になる。)
- できるだけ高い位置から撮影できること。
(カメラ位置が低く画角が狭いと、画面に占める人物の面積が大きくなり、検出精度が著しく低下する。)
- 強い外乱光の影響を受けづらいこと。
(物体の影が色濃く表れた場合や床の反射が激しい場合などに、物体を誤検出しやすくなる。)

これらの条件を満たすカメラ設置場所を検討した結果、富士実験棟(出口)において「B3からB4へ降りる階段を、B1回廊から撮影する」ことが最適との結論に至った。図3に、B1回廊から見下ろしたときのB3→B4階段の様子を示す。



図3. 富士 B1 回廊から見下ろした B3→B4 階段。赤矢印は来場者の動線を示す。

この場所は、

- 十分に高い位置から、ほぼ真上からの角度で通路を見渡すことができる。
- 狭い範囲(階段)のみに見学者の通行範囲を限定することができる。
- 屋内であり、太陽光の影響を全く受けない。
- 階段部分は照明の反射がない。
- 階段では前後の人物との間隔が自然に開くため、複数の人物の領域が重なりづらい
- B1 回廊はアクセス性・作業性がよく、カメラ設置に適した構造体(手すり)がある。
- 一般公開中に B1 回廊に人が来ることは滅多にないので、不用意な接触等による検出失敗リスクを最小限にできる。

といった理由で、撮影位置として最適であると判断した。

使用したカメラは、市販の安価な web カメラ (Logicool C270)である。カメラは図4に示すような固定治具を3Dプリンターで製作し、回廊の手すりに取り付けて設置した。



図4. 3Dプリンターで製作したカメラ固定治具

3.3 計数ソフトウェアの開発

計数ソフトウェアは Python で開発し、物体検出・追跡は前述の通り OpenCV の BackgroundSubtractorKNN を使用した。

カメラから取り込んだ画像フレームは、まず BackgroundSubtractorKNN にかけて、物体と背景の二値画像に変換される。(正確には影を含めた”三値画像”になるが、ここでは影は背景として扱う。) 二値画像は median filter およびオープニング・クロージング処理でノイズを除去した後、得られた領域(物体)の面積と重心を計算する。このとき、一定以下の面積しか持たない領域はノイズとして除去する。

ここまでの処理で抽出された物体の位置等の情報を保存しておき、続いて追跡処理を行う。あるフレームで検出された物体の重心位置を既存の物体重心位置と比較し、近くにある場合は同一物体として判定し、位置を更新する。ない場合は新規物体と判断して、新たに登録する。

人数計数は、画面内に予め計数ラインを設定しておき、追跡の過程で計数ラインを跨いだ物体を数えることで行う。今回は、計数ラインは階段の下から2段目に設定した。計数ラインを階段上に設定したことで、二人以上の人物が短時間に計数ラインを通過する可能性を低くすることができる。そこで、計数ラインを何かの物体が通過した直後の数フレームは、物体の通過を検知してもノイズまたは誤判定であると判断して通過人数に計上しないこととした。

図5に、作成したソフトウェアのスクリーンショットを示す。図5(a)はカメラの映像に物体の軌跡を合成したもの、図5(b)はノイズ処理などを終えた二値画像である。

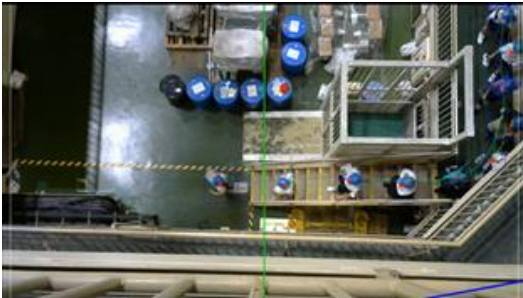


図5(a). 画像処理による物体追跡の様子。緑色の縦線は計数ライン。赤点は各物体の重心。



(b). 背景差分法で得られた二値画像

3.4 EPICS によるデータ収集・記録

画像処理によるカウント結果は、加速器制御で広く使われる EPICS と呼ばれる分散制御フレームワークを用いて収集した。KEK の機構内ネットワーク上に専用のレコードを持つ EPICS IOC を設置し、画像処理ソフトウェアが定期的(10 秒毎)にレコードの値を更新する。レコードの値の推移は、既存のアーカイバ(Archiver Appliance)[6]で記録した。さらに、収集したデータは Grafana[7]を用いて可視化され、KEK のネットワーク上からであれば、累計来場者数とその推移を web ブラウザから簡単に確認できるようにした。図6に、Grafana による画面のスクリーンショットを示す。

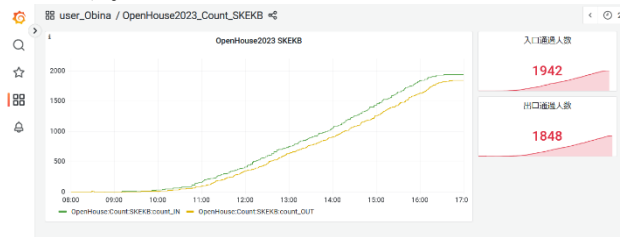


図6. Grafana による可視化画面

4. 手動計数システム

トンネル入口となる6Cでは、適したカメラ設置場所が確保できなかったため、画像認識による人数カウントは設置できなかった。一方で、人数カウントは今年が初めての導入となるので、どれだけ正確に計数できるかは未知数である。そこで、画像認識による計数と並行して、トンネル入口で手動での計数を行うことにした。ただし、従来の機械式数取器は採用せず、電子的な計数デバイスを新たに製作した。

計数デバイスは Arduino Nano を中核として、押しボタンと7セグメントディスプレイ、無線通信モジュール(TWE-Lite UART[8])からなる。押しボタンを押した回数を Arduino Nano がカウントし、自己の EEPROM に記録すると同時に7セグメントディスプレイに表示する。

カウント数はネットワークに接続した PC に有線シリアル通信で転送し、EPICS レコードの値の更新は PC に担わせる予定であったが、実際は6Cにネットワーク環境が Wi-Fi を含めて存在しなかった。そこで、PC を6Cから約50m離れたネットワーク環境のある別の建屋(KEKB 制御棟)に設置し、計数デバイスと PC の間は TWE-Lite UART による無線通信で通信させることにした。それなりの距離かつ建屋の壁を隔てての通信であることから、TWE-Lite UART は高出力モデルを使用した。

事前に通信試験を行ったところ、通信自体は辛うじて可能であるものの電波強度は非常に弱く、パケットロス率は10~20%程度発生した。そこで、本番中に通信が不安定になっても(EPICS の値が更新できなくなっても)情報を復元できるように、来場者数の推移は常に EEPROM にもバックアップを取ることとした。また、通信経路上に人体が入ると電波強度が低下し、

パケットロス率が80%以上に上がることも分かった。

図7に、完成した計数デバイスの外観を示す。Arduinoおよび7セグディスプレイ、押しボタンは1つのユニバーサル基板上に実装した。TWE-Lite UARTは、アンテナを人体よりも高い位置に設置できるよう、約3mの長い配線を通じて本体とは別の基板に実装した。本番では、TWE-Lite UARTは約2mの脚立の上に設置した。

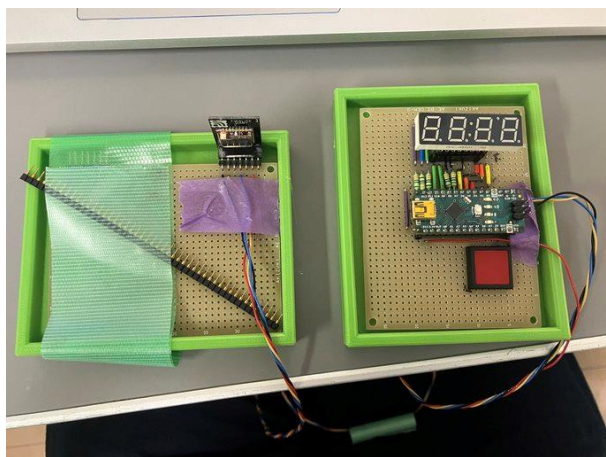


図7. 手動計数デバイス

5. 運用結果

一般公開当日の計数システムは、入口・出口ともに、大きなトラブルなく稼働した。先に示した図6は、一般公開終了時点での計数結果である。累計来場者数は、手動計数で1942人、画像認識で1848人であった。

製作中は、画像認識では一般の来場者とKEK職員を区別できないなどの理由で出口(画像認識)のほうが入口(手動計数)よりも多くカウントしてしまうと予想していたが、実際は画像認識の方が手動カウントよりも100人程度少なく計数していた。富士の階段付近で案内を担当した職員にヒアリングしたところ、子供と手をつないだまま階段を通行したり、子供に覆いかぶさるような姿勢で階段を下りようとする親子連れが多かったとのことであった。そのような姿勢で階段を下りれば、上から垂直に見下ろすカメラからは領域が重なって見えるので、出口側では一人としてカウントされる。入口での手動計測では親子連れは二人としてカウントされるので、誤差となったのは主にそのような親子連れでの来場者であったと推定される。

6. まとめ・今後の展望

2023年度の一般公開において導入した自動・手動計数システムは、大きなトラブルなく稼働し、誤差はあったものの概ね当初の目的を達成することができた。今回得られたデータから、時間帯別の来場者数、平均滞在時間、平均滞在人数なども推定することができた。

画像認識では、主に親子連れの来場者を正しく検出することに課題がある事が分かった。これらの親子連れは階段の前後では領域が分離する、他の来場者よりも領域面積が大きくなる、または形状がいびつになる等の特徴があると予想されるので、これらを勘案して処理を工夫することで検出精度を向上できる可能性がある。

EPICSおよびGrafanaを導入したことで、リアルタイムの来場者数をスマートフォン等のwebブラウザから確認できることは、当日の案内においても大変便利であった。離れた場所からトンネル内の混雑状況が一目で分かるので、より精度を高めればリアルタイム混雑状況を来場者へ向けて配信するような使い方も実現できると考えられる。

今回は時間帯別の来場者数推移を細かく記録することを主眼として制作したが、実際の反省会では時間帯別の状況よりも来場者の属性が議論の俎上に上がることが多かった。今回用いた背景差分法による画像認識では、来場者の属性を識別することは困難であると思われるので、手動計数デバイスのボタンを増やす等して属性別の集計に対応させることを考えている。

今回制作した計数システムはSuperKEKBトンネルのみで運用したが、来年度以降はSuperKEKB以外の施設へも展開したいと考えている。既に、SuperKEKB以外の複数の施設の担当者からも導入に興味を示して頂いている。画像認識は富士B1回廊のような条件のよいカメラ設置場所の有無が課題となるが、手動計数は他の施設へも展開しやすいと期待している。

参考文献

- [1] <https://www.kek.jp/ja/topics/openhouse20230923/>
- [2] Y. Funakoshi *et al.*, "The SuperKEKB Has Broken the World Record of the Luminosity", Proc. of IPAC2022, pp. 1-5.
- [3] <https://epics.anl.gov/>
- [4] https://docs.opencv.org/4.x/d1/dc5/tutorial_background_sutraction.html
- [5] <https://opencv.org/>
- [6] M.V. Shankar *et al.*, "The EPICS Archiver Appliance", Proceedings of ICALEPCS'15, Melbourne, Australia, Oct. 17-23, 2015, pp. 761-764
- [7] S. Sasaki, T. Obina, "Development of Grafana Plugin to Visualize Archive Data on Archiver Appliance", Proc. of PASJ2020, pp.504-508
- [8] <https://mono-wireless.com/jp/products/twelite-uart/index.html>