

自動サンプリング式トレース検出システム

実施予定期間：平成 22 年度～平成 26 年度
研究代表者：坂入 実（株式会社日立製作所中央研究所主管研究長）

I. 概要

空港等のセキュリティ向上を目指し、既存の機器にトレース検出方式の爆発物探知機能を組み込む目的で、以下の機器を新規に開発する。

1. X線検査装置内蔵型トレース検出システム
2. セキュリティゲート内蔵型トレース検出システム

要素技術として、検査対象に付着する爆薬微粒子の自動サンプリング部、爆薬の分子を高効率でイオン化できるイオン源、および既存の機器に組み込むための小型の質量分析部を開発する。これらの要素技術を基に、爆発物検出部をX線検査装置やセキュリティゲートに組み込んでシステム化する。課題の終了後は、高機能のX線検査装置、トレース検査装置内蔵のチェックインゲート等として実用化を目指す。

1. 目標

安全・安心な社会を実現するためには、テロ対策は危急の課題である。特に爆発物は、日用品から爆薬を合成する方法が広く知られるようになり、我が国でも手製爆薬を用いたテロや犯罪の増加が懸念されている。

爆発物の探知方法は、バルク検出とトレース検出に大別される。バルク検出は形状や密度等から爆発物を判定する方法であり、空港等に広く普及しているX線手荷物検査装置はバルク検出に分類される。一方、トレース検出は、カバン等に付着している痕跡を化学的に分析し、爆薬の種類を特定する技術である。爆発物の量を把握するバルク検出と、爆発物の種類を把握するトレース検出は、相補的な技術であり、両者を組み合わせることでセキュリティを向上できることが知られるようになった。しかしながら、現状のトレース型爆発物探知装置は、手荷物等を係員がふき取る運用が一般的であり、スループットが低い。また、人件費の観点からもトレース検出機の設置台数を増やすのは困難である。例えば、米国の空港でも、手荷物の全てについてトレース検出を行うことは断念しており、抜き取り検査で対応しているのが現状である。

このような現状に鑑み、人手を要さず、かつ高スループットで検査ができるトレース検出機の実現が望まれている。

そこで、爆薬微粒子の自動採取機能を有するサンプリング部、爆薬の分子を高効率でイオン化できるイオン源、および小型・高性能の質量分析部を開発する（トレース検出部の高性能化）。これらの要素技術を基に、処理速度、設置スペースなどの面で既存の機器との整合性の高いトレース検出機を試作する。さらに、試作したトレース検出機を組み込んだシステムによりフィールド試験を実施し、実運用に耐え得る装置に仕上げる。

このように、社会に受け入れられやすい機器を開発し、実装を目指すことにより、安全・安心な社会の構築に貢献することを目指す。

具体的には、トレース検出部をX線手荷物検査装置に内蔵させることを目指し、一度の検査でバルク・トレ

ースの両面で手荷物を検査できるシステムを開発する。X線手荷物検査装置の構造上、トレース検出部の内蔵が困難である場合には、搬送部にフードを設けてサンプリング部を設置し、搬送部の下に検出部を配置する併設型とする事で実質的な一体化を図る。

さらに、空港に設置されている（または今後設置が見込まれる）セキュリティゲートにトレース検出部を内蔵させ、ゲートで旅客がID照合やチェックインを行う際に手やICカードに付着した爆薬の痕跡を発見する。

2. 技術的内容

a. トレース検出装置の高性能化

質量分析法は、高い感度と選択性を有する分析法として広く知られている。本提案課題の責任機関である（株）日立製作所が開発した質量分析法に基づく爆発物探知装置は、米国運輸保安局の性能認定試験に世界で初めて合格するなど、性能面では米国からも高く評価されている。

しかしながら、質量分析法は真空排気系が不可欠であるため、イオンモビリティなどの他の検出法を採用した探知装置に比べて装置が大型になるという欠点がある。実用性の高い、高性能かつ小型の爆発物検出部を開発するためには、質量分析部の検討だけでなく、高効率のサンプリング技術、イオン化技術の開発が不可欠である。サンプリングやイオン化の効率が高まれば、大気から真空中に取り込む気体の量を減らすことができるため、真空排気系を簡略化でき、検出部全体の小型化が可能になる。

(1) バリヤー放電イオン源の開発

本課題で開発を目指す自動サンプリング式トレース検出システム用小型質量分析装置において要求される、高感度、堅牢性、小型軽量化、長期連続運転、簡便な操作性、などの諸課題を克服したバリヤー放電イオン源の開発および実証試験を行う。

バリヤー放電イオン源は、直流コロナ放電に比べて、2桁から3桁もの高密度の He^+ を生成できるが、試料やイオンがプラズマに晒され分解・重合イオンが生成し、爆発物検出において誤報を与えやすい。山梨大学で開発したバリヤー放電イオン源は、バリヤー放電の内部電極を誘電体の外側に突き出させることで、プラズマを誘電体円筒内に閉じ込めることができる。このため、試料イオンがプラズマに晒されず、分解・重合イオンが生成せず、極めてソフトに試料分子がイオンされる。また、プラズマが終端した極近傍で試料気体がイオン化されるので、極めて高い検出感度が達成された。

さらに、山梨大学では、近年、吸い込み型のバリヤー放電イオン源を開発した。このイオン源は、サンプリングノズルから試料ガスを吸い込ませて、質量分析計のイオンサンプリングオリフィス直前でイオン化させるのが特徴である。試料気体は、T字型ユニオンの上部バリヤー放電イオン源で生成した He^+ によりイオン化される。イオン源が閉鎖型なので、生成イオンを周囲に逃がさずに直接質量分析計へと導くことができる。このため、従来のバリヤー放電イオン源に比べても、更に約1桁の感度向上が実現した。

本課題では、これまでに培ったバリヤー放電イオン源を、システム全体として低ランニングコストおよび安定動作させるために下記の施策を実施する。

- ・ヘリウムフリー（空気など）で動作する低真空バリアー放電イオン源の開発
- ・高速トレース検出のためのイオン源開発
- ・微粒子加熱気化・バリアー放電イオン化システムの開発
- ・細孔ツマリに対応するためのフィルタ機構の開発

(2) リニアイオントラップ質量分析部の開発

(1)で説明したバリアー放電イオン源で生成したイオンは、真空中の分離検出部に導入された後、質量分離され検出される。従来の爆発物探知装置では、このイオンの分離検出部に選択性の低いイオンモビリティ方式が用いられていたため、誤検知確率が高い傾向があった。本提案では、文部科学省安全・安心科学技術プロジェクトなどで爆発物探知装置に対する実績があり、独自の手法であるワイヤ型リニアイオントラップ方式を用いることで、高選択かつ高感度な分析を可能とする。

リニアイオントラップでは、イオンを一度トラップ内に溜め込んだ後で、質量選択的な排出を行うため、高感度な測定が可能である。特に本開発で採用するリニアイオントラップは、一般的な四重極イオントラップよりもイオン容量が10倍以上大きく、高感度である特徴を持つ。また、イオントラップは一度質量分離したイオンを分解し、その後、分解したイオンに対して再度の質量分離を行うタンデム質量分析(MS/MS)が可能であり、これにより通常の質量分析よりも選択性の高い分析が可能である。

リニアイオントラップでは検出電極のサイズが比較的小型なデバイス(40×40×60mm)で高感度な質量分析と選択性の高いMS/MSのいずれも動作することを確認済みであり、本課題である小型の爆発物探知装置に最適な質量分析部であると考えられる。

以上、(1)(2)で述べた取組みにより、高性能のトレース検出装置を開発するとともに、X線検査装置などの既存の機器に内蔵する目的で小型化を行う。装置容積の目標は、既存の機器に組み込み可能な容積である200L以下とした。また、検出対象は、爆発物微粒子とする。

b. X線検査装置内蔵型トレース検出システムの開発

責任機関である(株)日立製作所では、ふき取り式の爆発物トレース探知装置を製品開発した実績があり、現在、空港貨物取り扱い施設などで広く使用されている。この装置では検査員が所持品に付着した爆発物微粒子等の爆発物痕跡をふき取りにより採取し、それを探知装置にセットすることで、爆発物の有無および種類を判定することが可能である。

この技術を応用し、X線検査のため、搬送部(ベルトコンベアなど)に乗せられた手荷物に対し、高速の風を当て、手荷物に付着している爆発物微粒子を自動で剥離・回収・検出するシステムを開発する。搬送部を覆う形にフードを設けてサンプリングを行い、検出部を搬送部の

下に設置する。ここでは、噴射ノズルからの圧縮空気で爆発物微粒子を剥離し、送気・吸気により微粒子を回収し、検出器へ導入する。従来の設置スペース内においてバルク・トレースの同時測定が可能となるため、爆発物の持ち込みリスクが大幅に低減することが期待できる。

開発目標は以下である。処理能力の目標は、空港の保安業務を妨げない180個/時間以上とした。また、検出対象は、爆発物微粒子とする。また、実証試験の結果を装置仕様にフィードバックすることで、ロバスト性を強化し、1ヶ月以上の連続運転が可能であることを実証する。

c. セキュリティゲート内蔵型トレース検出システム

爆発物を取り扱った際、手および手で触れたものには爆発物の痕跡が残りやすいことが知られている。そこで、トレース検出器をセキュリティゲートに内蔵させ、利用客がチェックインゲートなどにICカード、搭乗券、パスポートその他の物品をかざす際に、付着物(ホコリ)を採取し、質量分析計により直ちに付着物の分析を行い、爆発物微粒子の付着の有無を判定するシステムを開発する。

チケットやIDの読み取りといったゲートの基本機能と、爆発物探知機能とを、互いの干渉を防ぎ、両立させた上でシステム化する。試作した装置は、集客施設に設置して実証試験を行うとともに、実証試験で得られた課題を解決することで実用化を目指す。処理能力は、空港利用客のチェックインの流れを妨げない1,200人/時間とした。また、検出対象は、爆発物微粒子とする。また、実証試験の結果を装置仕様にフィードバックすることで、ロバスト性を強化し、1ヶ月以上の連続運転が可能であることを実証する。

3. 技術開発期間終了時の目標

自動サンプリング式のトレース検出システムを開発し、既存の機器に内蔵することにより、社会への実装を目指し、社会の安全・安心に貢献する。

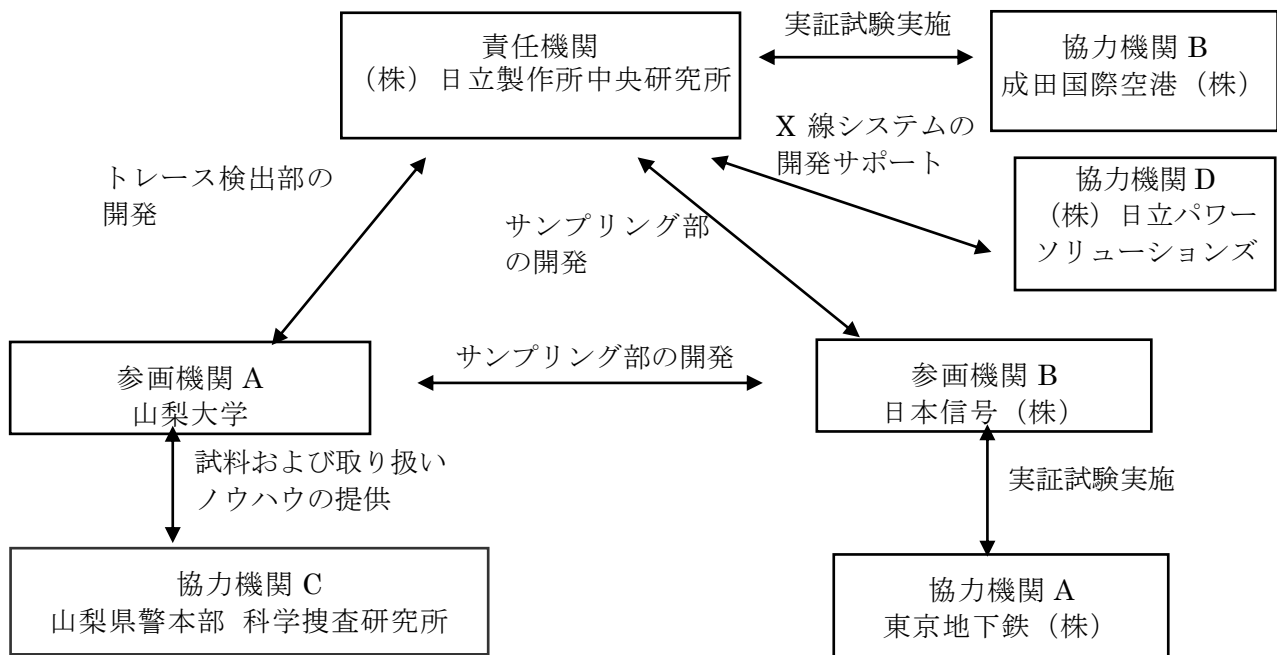
(主な開発目標)

- ・検出対象：軍用爆薬
手製爆薬
- ・検査時間：X線検査装置内蔵型
180個/時間 以上
セキュリティゲート内蔵型
1,200人/時間 以上
- ・検出下限：システム性能(システムで回収される爆薬量)
1~100マイクログラム
検出部の性能(分析部に到達する爆薬量)
1~100ナノグラム

4. 実証期間終了時の目標

集客施設への装置実装で得られた情報を装置仕様にフィードバックし、自動サンプリング式のトレース検出システムが、1ヶ月以上の連続運転を可能であることを実証する。

5. 実施体制



6. 各年度の計画と実績

a. 平成 22 年度（技術開発期間 1 年目）

・計画

主に要素技術の開発に充て、サンプリング部、イオン化部、質量分析部を検討する。検査対象（手元、手荷物など）から効果的に痕跡を回収するサンプリング手法を検討する。また、爆発物の高感度イオン化に適したバリアー放電イオン化を用いたイオン源を検討する。さらに、真空中に導入されたイオンを高感度・高選択に分析するリニアイオントラップ質量分析部を検討する。これらの要素技術の検討結果を元に、小型トレース検出装置の設計を行なう。

・実績

サンプリング部、イオン化部、質量分析部の要素技術の開発を行った。

サンプリング部では、検査対象に付着する爆薬微粒子を自動かつ高効率で採取するため、エアジェットによる微粒子の剥離および気流による微粒子の回収・濃縮技術を開発した。

イオン化部では、小型の質量分析部との結合に向けた低真空放電方式のイオン源の要素技術を検討し、新規イオン源の設計を行った。

質量分析部では、リニアイオントラップ質量分析部の小型化について検討し、X線検査装置やセキュリティゲートへの組み込みが可能な小型装置を設計した。

以上の検討結果に基づき、X線装置内蔵型トレース検出システムおよびセキュリティゲート内蔵型トレース検出システムの設計を行った。

このように、すべて計画通り遂行した。

b. 平成 23 年度（技術開発期間 2 年目）

・計画

1年目での設計を元に、小型トレース検出部を開発する。また、小型トレース検出部を内蔵または併設するための、X線検査装置、セキュリティゲートの検

討、設計を行なう。

・実績

1年目での設計を元に、小型トレース検出部を開発した。また、小型トレース検出部を内蔵または併設するための、X線検査装置、セキュリティゲートの検討、設計を行った。

開発した小型トレース検出部の大きさは、容積が約 190L であり、小型化の目標容積（200L 以下）を達成した。さらに、この小型トレース検出部は、検出対象とする軍用爆薬・手製爆薬を 1~100 ナノグラムで検出できることを確認し、検出部の性能として規定した目標（検出下限：1~100 ナノグラム）を達成した。

また、X線検査装置、セキュリティゲートの検討においては、検査対象に付着する爆薬微粒子を高効率で小型トレース検出部に導入する機構を試作した。その結果、システム性能の目標（検出下限：1~100 マイクログラム）を満たし、かつ、小型トレース検出部を内蔵または併設できる見通しを得た。

このように、すべて計画通り遂行した。

c. 平成 24 年度（技術開発期間 3 年目）

・計画

X線検査装置内蔵型トレース検出システム、セキュリティゲート内蔵型トレース検出システムを開発し、評価試験を行う。評価を踏まえて改良を行う。

・実績

2年目までの検討、設計を元に、X線検査装置内蔵型トレース検出システム、セキュリティゲート内蔵型トレース検出システムを開発し、評価試験を行った。また、必要に応じて改良を行った。

セキュリティシステムのユーザーにヒアリングしたところ、既にセキュリティチェックポイントなどに多数導入されているX線検査装置をそのまま利用したいという要望が多かった。そこで、X線検査装置内蔵型トレース検出システムの開発では、既存の

X線検査装置と直列に配置することで実質的な一体運用が可能な手荷物用トレース検出システムを開発した。これにより、従来の設置スペース内でバルク・トレースの同時測定が可能となった。

セキュリティゲート内蔵型トレース検出システムの開発では、2年目までに開発した小型トレース検出部を、空港の搭乗ゲートに設置されている搭乗券読取装置に実装した。これにより、利用客が搭乗手続きのためICカードなどをゲートにかざす際に、圧縮空気を吹き付けてICカードなどから付着物を回収するとともに、回収した付着物を直ちに分析し、爆薬微粒子の付着の有無を判定することが可能となった。

また、これらのX線装置内蔵型トレース検出システム、セキュリティゲート内蔵型トレース検出システムを場内で試験した結果、検出対象、検査時間、検出下限という技術開発期間終了時の目標を全て達成した。

このように、全て計画通り遂行した。

d. 平成25年度（実証期間1年目）

・計画

実証試験を行い、開発した装置のシステム性能（スループット、感度、誤報率など）をフィールドにて実証する。

・実績

セキュリティゲート内蔵型トレース検出システムを東京地下鉄株式会社丸の内線霞ヶ関駅に設置し、実証試験を行った。駅の利用客の中から約800

名のボランティアを募り、ボランティアに実際にセキュリティゲート内蔵型トレース検出システムを通じていただくことで、開発した装置のシステム性能（スループット、感度、誤報率など）をフィールドにて実証した。

スループットに関しては、ボランティアが装置に不慣れであるため、安全面を考慮して、4秒ごとに1名通過する設定で運用した（スループット：900人/時）。ただし、別に行った場内試験により、セキュリティゲート内蔵型トレース検出システムは慣れた人が通れば2,400人/時のスループットを達成できることを確認した。

また、爆発物検出部はフィールドでも十分な感度を有しており、爆発物の検出が可能であることを確認した。

誤報率は、実証試験の際に設定した判定条件では、0.5%程度になることが分かった。誤報率を低減させる判定条件については、引き続き検討する。

実証試験を実施した駅は、装置を開発している場内に比べて塵埃が多い環境であるが、3日間の実証試験の間、塵埃によるトラブルは発生しなかった。

このように、全て計画通り遂行した。

e. 平成26年度（実証期間2年目）

・計画

引き続き実証試験を行い、耐環境性、メンテナンス性など使い勝手の面で生じた課題を改良し、ミッションステートメントを達成する。

7. 年次計画

取組内容	1年度目	2年度目	3年度目	4年度目	5年度目
a. トレース検出部の高性能化	高感度イオン源の評価 小型トレース検出部の設計	高感度イオン源プロト 小型トレース検出部の開発	高感度イオン源		
b. X線検査装置内蔵型トレース検出システム		検出システムの検討、設計	検出システムの開発・評価	実証試験および改良	改良型の実証試験
c. セキュリティゲート内蔵型トレース検出システム	検出部をゲートに内蔵させるための検討	検出システムの検討、設計	検出システムの開発・評価	実証試験および改良の検討	改良型の実証試験