

微量危険物の高速高感度計測 —公共空間の安全に貢献する爆発物探知システム—

Explosives Trace Detection System to Secure Public Facilities

橋本 雄一郎 Hashimoto Yuichiro 川口 洋平 Kawaguchi Yohei 永野 久志 Nagano Hisashi
高田 安章 Takada Yasuaki 坂入 実 Sakairi Minoru

日立グループは、微量の爆発物を、ゲートを通過するだけで自動検出できるウォークスルー型爆発物探知装置を開発した。この装置は、高速な流体サンプリング手法と高精度な検出技術である質量分析を用いることで、高速自動検出（3秒以内）と低い誤報率（0.1%以下）を実現した。さらに、この装置と監視カメラを用いた人物追跡システムとを連携させることで、人流を妨げずに、鉄道駅など多くの人が集まる公共スペースでの運用の可能性を検証した。

これらの技術は、公共スペースをテロなどの犯罪から守るための有力なツールとして期待でき、今後、このシステムの普及をめざしていく。

1. はじめに

2001年9月11日の米国同時多発テロを端緒として、テロ対策は世界的な最重要課題の一つとなっている。特に近年では、化粧品や家庭用洗剤などの日用品から強力な爆薬物を合成する方法が、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、より多くの地域に拡散、増大している。従来、テロとは無縁と思われてきた日本においても、一般人がインターネットで得た知識を元に爆薬物を製造し、爆発させる事件が発生しており、爆発物探知のニーズは高まりつつある。すでに、空港施設では、人、手荷物、貨物いずれについても爆発物探知は実施されており、テロの手口が巧妙化する中、年々強化される傾向にある。例えば、2009年に発生したノースウェスト機爆破未遂事件で、下着の内側に隠して爆発物が持ち込まれたことを反映し、衣服の内側に隠された爆発物を探知できるボディスキャナの配備が欧米を中心に急速に進んでいる。

一方で、新しい爆発物探知装置を導入する際に重要となるのが、社会的コスト（金銭的負担や不自由さ）と、それによりもたらされるテロなどの犯罪抑止効果とのバランスである。特に、鉄道駅施設や商業施設のように不特定多数の人々が利用する公共スペースでは、空港と異なり、人の

流れを妨げないための要求が高く、探知のスループットの向上が技術普及のキーとなる。

ここでは、高スループットで、検査に人手を必要としないウォークスルー型爆発物探知装置について述べる。

2. 公共スペースにおける爆発物探知技術の歩み

これまで、爆発物探知技術は主に空港向けに技術開発が進められてきた。爆発物探知には、X線検査装置のように爆発物の形状を認識するバルク探知と、爆発物から漏れ出る爆発物起因物質の痕跡を検出するトレース探知がある¹⁾（図1参照）。いずれの探知手法も有効であるが、欠点も存在する。例えば、形状を認識するバルク探知は、爆発物に特徴的な形状を認識するため、ペースト状に伸ばした爆発物を検知するのは技術的に難しい。また、類似の形状を、爆発物と誤検知（False Positive）する確率が高く、そのつど、ボディチェックなどの再検査が必要となる。いずれも完全な手法ではないが、相補的な二つの探知技術を併用することで、より効果的にテロを防止することができると考えられている。

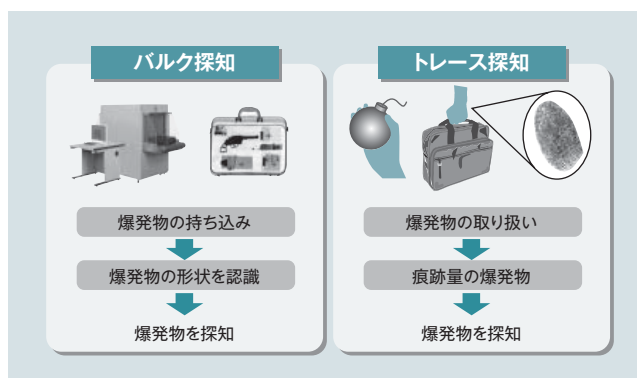


図1 | 爆発物探知におけるバルク探知とトレース探知

二つの相補的な探知技術を併用することで、より効果的にテロを防止することができると考えられている。

3. ウォークスルー型爆発物探知システム

日立グループは、誤報率が比較的低く、公共スペースでの運用に親和性が高いと考えられる爆発物のトレース検知に着目して開発を行ってきた。従来のトレース探知装置のスループットは、探知時間が10秒程度かかるうえ、検査に拭き取り作業などの人手を要する¹⁾ことが課題であった。そこで、鉄道駅などの公共スペースで求められる高い測定スループットと測定の自動化のニーズに応えるため、爆発物探知技術、および監視カメラと連携した不審者追跡技術の開発を行ってきた。ここでは、これら技術開発の取り組みについて述べる。

3.1 ガス成分サンプリング

爆発物から発生するガス成分をサンプリングするウォークスルー型爆発物探知装置の装置外観を図2に、装置構成を図3にそれぞれ示す。

隠匿された爆発物や衣類に付着した爆発物微粒子から発生するガス成分は、送気部からの温風の空気流で移動し、対向した吸気部で捕集される。捕集したガス成分はトレー

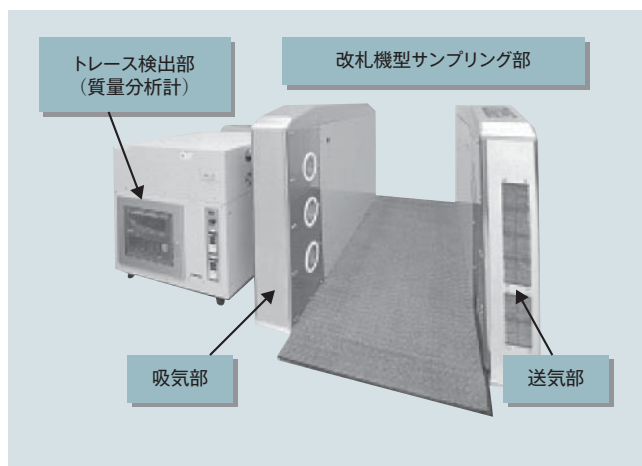


図2 | ウォークスルー型爆発物探知装置の外観

鉄道駅の改札機とほぼ同じサイズである。送気部から吸気部へとサンプリング用のガス流が形成されている。

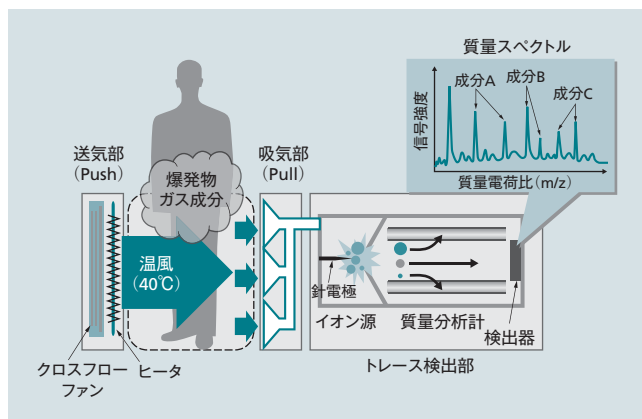


図3 | ウォークスルー型爆発物探知装置の構成

サンプリング部で導入された試料ガスがトレース検出部で検知され、質量スペクトルが得られる。

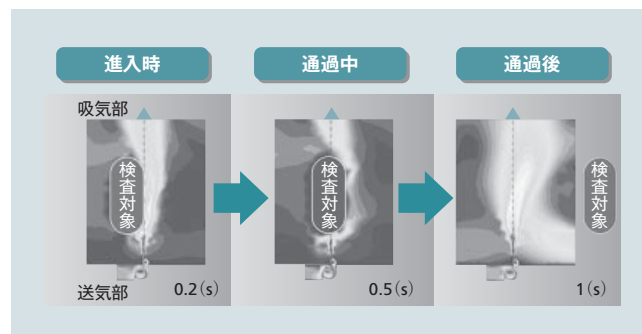


図4 | サンプリング部の流体シミュレーション

進入時、通過中、通過後のガス流れの様子を示す。検査対象の通過後には測定領域をクリーニングする効果がある。

ス検出部の質量分析計で高速に検出できる。質量分析計に送られた蒸気成分は、イオン源でイオン化され、真空中の質量分析部に導入される。質量分析部では、それぞれのイオンの質量 (m) と電荷 (z) の比 (m/z) の違いにより、高周波電場による分離が行われる。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。爆発物に対応する特徴的な質量スペクトルのパターンを認識することで、爆発物の種類や濃度を計測することができる。質量分析は精密に m/z の分離計測ができる手法であり、環境中に含まれる不純物との分離を高速・高精度に行うことができる。

ウォークスルー型爆発物探知装置は高いスループットを実現できるガス流を用いた非接触サンプリングを用いている。サンプリング部の開発では、爆発物のガス成分を効率よく回収し、かつ連続的に通過する検査対象を個別に分離して検査する必要がある。この二つを同時に解決する手段として、クロスフローファンによる層流を利用した。

サンプリング部を検査対象が通過する際の流体シミュレーションの結果を図4に示す。検査対象の移動に伴い、送気部からの流れは検査対象に沿うように吸気部へと連続した流れを形成し、通過後には短時間で回復する様子がわかる。実際に爆発物を付着させた綿棒を用いた実験では、サンプリング部通過後3秒以内に信号が検出できており、爆発物のガス成分の効率的な回収と、検査対象の個別分離を実現できることが確認された²⁾。

3.2 微粒子サンプリング

爆発物には、プラスチック爆弾など、常温での蒸気圧が ppt (10^{-12} , Part Per Trillion) 以下の極めて低いものも存在する。これらの爆発物を所持した場合、前述したガス成分サンプリング方式では十分な検出感度を得られない課題がある。このため、爆発物をサンプリングする方法として、手やIC (Integrated Circuit) カードに付着した爆発物微粒子を、カードの認証時に回収する手元吸引型微粒子サン

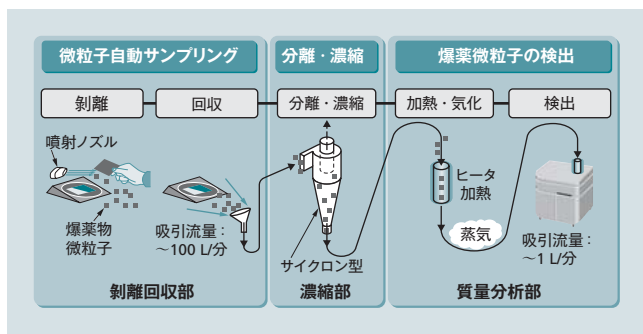


図5 微粒子サンプリングの測定フロー

剥離、回収、分離・濃縮、加熱・気化、検出のステップで検知が行われている。高効率の微粒子回収には、大流量のガス吸入が必須となる。

リング部の試作機を開発した³⁾。サンプリングから検出までの測定フローを図5に示す。

サンプリング部ではICカードに付着した微粒子を噴射ノズルからの圧縮空気によって剥離し、剥離した微粒子を回収する。効率的な回収には100 L/分程度の大流量でガスを吸入する必要がある。一方、質量分析部では、1 L/分程度 of ガス流量が最適であるため、サイクロン型の微粒子分離濃縮部を挿入した。これにより、濃縮を用いない場合に比べて約100倍の感度向上が可能になった。濃縮された微粒子は加熱され、爆発物の蒸気として質量分析部に導入され、検出が行われる。手元吸引型の試作機では、約1秒での爆発物微粒子の検出を確認している³⁾。

3.3 実証試験による誤報率の測定

ウォークスルー型爆発物探知システム（ガス成分サンプリング）を用いて2009年9月に東京国際空港（羽田空港）、2010年2月に東日本旅客鉄道株式会社（JR東日本）秋葉原駅、2010年11月に東京急行電鉄株式会社（東急電鉄）横浜駅で、実証試験を行った。合計1万4,920名の通行者に対し、発報回数は0回であり、低い誤検出率が得られることが実証された。

また、実証試験のバックグラウンドデータから、ROC曲線（Receiver Operating Characteristic Curve）による誤検

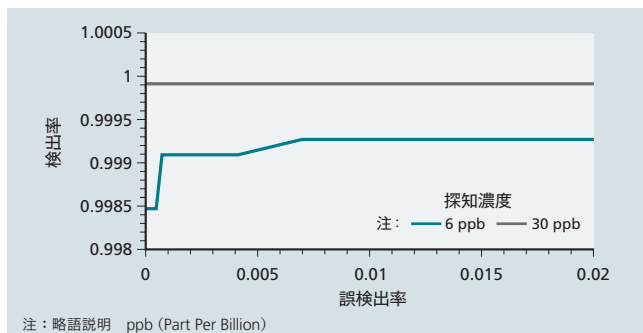


図6 実証試験から得られたROC曲線

爆発物探知濃度ごとのROC曲線（Receiver Operating Characteristic Curve）を示す。2種類のm/zのマーカを使用することで検出率、誤検出率を改善した。

出率および検出率の定量的評価を行った。実証試験のデータと既知濃度〔6/30/60 ppb（Parts Per Billion）〕の爆発物の測定データから、検出率（True Positive Rate）と誤検出率（False Positive Rate）を評価した（図6参照）。2種類の検出対象マーカーの同時連続計測を条件とした場合では、探知濃度6 ppbにおいて、検出率が99.9%、誤検出率0.01%という良好な結果が得られることがわかった⁴⁾。

3.4 監視カメラによる人物追跡⁵⁾

ウォークスルー型爆発物探知装置の実運用において、検知された人物をどのように確保するかが課題となる。爆発物を検知するまでに最大3秒の時間差があるので、検知時に即座に対象者が確保されず、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もある。さらに、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もあり、コストが多大となる。これらの問題に対処するため、探知装置で検知された人物を、その後、時々刻々追跡する「人物追跡システム」のプロトタイプを開発した。

人物追跡システムの構成を図7に示す。このシステムは、先に開発した監視プラットフォーム⁶⁾を基に開発した。ゲートに設置した爆発物探知装置の近傍に、通過人物を撮影するための探知装置近傍カメラを設置する。また、多数のカメラから成るカメラ群を施設内に配置する。探知装置とカメラはネットワークを介して登録サーバと検索サーバに接続する。このシステムでは、カメラ群が登録サーバに時々刻々画像を登録し続ける。それら画像の中の人物の領域に対し、爆発物の検知時に探知装置近傍カメラが撮影した通過人物の画像に基づいて、類似画像検索を繰り返す。検知時の通過人物との類似度が高い人物を撮影したカメラの位置を撮影時刻順に並べ、監視センターに提示する。これにより、人物追跡の機能を実現する。

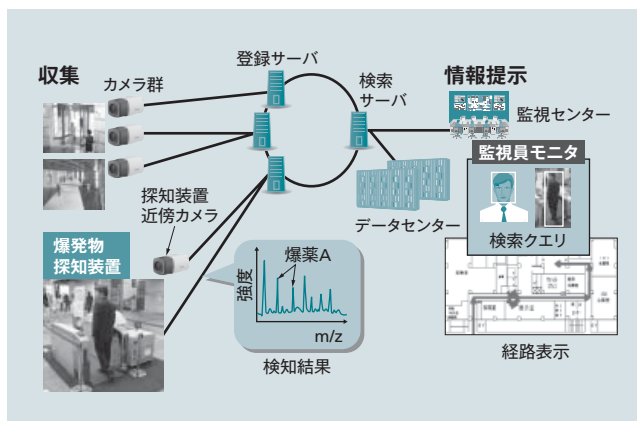


図7 人物追跡システムの構成

探知装置、カメラ、登録サーバ、検索サーバ、データセンター、監視センターがネットワークを介してサーバに接続されている。

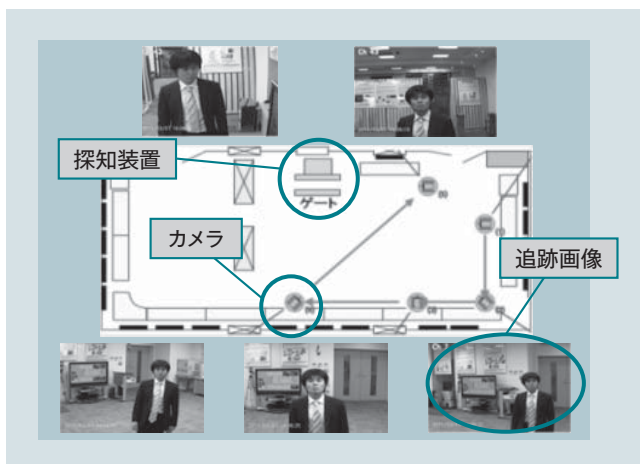


図8 | 監視員モニタ（経路表示）

撮影時刻順に並べた顔画像検索結果を、カメラ位置をつないだ矢印に変換し、屋内地図上に重畳することで、通過人物の経路を表示した。

監視員モニタのイメージとして、対象者の経路を表示した例を図8に示す。このシステムを実際に稼働し、疑似的に爆発物に見立てた揮発性の試薬を所持した人物にゲートを通過させ、周辺を移動させた。このとき、まず、システムは爆発物を検知し、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検索を反復し、対象者の位置を時々刻々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。実験では5台のカメラでの検証実験を行ったが、監視プラットフォームとしては100台のカメラでの運用を確認しており⁶⁾、カメラが数十台から100台規模であっても同様に実現可能と考えられる。

4. おわりに

ここでは、高スループットで、検査に人手を必要としないウォークスルー型爆発物探知装置について述べた。

ウォークスルー型爆発物探知装置は、高精度な質量分析を用いることで、高いスループットと低い誤検出率が得られている。また、監視カメラを用いたリアルタイム人物追跡システムは、実運用上課題となる不審者の確保に対し、有効なツールとして期待できる。今後は、ハードウェアや検索アルゴリズムの改良を行い、このシステムの公共施設での普及をめざしていきたい。

この報告のガス成分サンプリング方式は、文部科学省の「安全・安心科学技術プロジェクト（2007年度～2009年度）」の委託研究で開発を実施した。また、微粒子成分サンプリング方式は、文部科学省の「安全・安心な社会のための犯罪・テロ対策技術等を実用化するプログラム（2010年度～2014年度）」の一環として実施した。関係各位に深く感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 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（2010.10）
- 2) Y. Takada, et al. : High-throughput walkthrough detection portal for counter terrorism: detection of triacetone triperoxide (TATP) vapor by atmospheric-pressure chemical ionization ion trap mass spectrometry, Rapid Communications in Mass Spectrometry (2011.9)
- 3) 橋本、外：サイクロン型微粒子濃縮部を用いた爆発物探知システムの開発、日本質量分析学会、質量分析総合討論会講演要旨集（2011.9）
- 4) 橋本、外：ウォークスルー型爆発物探知システム、日本鉄道技術協会日本鉄道サイバネティクス協議会（2011.7）
- 5) 川口、外：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、人工知能学会全国大会論文集（2011.6）
- 6) 影広、外：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（2010.3）

執筆者紹介



橋本 雄一郎

1997年日立製作所入社、中央研究所 計測システム研究部 所属
現在、質量分析関連技術の研究開発に従事
博士（学術）
米国質量分析学会会員、日本質量分析学会会員



川口 洋平

2007年日立製作所入社、中央研究所 知能システム研究部 所属
現在、質量分析、電気音響などにおける信号処理技術の研究開発に従事
電子情報通信学会会員、日本音響学会会員



永野 久志

1986年日立製作所入社、中央研究所 計測システム研究部 所属
現在、質量分析関連技術の研究開発に従事
日本分析化学学会会員、火薬学会会員



高田 安章

1990年日立製作所入社、中央研究所 計測システム研究部 所属
現在、危険物探知技術の研究開発に従事
博士（工学）
日本分析化学学会会員、日本質量分析学会会員、日本法科学技術学会会員、火薬学会会員



坂入 実

1981年日立製作所入社、中央研究所 ライフサイエンス研究センター 所属
現在、研究開発マネジメントに従事
理学博士
電子情報通信学会会員、電気学会会員、日本化学学会会員