

# ウォークスルー型爆発物探知装置と分散カメラ群とを 連携した実時間人物追跡

Real-time Person Tracking by Using Walk-through Type Explosives Detector  
and Distributed Camera Network

川口 洋平      永野 久志      松原 大輔      影広 達彦  
Yohei Kawaguchi      Hisashi Nagano      Daisuke Matsubara      Tatsuhiko Kagehiro

高田 安章      橋本 雄一郎      廣池 敦  
Yasuaki Takada      Yuichiro Hashimoto      Atsushi Hiroike

株式会社 日立製作所 中央研究所  
Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Hitachi developed a high throughput walk-through type explosives detector as supported by MEXT<sup>\*1</sup> for 3 years since 2007. Walk-through types have the problem of how to catch the suspect safely when the system is detecting explosives. We propose the system to track the suspect by using distributed surveillance cameras. In this system, one of the cameras near the detector records the images of the suspect walking through the detector. The system submits these multiple images as queries to the similar image search engine. The search engine retrieves for the images of all the cameras repeatedly in real time. We evaluate the performance of the “multi-queries” approach we applied to the system. Our experimental results show that our approach can search the same person using face images at the cumulative accuracy of up to the 5th rank of 92%. We developed the prototype and investigated the feasibility of the system.

## 1. はじめに

テロ対策は各国で危急の課題である。特に、化粧品などの日用品から強力な手製爆薬を合成する方法がインターネットを介して一般に知られるようになり、爆発物テロの危機が増大している。日本においても、近年、一般人がインターネットで得た知識をもとに手製爆薬を製造し、爆発させる事件が多発している [火薬学会 10]。このため、大量輸送機関や集客施設での爆発物テロの防止が望まれている。空港や重要施設で現状運用されている多くの爆発物探知装置は、検査に時間がかかるため大勢の人が行き交う場所での使用は困難である。日立は、大量輸送機関や集客施設で求められるスループット（検査可能人数）のニーズに応えるため、文部科学省の「安全・安心科学技術プロジェクト」に 2007 年より 3 年間参画し、服や手荷物に付着した手製爆薬の成分を装置通過後 3 秒以内に検出するウォークスルー型爆発物探知装置の開発を行った。

ウォークスルー型爆発物探知装置の実運用においては、検知された人物をどのように確保するかが課題となる。検知時に即座に対象者が確保可能とは限らない。爆発物を検知するまでに最大 3 秒の時間差があるので、その間に群衆に紛れる可能性がある。また、即時の確保は対象者を刺激し、テロを誘発する危険性がある。また、その場での確保のためには、探知装置を運用する出入口すべてに警備員を配備する必要があり、コストが多くなる。この問題を解決するため、筆者らは、ウォークスルー型爆発物探知装置で検知された人物を、時々刻々追跡するシステム（人物追跡システム）の実現を目指している。

本稿の目的は、人物追跡システムの実現可能性を明らかにすることである。筆者らは、人物追跡システムの要件を実現する手段として、分散配置された監視カメラ群を用いた画像検索に基づく方式を提案する。本方式では、探知装置近傍に設置したカメラが探知装置を通過する人物を撮影する。そして、通

過中の画像をクエリとして類似画像検索エンジンに送信する。検索エンジンは施設内に設置した他のすべてのカメラの画像の中から対象人物を繰り返しリアルタイムで検索する。撮影方向の変動により精度が低下する問題に対処するため、通過前後の複数枚の画像をクエリとして検索を行う（以下マルチクエリ法と呼ぶ）。評価では、まず、マルチクエリ法の効果を明らかにし、次に、検討したシステム構成に基づいてプロトタイプを構築し、リアルタイムでの人物追跡が可能であることを確認した。詳細を以降で述べる。

## 2. 人物追跡システム

### 2.1 機能要件

人物追跡システムが実現すべき機能要件として以下の 3 点を設定する。

機能要件 1 爆発物の検知時に監視センタに警告を提示できること。この機能は、監視センタから警備員に対して対象者確保の指示を行うために必要である。また、対象者確保においては対象者の外見を手がかりにするため、警告画面ではゲート通過時の対象者を撮影した画像も合わせて表示する。

機能要件 2 爆発物の検知後に現時刻までの所持者の経路を提示できること。この機能は、警備員が対象者確保に向かうべき場所を提示し、確保を支援するために必要である。

機能要件 3 駅などの大量輸送機関の施設に適用できること。

### 2.2 ウォークスルー型爆発物探知装置

永野らが開発したウォークスルー型爆発物探知装置 [永野 10] について簡単に述べる。爆発物探知装置はゲートと質量分析計からなる。図 1 に外観、図 2 に模式図を示す。ゲートでは、通過する人物の側方の送気部から温風を当て、体に付着する爆薬微粒子から発生する蒸気をもう反対側の吸気部から捕集する。捕集された蒸気は、イオン源によりイオン化され、質量分析計においてそれぞれの質量電荷比 ( $m/z$ ) のイオンごとに分

連絡先: 川口洋平, 株式会社日立製作所中央研究所, 東京都国分  
寺市東恋ヶ窪 1-280, yohei.kawaguchi.xk@hitachi.com

\*1 Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan (文部科学省).



図 1: 爆発物探知装置の外観 (2010年2月 JR 東日本秋葉原駅での実証実験にて撮影)。

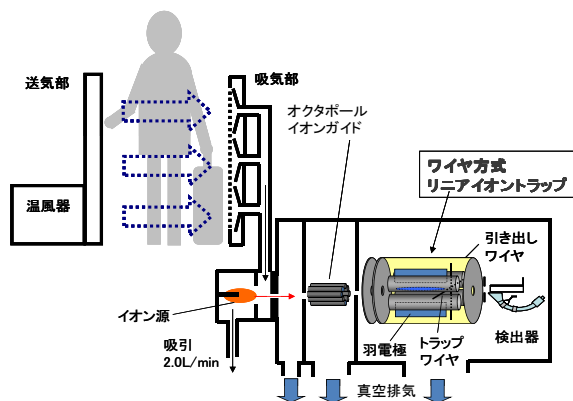


図 2: 爆発物探知装置の模式図。

離される。検出器では、分離した  $m/z$  ごとに強度 (質量スペクトル) が測定される。質量スペクトルが爆発物に対応する特徴的なパターンを示す場合には、爆発物として検知する。開発したワイヤ方式リニアイオントラップ質量分析計により高感度及び高スループットの検知が可能であり、有機過酸化物を付着させた綿棒を持って通過すると通過から 3 秒以内に検知することを確認している。また、2009 年 9 月に東京国際空港 (羽田空港)、2010 年 2 月に JR 東日本秋葉原駅、2010 年 11 月に東急電鉄横浜駅で、それぞれ実証試験を行い、誤報率を 0.1% 以下に抑えられることを確認している [永野 10]。

爆発物所持者がゲートを通過してから検知までに最大 3 秒間要するため、大量輸送機関や集客施設で実際に運用する場合を想定すると、爆発物所持者を刺激せずにその場で安全に確保することは難しいと考えられる。しかし、監視カメラで探知装置を通過する人物を撮影し続けていれば、即時の確保が難しい場合であっても、検知時刻以前 3 秒間に通過した人物の画像を手掛かりにして群衆の中から確保対象者を捜し出し、その後安全な確保が可能になった時点で対象者の確保を実施することは原理的に可能と考えられる。以降ではこのように対象者を追跡するプロセスを自動で実現するシステムの構成を検討する。

### 2.3 システム構成検討

我々は、人物追跡システムのプラットフォームとして、影広らが開発した大規模監視プラットフォーム [影広 10] を用いることを検討する。このプラットフォームは環境に分散配置された多数カメラ群を協調することに適している。また、2009 年 6 月に NPO 秋葉原先端技術実証フィールド推進協議会より発表された「類似画像検索技術による防犯支援」実証プロジェクトにおいて、実際の店舗内での稼動実験を行っている。大規模監視プラットフォームは以下の特徴を有している。

1. 監視員モニタなどのクライアントプログラムは、登録サーバにより顔画像や動きなどのイベントが検出されると同

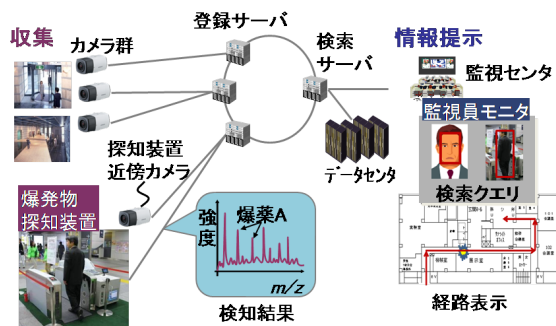


図 3: 人物追跡システムの構成。

時に検索サーバから通知をうけることが可能である。

2. 廣池らが開発した類似ベクトル検索エンジン EnraEnra [廣池 09] により、1000 万件の画像に対し、1 秒以内での高速な画像検索が可能である。また、新たに収集した画像の登録も高速に実行できる [Matsubara 09]。
3. ネットワークを介して大量の数のカメラを接続し、画像を収集できる。既に本プラットフォーム上で 100 台のカメラの接続及び運用を確認している。 [影広 10]

これらの各特徴は人物追跡システムにとって以下のように有効である。

1. 爆発物の検知結果を顔画像検出や動き検出と同様のイベントとして登録サーバに送ると、監視員モニタはその通知を即座に受信できる。また、通知受信時刻から 3 秒程度遡った時刻付近における探知装置近傍カメラの画像を提示することで、対象者確保の手がかりとなる対象者の外見も表示できる。これにより機能要件 1 が実現できる。
2. イベント通知機能および高速検索機能を利用することで、新たに人物画像の検出や動きの検出があるたびに、あるカメラが過去に撮影した画像に基づいて現在撮影された他のカメラ画像に対する画像検索を繰り返すという処理がリアルタイムで実行できる。これにより機能要件 2 の経路追跡が実現できる。
3. 主要駅などの大量輸送機関の施設は、その規模が大きいため、人物追跡システムを適用するには多数の監視カメラが必要である。大規模監視プラットフォームは多数のカメラを接続できるので、機能要件 3 の大量輸送機関の施設への適用が可能である。

以上のことから、人物追跡システムは大規模監視プラットフォームを用いて構成することができる。

提案する人物追跡システムのシステム構成を図 3 に示す。ゲートにはウォークスルー型爆発物探知装置が設置されており、通過人物を撮影するための探知装置近傍カメラも設置されている。また、多数のカメラが施設内に配置されている。探知装置とカメラはネットワークを介して登録サーバに接続しており、そのネットワーク上にデータセンタと検索サーバも接続しており、監視員モニタは検索サーバに接続している。監視カメラ群は、登録サーバを介し、データセンタのデータベースに画像を逐次登録し続ける。

人物追跡システムの機能は、以下の一連の処理により実現できると考えられる。

ステップ1 爆発物所持者が探知装置を通過すると爆発物として検知される。そのとき、検知結果が登録サーバに送信され、検索サーバ経由で監視員モニタに通知される。

ステップ2 監視員モニタに検知結果が通知されると、爆発物が検知されたことを示す警告の提示を行う。警告では、通知受信時刻から3秒程度遡った時刻付近に探知装置近傍カメラで撮影された人物画像を提示する。

ステップ3 ステップ2の警告で提示した人物画像をクエリとした類似画像検索を行い、人物追跡処理を開始する。このとき、対象者は通過前後で複数枚の画像で撮影されているので後述するようにそれら複数枚の画像をクエリとして検索を行う(マルチクエリ法と呼ぶ)。

ステップ4 人物追跡処理中はカメラ群が撮影した画像が逐次データベースに登録される。

ステップ5 カメラ群の画像で新たに顔画像や動きが検出されるたびに、データベースに対してリアルタイムで類似画像検索を繰り返す。

ステップ6 それぞれの検索結果は撮影したカメラの位置と紐付いている。これらを撮影時刻でソートし、対象者の経路に変換する。そして、対象者の経路を監視員モニタにリアルタイムに表示する。

人物画像の検索には、顔画像検索、及び、松原らが提案しているブロック画像検索 [松原 10] を用いる。一般に「見え」に基づくマッチングを行う類似画像検索においては、通過中のクエリ画像と撮影方向が異なる画像は「見え」が異なるため、別の人物と見なされる。本システムでも、探知装置通過中の人物はある決まった方向から撮影できるとは限らず、カメラに対して様々な向きで撮影される。このことから、撮影方向の変動に強く、実用上十分な検索精度が得られない可能性がある。マルチクエリ法は撮影方向の変動による検索精度低下を防ぐために行う。ブロック画像検索のマルチクエリ生成については既に松原らが報告している [松原 10]。顔画像検索のマルチクエリ生成は、通過前後に検出された顔画像領域すべてをクエリとすることにより実行する。

### 3. 評価

#### 3.1 顔画像に対するマルチクエリ法の評価

予備実験として、人物追跡システムで用いる人物検索の性能を評価する。提案システムでは、撮影方向の変動などを吸収して検索の正解率を向上させるために、マルチクエリ検索を用いている。ここで、マルチクエリを用いる場合に頑健性がどの程度向上するかを評価する。ブロック画像検索の評価については松原らが既に報告している [松原 10]。本稿では顔画像検索についての評価を報告する。

評価用データベースとして、ソフトピアジャパン顔画像データベース [ソフトピア]<sup>\*2</sup>を使用する。このデータベースのデータのうち、画像処理ライブラリ OpenCV (Open Source Computer Vision Library)[Intel] により顔画像として正しく検出された 43132 枚の顔画像を対象データとする。このデータベースは、様々な水平方向及び垂直方向から撮影された顔画像により構成される。監視カメラでは様々な垂直方向で撮影されると

<sup>\*2</sup> 本研究の実験で使用した顔画像データは財団法人ソフトピアジャパンから使用許諾を受けたものである。権利者に無断で複写、利用、配布等を行うことは禁じられている。

表 1: 評価に用いる検索方法。

項目名	検索方法
検索方法 1	$(\theta, \phi) = (0\text{deg}, 30\text{deg})$ の単一クエリ。
検索方法 2	$(\theta, \phi) = (0\text{deg}, 15\text{deg})$ の単一クエリ。
検索方法 3	$(\theta, \phi) = (0\text{deg}, 0\text{deg})$ の単一クエリ。
検索方法 4	$(\theta, \phi) = (0\text{deg}, 30\text{deg}), (0\text{deg}, 15\text{deg}), (0\text{deg}, 0\text{deg})$ の 3 画像のマルチクエリ。各クエリの検索結果の和集合を最終検索結果とする。

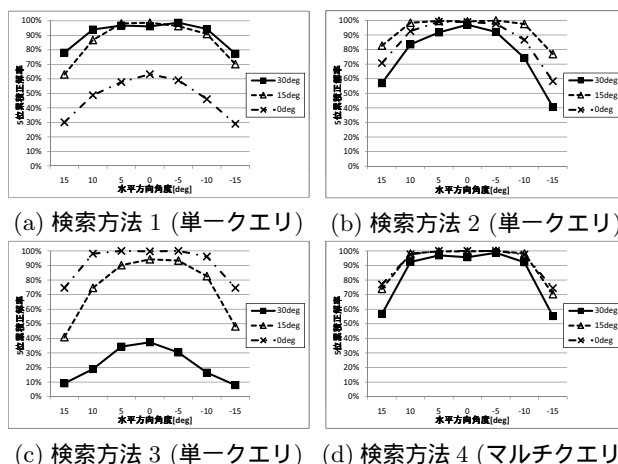


図 4: それぞれの撮影方向に対する 5 位累積正解率。各曲線が垂直方向を表わし、横軸が水平方向を表わし、縦軸が 5 位累積正解率を表わす。

想定される。また、カメラは天井に設置されるケースが多いため、見下す角度で顔画像が撮影されることが多いと考えられる。そこで、本稿では正面からの垂直方向  $\phi$  が 0deg, 15deg, 30deg の 3 条件を対象に評価する。また、正面からの水平方向  $\theta$  については 5deg 刻みで  $-10\text{deg}$  から  $10\text{deg}$  まで 5 条件を対象に評価する。検索方法には、表 1 の検索方法 1~検索方法 3(単一クエリ)と検索方法 4(マルチクエリ)の 4 条件を用いる。評価指標には 5 位累積正解率を用いる。

結果を図 4 に示す。図 4(a)~(c) のように、単一クエリの場合は、検索対象の垂直方向がクエリ画像の垂直方向から離れると正解率が極端に低下した。これは、単一クエリ検索が撮影方向の変動に対して頑健ではないことを示している。それに対して、図 4(d) のように、マルチクエリの場合は垂直方向の違いによる著しい正解率の低下はなく、安定して 90% 以上の正解率であった。5 位累積正解率について、水平/垂直方向の組み合わせ 15 通りの全方向の平均値と最小値を図 5 に示す。単一クエリの 3 条件の検索方法のいずれの場合も 5 位累積正解率の最小値は 75% 以下であった。これに対して、マルチクエリの場合は 5 位累積正解率の平均が 97%、最小の条件でも 92% であった。このことは、マルチクエリ顔画像検索が撮影方向の変動に対する頑健性を向上させることを示している。

#### 3.2 プロトタイプ実装および結果

2.3 節で検討した構成の人物追跡システムのプロトタイプを実装した。監視範囲の物理的広さ自体は本稿で確認すべき実現可能性とは無関係であるので、ここでは社内の展示室 1 室のみを監視範囲とし、その部屋の中を歩く人物の経路を追跡することとした。また、今回のプロトタイプは 5 台のカメラを用

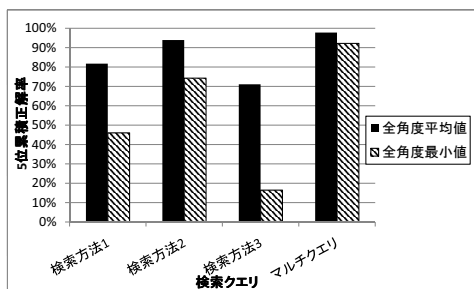
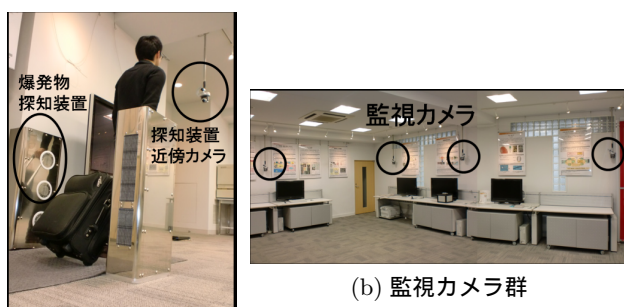


図 5: 各検索方法における 5 位累積正解率．水平方向-10deg ~ 10deg, 垂直方向 0deg ~ 30deg の 15 通りの組み合わせにわたっての平均値および最小値を示す．



(a) 爆発物探知装置と探知装置近傍カメラ

(b) 監視カメラ群

図 6: プロトタイプシステムのセンサ配置．

いて構成した．前述のとおり，既に 100 台のカメラの接続及び運用を確認しているため，カメラ台数が 5 台以上の場合でも同様に実現できると考えられる．また，今回のプロトタイプの人物画像検索では顔画像に基づく検索を行うこととした．

爆発物探知装置と 1 台の探知装置近傍カメラを図 6(a) のように配置し，残りの 4 台のカメラを図 6(b) のように配置した．監視員モニタのスクリーンショットを図 7, 8 に示す．図 7 は検知時の警告提示の例である．図 8 は監視員モニタ上で対象者の経路を表示した例である．

本システムを実際に稼働し，疑似的に爆発物と見立てた揮発性の試薬を所持した人物にゲートを通させた．そのとき，システムは爆発物として検知し，通過から約 3 秒後に監視員モニタが警告を提示した．そして，対象者の装置通過時の顔画像をクエリとして顔画像検索を反復し，対象者の位置をリアルタイムで追跡するという一連の動作が実現できることを確認した．

#### 4. おわりに

本稿では，ウォークスルー型爆発物探知装置の実運用を可能とする人物追跡システムの構成を検討し，分散配置された監視カメラ群を用いた画像検索に基づく方式を提案した．そしてその実現可能性を明らかにした．今後は施設管理システムとの連携を目指す．

#### 謝辞

本研究の一部は，文部科学省委託業務「安全・安心科学技術プロジェクト，ウォークスルー型爆発物探知システム」の成果です．

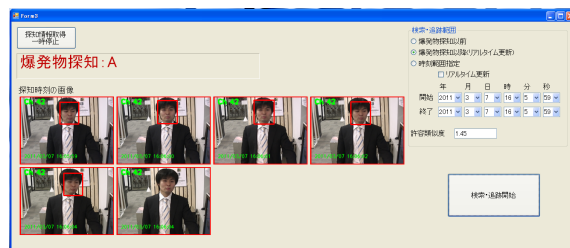


図 7: 監視員モニタの警告提示．検知時の探知装置近傍カメラの画像を表示．画像中の矩形は検出された顔画像領域．

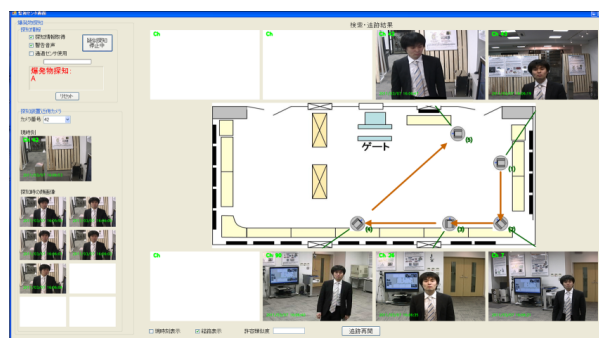


図 8: 監視員モニタ．中央が部屋の俯瞰図とカメラ配置を表し，上下が各カメラ画像を表す．俯瞰図中のカメラ間を繋ぐ矢印が対象者の経路を表す．

#### 参考文献

- [火薬学会 10] 火薬学会爆発物探知専門部会編：爆発物探知ハンドブック，丸善，2010．
- [永野 10] 永野他：ウォークスルー型爆発物探知システムによる手製爆薬の検出，火薬学会秋季大会，2010．
- [影広 10] 影広他：ネットワーク型大規模映像監視システム，電子情報通信学会ソサイエティ大会，2010．
- [廣池 09] 廣池他：類似画像検索システム「EnraEnra」～大規模画像アーカイブのための検索プラットフォーム～，第 15 回画像センシングシンポジウム，2009．
- [Matsubara 09] Matsubara *et al.*: High-speed similarity-based image retrieval with data-alignment optimization using self-organization algorithm, 11th IEEE International Symposium on Multimedia, pp. 312-317, 2009．
- [松原 10] 松原他：疎分散カメラ環境における類似画像検索を用いた人物追跡，電子情報通信学会技術報告 パターン認識・メディア理解研究会，2010．
- [ソフトピア] ソフトピアジャパン：ソフトピアジャパン顔画像データベース，<http://www.softopia.or.jp/rd/facedb21-.html>．
- [Intel] Intel: Open Source Computer Vision Library, <http://www.intel.com/technology/computing/opencv/>．