

# 人道的对人地雷探知・除去技術研究開発推進事業

## 事業事後評価用資料

独立行政法人 科学技術振興機構  
戦略的創造事業本部

## 国から提示された目標

### 1. 目標

人道的観点からの対人地雷の探知・除去活動を支援するセンシング技術、アクセス・制御技術の研究開発

### 2. 具体的な達成目標

3～5年後において、地雷被埋設国等の地雷処理の現場において技術実証試験を行うことが可能な対人地雷の探知・除去技術（技術実証機レベル）を開発し、地雷被埋設国等の地雷処理機関（政府機関、国際機関、NGO等）に提供することを達成目標とする。

具体的には、地雷処理の現場で必要とされている公共目的の技術（公共技術）として次のものを開発していくこととする。

3年後を目途に、以下の技術を開発する。

- ・地雷と土壌の物性値の相対的な違いに着目し、地雷探知過程（いわゆるレベル2）又は地雷除去確認過程（いわゆるレベル3）のサーベイにおいて対人地雷を確実に探知可能なセンシング技術の開発
- ・比較的平坦な地雷原に安全かつ効率的にセンサ、マニピュレータ等を持ち込むための遠隔操作可能なアクセス機材の開発
- ・上記アクセス機材に装着するマニピュレータ及びその制御技術の開発

5年後を目途に、以下の技術を開発する。

- ・地雷（火薬）自体の物性値に着目し、地雷探知過程（いわゆるレベル2）又は地雷除去確認過程（いわゆるレベル3）のサーベイにおいて対人地雷を確実に、簡易かつ迅速に探知可能なセンシング技術の開発
- ・多様な地形の地雷原に安全かつ効率的にセンサ、マニピュレータ等を持ち込むための高度なアクセス・制御技術の開発
- ・地雷の確認や除去の作業に利用可能なバイラテラル制御等の高度なマニピュレータ技術の開発

以上に平行して、技術のあり方、技術の及ぼす社会的影響等に関する社会科学的観点からの研究を行い、技術の実施に当たって必要な知見を得る。

### 3. 目標設定の背景及び社会経済上の要請

- ・人道的観点から対人地雷の探知・除去活動を支援する技術については、以下のとおり、国際的、政策的な見地から強い要請が存在する。
- ・アフガニスタンをはじめとして、現在、世界には1億1千万個の地雷が存在している。その除去には、今のペースでは数百年或いはそれ以上を要すると言われており、地雷の探知・除去のペースを早めることが、地雷被埋設国の復興上不可欠な課題となっている。
- ・この世界的な課題の解決のため、科学技術の果たす役割に対する期待が地雷被埋設国において高まっている。例えば、平成14年3月にタイで開催された「東南アジア地雷対策・技術協力ワークショップ」においても、地雷処理に携わる国際機関、NGO等から、技術開発への取組みの重要性が指摘されているところである。

- ・こうした観点から、我が国政府においては、平成14年1月のアフガニスタン復興支援東京会議において研究開発を通じた貢献を表明するなど、我が国産学官の有する優れた科学技術力を最大限に活かし、「顔の見える援助」を実現することとしている。
- ・具体的には、内閣官房において「アフガニスタン支援（地雷除去分野）に関する関係省庁会合」が主催され、政府一体となった取組みが実施されている。また、文部科学省においては「対人地雷の探知・除去技術に関する研究会」を中心として、本分野において科学技術を通じた顔の見える国際貢献を行うための検討が着実に進められてきたところである。
- ・なお、国家的・社会的課題への対応の重視、自然科学のみならず社会科学的観点からの取組みといった点は、社会技術研究のもつ基本的特徴に合致することから、本分野の研究開発については、社会技術研究の中に、公共的目的に資する技術即ち公共技術の開発という分野を明確に位置付け、安全保障に関する技術の具体的な研究開発領域として取り組んでいくことが適当である。

#### **4. 目標設定の科学的裏付け**

- ・2. で掲げた技術は、文部科学省「対人地雷の探知・除去技術に関する研究会」において、我が国の産学官の有識者からのヒアリング等を通じて抽出した技術開発課題であり、基本的に我が国の科学技術力が優れた分野に関する技術開発課題を示している。
- ・センシング技術については、従来の民生用（地下埋設管の探索用途等）の地中レーダ技術等について高い技術を有するとともに、地雷探知分野に特化した先導的開発事例も存在するなど、我が国の技術水準は極めて高い。また、センサフュージョンのためのシステム・インテグレーション技術についても我が国の得意な技術分野である。
- ・アクセス・制御技術については、ロボット技術、車両技術や、それらのナビゲーション技術等、我が国が極めて強い技術開発力を有する分野であり、他国に先駆けた技術を創出することが可能。

#### **5. 重点研究期間**

国家的、社会的観点からの要請が極めて強く、また、喫緊の取組みが求められていることから、社会技術研究の中で公共技術（そのうち安全保障に関する技術）の開発と位置付け、平成14年度早期より可及的速やかに研究開発体制を整備して取組みに着手することが必要である。このため、短期的な研究開発課題については3年間程度、中期的な研究開発課題については5年間程度で研究開発を実施し、地雷被埋設国等における現地技術実証試験に開発技術（技術実証機レベル）を供することとする。（但し、地雷被埋設国等の政府機関、国際機関、NGOからの要請を踏まえつつ、研究期間等については、柔軟に対応していくことが必要。）

##### 地雷探知作業の作業ステップ

レベル1サーベイ：地雷原の地域を特定するための粗いサーベイ

レベル2サーベイ：地雷原の中で、埋設された地雷を100%探知し、その位置をマーキングするための詳細なサーベイ

レベル3サーベイ：レベル2と近い概念であるが、地雷除去作業後に100%地雷が除去されたかどうかを最終確認するためのサーベイ

## 1. 事業の目標

「人道的対人地雷探知・除去研究開発推進事業においては、先端的な科学技術を駆使して地雷探知技術の向上を図り、人道的観点から対人地雷探知・除去活動に資する研究開発を推進し、平成 19 年度までに地雷被埋設国等における実証試験に供与可能な技術を開発することを目標とする」

## 2. 研究領域

・研究領域：

「人道的観点からの対人地雷の探査・除去活動を支援するセンシング技術、アクセス・制御技術の研究開発」

・研究領域の概要：

対人地雷の探知・除去を支援するセンシング技術等については、3 年又は 5 年以内に、地雷被埋設国等の地雷処理の現場において、技術実証試験を実施することが期待されている。

この研究領域では、そのためのセンシング技術、アクセス・制御技術についての研究開発を対象としている。

具体的には、3 年を目途にした短期的研究開発として、地雷と土壌の物性値の相対的な違いに着目し、対人地雷を安全、確実かつ効率的に探知可能なセンシング技術や、比較的平坦な地雷原に安全かつ効率的にセンサ、マニピュレータ等を持ち込むための遠隔操作可能なアクセス機材や、それに装着するマニピュレータ及びその制御技術が含まれる。

また、5 年を目途にした中期的研究開発として、地雷に含まれる火薬自体の性質にも着目し、対人地雷をより一層安全、確実かつ効率的に探知可能なセンシング技術や、多様な地形の地雷原に安全かつ効率的にセンサ、マニピュレータ等を持ち込むための高度なアクセス・制御技術、さらには、地雷の確認や除去の作業に利用可能な自律制御、バイラテラル制御等の高度なマニピュレーション技術が含まれる。

## 3. 研究総括

氏名 古田 勝久（東京電機大学 教授）

4. 採択課題・研究費（表1）

（単位：千円）

		研究代表者	終了時の所属・役職	研究課題	研究開発期間	総研究費	
短期的研究開発課題	センシング技術	杉本 末男	立命館大学教授	UWB 地中レーダによる超高感度地震探知技術の確立	H14.11.1 ～ H15.3.31	(22,207)	
		井上 義高	ジオサーチ（株）	（未舗装）道路に埋設された地雷探知システムの研究開発	H14.11.1 ～ H15.3.31	(30,427)	
		都甲 潔	九州大学教授	爆薬分子を超高感度で認識するバイオセンサの開発	H14.11.1 ～ H17.3.31	(97,756)	
		荒井 郁男	電気通信大学教授	反射波と透過波の複合受信による地雷探査レーダの開発	H14.11.1 ～ H18.3.31	165,695	
		佐藤 源之	東北大学 東北アジア研究センター教授	地雷探知用ウェアラブル SAR - GPR の開発	H14.11.1(*1) ～ H19.10.31	473,705	
	センシング技術	アクセス・制御技術	福田 敏男	名古屋大学 大学院教授	環境適応型高性能対人地雷システムの開発	H14.11.1 ～ H18.3.31	390,254
			野波 健蔵	千葉大学 教授	地雷探知ロボットと無人処理車による地雷除去支援	H14.11.1 ～ H18.3.31	401,219
		アクセス・制御技術	池上 友博	(株)タダノ技術研究所長	地雷探知ユニットのアクセス用機械の研究開発	H14.11.1 ～ H18.3.31	192,241
			広瀬 茂男	東京工業大学教授	バギー車両・遠隔操作アームなどによる地雷探査除去支援システムの開発	H14.11.1(*2) ～ H19.10.31	196,192
中期的課題	センシング技術	糸崎 秀夫	大阪大学教授	SQUID - NQR 地雷化学物質探知技術開発	H14.11.1 ～ H19.10.31	447,002	
		井口 哲夫	名古屋大学教授	地雷探査用高度化即発ガンマ線分析システムの開発	H14.11.1 ～ H19.10.31	301,253	
		吉川 潔	京都大学教授	超小型放電型核融合中性子源による地雷探査技術の開発	H14.11.1 ～ H19.10.31	341,132	

(\*1)平成 18 年 4 月に平成 19 年 10 月 31 日まで期間が延長された      \*) 各研究課題とも 5 年間の見込み総額（間接費を含まない）

(\*2)平成 18 年 4 月に糸崎秀夫チームのサブチームとして平成 19 年 10 月 31 日まで期間が延長された

## 5 . 研究総括のねらい

日本は、対人地雷禁止条約署名式において「犠牲者ゼロ・プログラム」を発表し、被埋設国の政府等が行う人道的な対人地雷除去活動に対して積極的に支援する立場を明確にするとともに、その支援については、東京ガイドライン（地雷除去活動における取り組み、犠牲者に対する支援に関するガイドラインの他、地雷の探知及び除去技術の開発に関するガイドライン（短期的には既存の技術の効果的な組み合わせ(tool-box approach)、中長期的には新技術の開発との二重アプローチ(double-track approach)をとること）に沿って実施している。

本研究開発は、東京ガイドラインにおける「地雷の探知及び除去技術の開発」を担うものであり、世界的な対人地雷探知・除去技術開発の最先端動向を踏まえつつ、文部科学省が作成した、「対人地雷探知・除去技術に関する研究開発の進め方について」（平成 14 年（2002 年）5 月 27 日：以後、「研究開発指針」ともいう）に基づき、我が国が得意とする先端科学技術（計測、制御技術等）を駆使して、人道的対人地雷の探知・除去活動におけるより安全で効率的な作業を可能とする技術（新しいセンサ及びその機能を最大限発揮させるアクセス・制御技術：対人地雷探知・除去ロボット技術）を開発し、我が国に期待される国際貢献に寄与することを第一の狙いとし、同時に、この研究開発を実施することにより、さまざまな分野で人間に代わり危険な作業を確実に実施できるロボット等に関する技術水準を大きく引き上げることが狙いとした。

対人地雷の探知・除去を支援するセンシング技術等については、3 年又は 5 年以内に、地雷被埋設国等の地雷処理の現場において、技術実証試験を実施することが期待されている。

この研究領域では、そのためのセンシング技術、アクセス・制御技術についての研究開発を対象としている。

具体的には新しいセンシング技術として研究開発対象としたものは、以下の 2 種類である。

- A. 地雷と土壌の物性値の違いに着目するセンシング技術（短期的研究開発課題）
- B. 地雷（火薬）自体の物性値に着目するセンシング技術（中期的研究開発課題）

A.については、地雷探知において世界的に有望と考えられている地中レーダ（GPR：Ground Penetrating Radar）を使う技術（周波数可変型レーダ技術、高分解レーダ技術、地中レーダ信号処理技術等）に焦点を当て、地雷探知作業において汎用的な金属探知機が抱える高い誤検知率（地雷原に散乱する多くの金属片を探知してしまうことによる）を下げるセンサの開発を最優先とすること、また、欧米で先行的に開発されている金属探知機・地中レーダ複合探知機での信号表示が音であるのに対して、探知情報を画像表示として地雷探知・除去作業員が判断する情報量を増やすこと（これを実施するためには地中レーダ信号処理技術開発が必要）で、金属探知機のみでの誤検知率を下げ効率的な地雷探知を目指すセンサ（地雷探知機）を開発することを狙いとした。

なお、地中レーダ（GPR）については、この事業以前にも土木工事等民生技術開発の蓄積が相

当あるため、短期的研究開発課題（研究期間3年）とし、地雷対策の現場ですぐにでも使用できる装置（ハンドヘルド型のもの、ロボットに搭載できるもの）の開発を狙った。

B. については、世界的な地雷探知技術開発においてこれまで精力的には開発されてはいないが、有力と思われる以下の3つの技術に注目することとした。

- ・核四極共鳴（NQR：Nuclear Quadrupole Resonance）法：（火薬中の）窒素原子核の四極共鳴を利用
- ・中性子法：（火薬中の）窒素の中性子捕獲反応による $\gamma$ 線放出等を利用
- ・爆薬を認識するバイオセンサを利用

実際に使われている対人地雷は、金属探知機で発見されないようにするため、金属部品をなるべく少なくしたものが多く使われている。このため地雷探知においては、金属探知機の感度を上げることとなり、その結果として誤検知率が極めて高くなる悪循環を引き起こしている。この観点から、地雷に含まれる火薬自体の性質にも着目し、爆薬そのものを探知するセンサの開発を行うことでより効率的な地雷探知を行うことを狙いとした。さらに、対人地雷をより一層安全、確実かつ効率的に探知可能なセンシング技術や、多様な地形の地雷原に安全かつ効率的にセンサ、マニピュレータ等を持ち込むための高度なアクセス・制御技術、さらには、地雷の確認や除去の作業に利用可能な自律制御、バイラテラル制御等の高度なマニピュレーション技術の開発が含まれる。同時に爆薬の探知については、地雷探知のみならず、社会の安全・安心を促進する技術の進歩への貢献も狙いとした。

なお、核四極共鳴法及び中性子法とも、日本においては地雷探知技術開発の蓄積がないため、中期的研究開発課題（研究期間5年間）とし、やや基礎的な点も含めて研究開発することとした。

## 6．課題の選考について

アフガニスタンをはじめ世界の数多くの国において埋設された対人地雷の探知・除去は、復興・開発上の大きな障害となっている。我が国は、人道的観点から、対人地雷の探知・除去活動をより安全、確実かつ効率的に実施できるよう、我が国の誇る科学技術を駆使して新たな技術を開発し、提供することにより、「顔の見える援助」の実現を図ることが求められている。本研究領域はこうした観点から設定されたものであり、その役割は極めて重要である。気概ある我が国の研究開発関係者からの優れた研究開発提案が多数集採択できることを期待した。

研究開発課題の選考に当たっては、次の2点に特に留意した。

第一に、地雷処理の現場において「実際に使える技術」を研究開発するための提案を求めた。本研究領域においては、3～5年以内に、試作機を開発し、地雷被埋設国等の地雷処理の現場におい

て技術実証試験を実施することを達成目標としている。従って、課題の選考に当たっても、地雷処理の現場のニーズに的確に対応した提案となっているかどうかという観点を特に重視した。例えば、過酷な環境下でも安定的に作動する技術であるか、地雷処理の現場において専門家によるメンテナンスを必要せずに利用できる技術であるか、などの観点を重視した。

また、実際に使える技術をより早く開発していくことも重要な点であり、同程度の技術であれば早く技術実証に至ることができるものを優先して選定した。

第二に、本研究領域においては「インテグレーション」というコンセプトを重視する。本研究領域において期待している研究開発の内容は、かなり先端的な基礎的な研究の段階のものから、技術実証の段階のものまで包含されている。こうした多様な研究開発を実施し、短期間で目標を達成するためには、個々の研究開発の取組みが独立して進められるのではなく、全体としてインテグレーションされながら研究開発が実施されることが必要である。従って、提案の応募に当たっては、基礎的な研究から技術実証の段階までをカバーできるような、例えば産学官連携の共同研究チームであることを期待する。特に、3年以内の技術実証試験を目指す提案の場合には、センシングとアクセス・制御の両者を組み合わせたものが望まれる。

一方で、個々の研究者が真に独創的な研究開発提案で応募することも当然重要であると考えている。特に、5年以内の技術実証試験を目指す場合には、短期間のフェージビリティスタディを実施した後に評価の上、有望な課題を継続することも想定している。

さらに、研究開発の提案をした後で、他の提案と研究内容を調整し、共同研究チームを形成することを前提として採択することや、研究の進捗状況に応じて、他の研究チームと共同して実施とすることも想定している。

以上の狙いを実現するため、応募した82テーマより、まず26テーマに絞り込んで提案者との面接を実施し、表1に示す12課題を採択した。面接を実施したテーマにおけるセンシング技術、アクセス・制御技術に関する提案の件数及び採択件数は以下の表2とおりであった。

### (1) センシング技術について

A. 地雷と土壌の物性値の違いに着目するセンシング技術(短期的研究開発課題)については、地中レーダ(GPR)技術とし、提案においては、

- ・これまでに同種の開発実績を有し、地中レーダ技術開発における要点を把握していること
- ・3年間で確実にできる範囲に絞りこんだ提案がなされていること

等を参考として、9件の応募より6テーマを選んだ。なお、この6テーマについては各年度末の評価会(年度末評価会)に進捗状況や今後の開発方針等に関する報告をさせ、他チームとの比較評価を行い、研究開発を継続するもの、打ち切りとするものを決定することとした。

B. 地雷(火薬)自体の物性値に着目するセンシング技術(中期的研究開発課題)については、以



下のものとし、

- ・核四極共鳴（NQR）法：（火薬中の）窒素原子核の四極共鳴を利用
- ・中性子法：（火薬中の）窒素の中性子捕獲反応による  $\gamma$  線放出等を利用
- ・爆薬を認識するバイオセンサを利用

NQR 法については 2 件の応募から実現性が高いと思われる 1 件を、中性子法については 3 件の応募から中性子源及びガンマ線測定の全体をカバーしているものの 2 件を、またバイオセンサについては、3 件の応募から実現性が高いと思われる 1 件を選んだ。これらの中期的研究開発課題のものについても、各年度末の評価会において、進捗状況や今後の開発方針等に関する報告をさせ、研究開発を継続するもの、打ち切りとするものを決定することとした。

## （２）アクセス・制御技術について

空からのアクセス方法（浮遊移動体、軽飛行機、ヘリコプター等）については組み合わせるべきセンシング技術に適当なものがないこと等から選定しなかった。また、地上からのアクセスでこれまでに研究・開発実績があるものでも、国連が実施している地雷探知除去の SOP（Standard Operation Procedure）に合致しないものについては、選定しなかった。

アクセス・制御技術の狙い合致するもの、すなわち、アクセス・制御技術として、A. 遠隔操作可能な車両ベースのプラットフォームの開発及び B. センサを搭載し、その性能を最大限に引き出せるマニピュレータの開発を含むテーマとして、小型車両関連 3 件のうち 2 件を、大型車両をベースとするものについては 2 件の応募のうち 1 件を選定した。

**表2 面接を実施した提案の技術開発件数と採択件数**

技術	提案開発件数	採択開発件数	
センシング技術	地中レーダ（GPR）開発	9件	6件（途中打ち切り2件）
	温度センサ開発	1件	0件
	化学センサ開発	3件	0件
	バイオセンサ開発	3件	1件（途中打ち切り）
	赤外線センサ開発	2件	0件
	NQR 利用センサ開発	2件	1件
	中性子利用センサ開発 （中性子源のみ 1件）	2件	2件
	その他センサ開発	1件	0件
	アクセス技術	小型車両ベース	3件
大型車両ベース		2件	1件
飛行船（浮遊移動方体）		2件	0件
軽飛行機、ヘリコプター		2件	0件
制御技術	マニピュレーション技術	3件	3件
除去技術	小型車両	1件	1件
	自立歩行ロボット	1件	0件
	バイラテラルマスタースレーブ機構	1件	1件
	その他（突き刺し型爆破処理）	1件	0件

（1件の提案に複数の開発提案が含まれており、採択開発件数と採択提案件数は一致しない。）

## 7. 領域アドバイザーについて

本領域に関連する研究者は、大学学部（あるいは大学院）では、工学部（工学系研究科）基礎工学、エネルギー理工学研究科等に、あるいは大型機械メーカーの技術開発部門に属している。これらの研究者が実施する研究開発をできるだけカバーするため、以下の表3に記した優れた実績と高い見識を持っておられると判断される方々に領域のアドバイザーを依頼した。

表3. 領域アドバイザー（所属・役職は平成19年10月現在）

領域アドバイザー	所属・役職	任期
佐野 昭	慶應義塾大学 理工学部 教授	平成14年11月～平成19年10月
原島 文雄	東京電機大学 工学部 教授 (東京大学 名誉教授)	平成14年11月～平成19年10月
古崎 新太郎	崇城大学 工学部 教授 (東京大学 名誉教授)	平成14年11月～平成19年10月
本多 敏	慶應義塾大学 理工学部 教授	平成14年11月～平成19年10月
町 末男	原子力安全研究協会	平成14年11月～平成19年10月

## 8. 研究領域の運営について

この研究領域の特徴として、センシング技術とアクセス・制御技術の大きく2つの技術分野に分かれ、研究課題を担う各チームは、どちらかの分野に属する（両分野に属するのは2チームのみ）。本領域の最終的な目標としては、開発するセンサと車両をベースとするアクセス・制御機器とが統合されたシステムとしての地雷探知・除去実証機であり、センシング技術とアクセス・制御技術の両分野の緊密な連携が必要である。

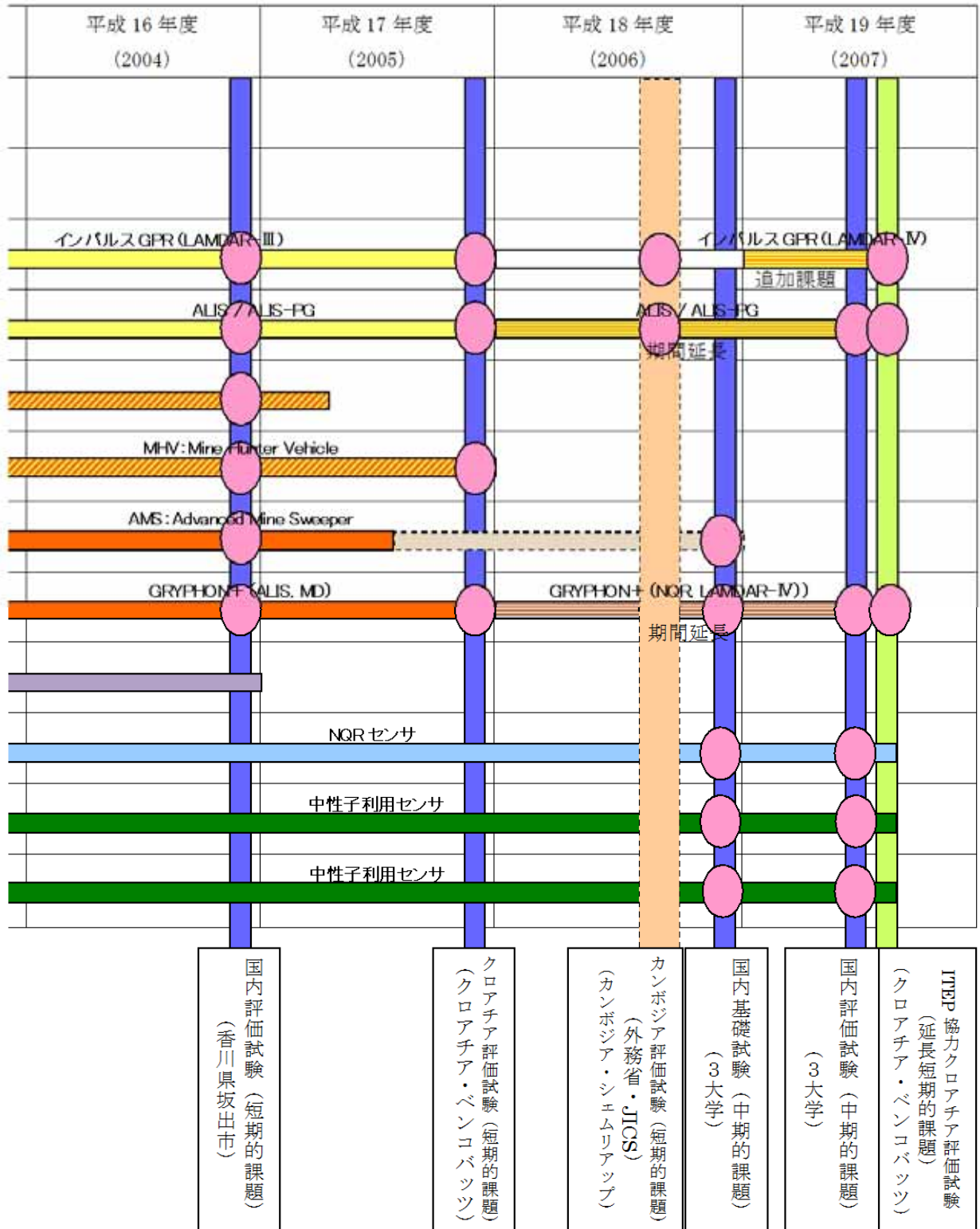
また、センシング技術については、採用の時点で同じテーマ（例えばGPRの開発）を担うチームがいくつかあり、評価試験などを実施し、競争の上でその後の継続チームを決めてゆく方式をとった。

各課題の研究開発期間その実施スケジュールを表4に示す。

表4 人道的観点からの対人地雷の探知・除去活動を支援

種類		研究開発課題 研究代表者 (所属・肩書は課題終了時)	平成 14 年度 (2002)	平成 15 年度 (2003)
短期的課題	センシング技術	○(未舗装)道路に埋設された地雷探知システムの研究開発 井上 義高 (ジオ・サーチ(株))		
		○UWB 地中レーダによる超高感度地震探知技術の確立 杉本 末雄 (立命館大学教授)		
		○反射波と透過波の複合受信による地雷探査レーダの開発 荒井 郁男 (電気通信大学教授)		
		○地雷探知用ウェアラブル・SAR-GPRの開発 佐藤 源之 (東北大学教授)		SAR-GPR
		○環境適応型高性能対人地雷探知システムの研究開発 福田 敏男 (名古屋大学教授)	金属探知・GPR 複合センサ搭載センシングユニット	
		○地雷探知ロボットと無人処理車による地雷除去支援 野波 健蔵 (千葉大学教授)	MHV: Mine Hunter Vehicle	
	制御技術	○地雷の探知・除去ユニットのアクセス用機械の研究開発 池上 友博 (株式会社タダノ技術研究所長)	AMS: Advanced Mine Sweeper	
		○バギー車両・遠隔操作アームなどによる地雷探査除去支援システムの開発 広瀬 茂男 (東京工業大学教授)	GRYPHON(バギー車両+遠隔操作アーム)	
中期的課題	センシング技術	○爆薬分子を超高感度で認識するバイオセンサの開発 都甲 潔 (九州大学教授)		
		○SQUID-NQR地雷化学物質探知技術開発 糸崎 秀夫 (大阪大学教授)		
		○地雷探査用高度化即発ガンマ線分析システムの開発 井口 哲夫 (名古屋大学教授)		
		○超小型放電型中性子源による地雷探知技術の開発 吉川 潔 (京都大学名誉教授)		

するセンシング技術、アクセス・制御技術の研究開発スケジュール



本研究領域の運営に当たり以下の点に留意した。

センシング技術分野チームとアクセス・制御技術分野チーム間の連携支援  
センシング技術分野における同一テーマでの競争  
地雷被埋設国のニーズの取り込み

については、採用した課題はセンシング技術分野に属するものとアクセス・制御技術分野に属するものとに分かれており、当該事業が目指す両者が統合された地雷探知ロボットを開発するためには、両分野の研究チーム間の連携が必須であるためである。この連携支援を行い、各チーム自身の研究開発状況と統合を実施するチームの研究開発状況を踏まえつつ、取り合い条件を意識して研究開発を行わせることを運営の第一番目の基本とした。

については、センシング技術のうちの地中レーダ（GPR）の開発においては、プロジェクト初期の平成 14 年度においては 6 チームが取り組んだが、基礎的な性能評価試験を実施するとともに、研究代表者の経験、見通し、等をベースとして絞り込みをかけ、平成 15 年度からはそのうちの 2 つのチームについて打ち切りとした。

また、GPR の開発は、センシング技術においては短期課題で 3 年間での終了を原則としたが、一チームの開発した GPR・MD の複合センサについては、世界的なレベルまでもってゆけると判断したため、中期課題と同じ平成 19 年 10 月末まで期間を延長した。さらに、中性子技術についても 2 チームを採用したため、お互いの競争を促すこととした。

一方、センシング技術に関するテーマで、「爆薬分子を超高感度で認識するバイオセンサの開発」については、地雷原での適用について考慮すると、雨季の多い地域や風の強い地域などでは現実性が薄く、これについても平成 16 年度で打ち切りとした。

については、開発するセンサとアクセス・制御機器（車両をベース）とが統合されたシステムとしての地雷探知・除去実証機が開発目標であり、センシング技術分野のチームとアクセス・制御技術分野のチームの緊密な連携が要求される。このため、各チームから進捗状況を年に 2～3 回報告させ、全チームの研究開発状況をできる限り正確に把握し、必要なチーム間の連携を適時に促してゆく運営の仕方を取った。

#### （１）センシング技術分野チームとアクセス・制御技術分野チーム間の連携支援

本事業の実施体制は、図 1 に示すとおりである。

この研究領域の特徴として、センシング技術とアクセス・制御技術の大きく 2 つの技術分野に分かれ、研究開発課題を担う各チームは、どちらかの分野に属する（両分野に属するのは 2 チーム

ムのみ)。本領域の最終的な目標としては、開発するセンサと車両をベースとするアクセス・制御機器とが統合されたシステムとしての地雷探知・除去ロボットの実証機であり、両分野の緊密な連携が必要である。このため、研究総括及び対人地雷探知除去研究事務所においては、センシング技術分野の各研究チームとアクセス・制御技術分野の各研究チームとの連携を支援した。また、研究総括が関係するチームを招集し、開催した連携/連絡会議、進捗状況報告会議等を行った。

なお、各年度に実施した本プロジェクトで実施した意見交換会、シンポジウム、試験、進捗状況報告会の日時を以下の表5に示す。

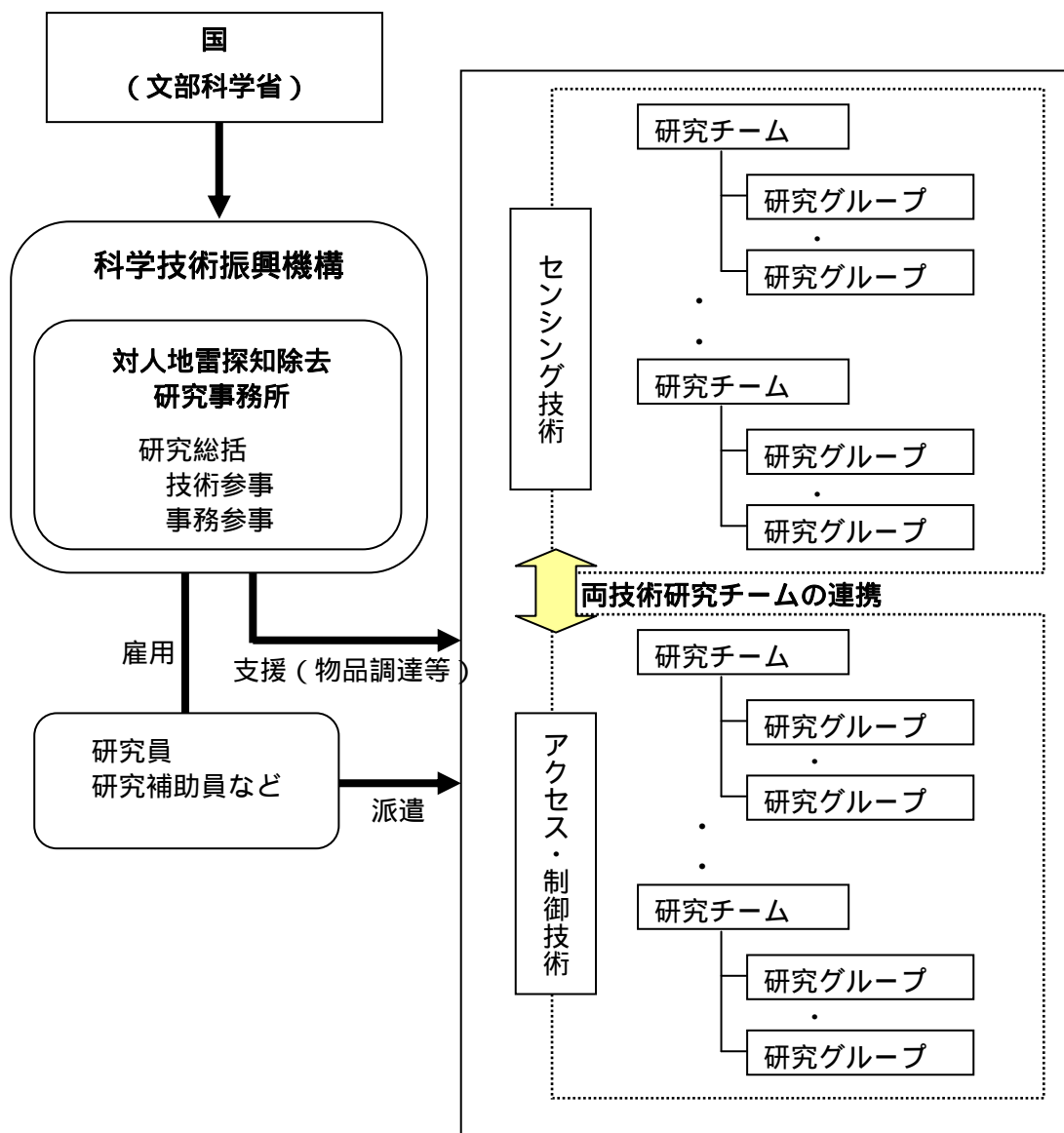


図1 本事業の実施体制

表5 本プロジェクトで実施した意見交換会、シンポジウム、試験等

時期		項目・内容	実施場所等
2002年11月		研究開発開始	
2002年度	2002年 12月2日	地雷探知研究に関する意見交換会 “UNMACAメンバーを招聘しての研究者 のプレゼンテーションと意見交換”	愛宕 JST 大会議室
2003年度	2003年 6月25日	第1回公開シンポジウム 「人道的地雷探知・除去支援技術」 プロジェクト活動紹介	早稲田大学国際会議場 ・井深大記念ホール
	2003年 12月9日	国連アフガニスタン地雷対策センター (UNMACA)との意見交換会 “UNMACAメンバーを招聘しての研究者 のプレゼンテーションと意見交換”	東京工業大学・国際交流会館
2004年度	2004年 6月10日	シンポジウム(第2回公開シンポジウム) “対人地雷の探知・除去を目指した試作機の発表 展示会“(短期的研究開発課題の試作機に関する 発表・展示)	早稲田大学国際会議場 ・井深大記念ホール
	2004年 11月29日 ~12月3日	プロジェクト活動紹介 対人地雷禁止条約(オタワ条約)第1回検討会議	ケニア・ナイロビ国連
	2005年 2月8日 ~3月11日	国内評価試験 【短期的研究開発課題 国内評価試験】 (短期的研究開発課題の試作機の屋外公開試験) ・MHV+(SAR-GPR, LAMDAR- )、 GRYPHON+ALIS 中間段階試作機、 ALIS 中間段階試作機(ハンドヘルド型)、 AMS+斜面ユニット、低接地圧ビークル の性能評価試験	香川県坂出市 (番の州臨海工業団地)
	2005年 3月16日	“地雷探知機(試作機)の屋外公開試験”(平成 17年3月)の結果報告(マスコミ・一般公開)	香川県坂出市 (番の州臨海工業団地)
2005年度	2005年 6月21 ~6月23日	IARP 国際 Workshop on Robotics and Mechanical Assistance in Humanitarian Demining “HUDEM2005” (第3回公開シンポジウム:海外の対人地雷探 知研究者を広く招聘) ・6/22 東京工業大学で GRYPHON+GPR、 MHV+GPR のデモ ・6/23 山梨日立建機で地雷除去機見学	日本科学未来館 (東京工業大学) (山梨日立建機)
	2006年 2月1日 ~3月9日	クロアチア評価試験 【短期的研究開発課題国外評価試験】 (JST・CROMAC-CTDT 共催) ・MHV+(SAR-GPR, LAMDAR- )、 GRYPHON+ALIS 中間段階試作機、ALIS 中間 段階試作機(ハンドヘルド型)の実地雷を用い た性能実証試験	クロアチア・ベンコバツ (CROMAC-CTDT 試験場)



	2006年 2月16日	クロアチア評価試験の一般公開 (ワークショップ) “クロアチアの実証試験に技術を提供”	クロアチア・ ザダル及びベンコバツ
時期		項目・内容	実施場所等
2006年度	2006年 4月23日 ～4月26日	国際シンポジウム・試作機公開デモ CROMAC 主催・ ”HUMANITARIAN DEMINING 2006”	クロアチア・シベニック
	2006年 7月4日	シンポジウム(第4回公開シンポジウム) (短期的研究開発課題終了報告会)	早稲田大学国際会議場 ・井深大記念ホール
	2006年 10月下旬 ～1月上旬	カンボジア評価試験 【短期的研究開発課題カンボジア評価試験】 外務省の研究支援無償プログラム「カンボジア 王国地雷除去活動支援機材開発研究計画」・評 価試験(CMAC・JICS) ・ALIS 中間段階試作機、LAMDAR- 、GRYPHON+(MD、ALIS)の評価 Trial	カンボジア・シェムリアップ (CMAC 試験場)
	2007年 2月上旬 ～3月上旬	国内基礎試験 【中期的研究開発課題基礎性能評価試験】 中期的研究開発課題(火薬センサ)の基礎試験 ・NQR センサ、中性子利用センサ	各大学の施設内
	2007年 3月7日 ～3月9日	International Workshop on "Humanitarian Landmine Detection and Detection of Illicit Materials" (地雷探知、テロ対策関連技術開発で火薬・不 法物質探知研究を実施している専門家を招い て意見交換を行った。)	京都大学・宇治キャンパス
2007年度	2007年 8月下旬 ～10月下旬	国内評価試験 【中期的研究開発課題性能評価試験】 ・NQR センサ、中性子利用センサ ・GPR センサ(ALIS、LAMDAR- )	各実施機関施設内
	2007年 9月7日	対人地雷の爆薬探知を目指した試作機の公開デモ (中期的研究開発課題(火薬センサ)の公開デモ) ・NQR センサ+GRYPHON、中性子利用セン サ(マスコミ公開、一般公開)	名古屋大学・工学研究科施設 テクノ・フェアとの協賛
	2007年 10月9日 ～10月26日	ITEP 協力クロアチア評価試験 【延長課題クロアチア評価試験】 CROMAC-CTDT 評価試験(準 ITEP 試験) ・ALIS 最終試作機、GRYPHON+(MD、 LAMDAR- )の評価 Trial を実施	クロアチア・ベンコバツ (CROMAC-CTDT 試験場)
	2007年10月31日	研究開発終了	
	2007年12月3日	終了シンポジウム	(第5回公開シンポジウム)

年度末評価会を実施し、各チームからの当該年度の進捗について報告をうけるとともに、アドバイザーの方々から大局的な観点からのアドバイスをいただき、それを次年度の計画に反映させた。

## (2)センシング技術分野における同一テーマでの競争

センシング技術については、同一技術で同じテーマを提案するチームがいくつかあり、提案書のみからでは絞りこみが困難な点があったため、採用の時点では有望と思われるものを残し、その後個別の評価試験などを実施し、各年度末に継続か否かを判断していくこととした。また、継続したチームについても、開発成果としての試作機について評価試験によりその性能を評価し、さらに継続するテーマがあるか否かを判断することとした。本研究領域運営に関する具体的な事項を記述すると以下ようになる。

1)センシング技術のうちの地中レーダ（GPR）による地雷探知技術開発においては、プロジェクト初期の平成 14 年度においては 6 チームが取り組んだが、基礎的な性能評価試験を実施するとともに、研究代表者の経験、見通し、等をベースとして絞り込みをかけ、平成 14 年度末で 2 チーム、平成 15 年度末で 1 チームについて打ち切りとし、残り 3 チーム（佐藤チーム、荒井チーム、福田チーム）が短期的研究開発課題の期間（3 年間）を満了した。なお、短期的研究開発課題に関しては開発の最終年度前（平成 16 年度末）に国内評価試験（香川県坂出）を実施し、その時点までに 3 チームの開発した GPR 装置の性能を客観的に評価するとともに、最終年度で実施すべき改良点等を明らかにした。その結果として、佐藤チームの開発した MD・GPR 複合センサ ALIS（Advanced Landmine Imaging System）については、世界的なレベルまでもってゆけると判断したため、中期的研究開発課題と同じ平成 19 年 10 月末まで期間を延長し、地雷被埋設国での評価試験（平成 18 年度のカンボジア評価試験及び平成 19 年度の ITEP 協力クロアチア評価試験（準 ITEP 試験））に参加した。また、荒井チーム（タウ技研）については平成 17 年度で終了となったものの、チーム（タウ技研）が開発したパルス GPR 装置が佐藤チーム開発の ALIS に使われており、GPR 単独装置としての性能を最終的に確認するため、同様に地雷被埋設国での 2 つの評価試験に参加した。

2)中性子利用センサの開発に関しては、中性子源として DD 核融合反応を利用する 2 チームを採用したが、各チームで中性子源の具体的な方式が異なること、計測方法が異なることなど、開始時点では技術的な観点からの絞り込みが困難であったため、2 チームを同時に進行させ、両者を競わせることとし、これについても各年度末に継続か否かを判断することとした。結果として 2 件とも中期課題期間を満了し、実証機については、実爆薬の入った爆薬模擬剤入り模擬地雷を使い、JST が評価する国内評価試験において、最少爆薬含有地雷もかなりの割合で探知できる性能が確認された。なお、事業が終了した現時点において、地雷探知性能については若干の差が出ているものの、どちらが実用化しやすいかについては判断が困難である。

3) 中期的研究開発課題である“地雷(火薬)自体の物性値に着目するセンシング技術”として注目する、

- ・核四極共鳴法:(火薬中の)窒素原子核の四極共鳴を利用
- ・爆薬を認識するバイオセンサを利用

については、日本ではほとんど実績がないものであり、バイオセンサ開発(提案1件のみ)及びNQRセンサ開発(提案2件)のうちの有望と思われるもの1件については、採用することとし、開発状況を踏まえつつ、各年度末に継続するか否かを判断することとした。

4) 「爆薬分子を超高感度で認識するバイオセンサの開発」については、現在の地雷探知・除去作業において使用されている地雷犬に代わる装置の開発にトライするという観点から採用し、約2年半続けたが、それまでの成果を基に地雷原での適用について考慮すると、雨季の多い地域や風の強い地域などでは実現性が困難な点もあり、これについても平成16年度で打ち切りとした。

5) NQRによる地雷(爆薬)センサについては、基礎研究に近い段階からのスタートであり、極めて試行錯誤の多い研究開発であったが、年度毎に大きな進展が見られたことから、結果として中期的研究開発課題期間の5年間を満了することとなった。

なお、アクセス・制御技術分野においては、アクセス機のベースとしてバギー車両、小型車両、大型車両の3種(3チーム)を選定した。これにより重量的な観点で、軽量センサから重量センサまでの大きな範囲をアクセス機がカバーできるものとした。これら3チームについては、選定されたベース車両に最適と思われるマニピュレーション・アームを開発すること、また、センシングチームとの連携により開発したセンサを搭載でき、地雷探知走査が理想的に行えるように、最大限の努力を求めることとした。

### (3) 意見交換会、シンポジウム、地雷被埋設国での評価試験等による現地ニーズの取り込み

本プロジェクトでは、開発した技術が実際の地雷原において使用できるようニーズに即した開発を実施するため、地雷被埋設国で実際に地雷対策に当たる方々を招聘した研究代表者との意見交換会、日本及び地雷被埋設国(クロアチア)でのシンポジウム開催、参加あるいは地雷被埋設国の評価試験場における開発した試作機・実証機の評価試験を実施した。主要な意見交換会やシンポジウム、国内外での評価試験等を表7にまとめる。

研究開発がスタートして間もない2002年度~2003年度は、実際に地雷対策に携わる国連アフガニスタン地雷対策センター(UNMACA)のメンバーに対して、当該プロジェクトでの研究開発内容を紹介し、現場からの意見を研究開発に反映させていくための意見交換会及びプロジェクトを一般の方々に紹介するシンポジウムを実施した。また2004年度においては、短期的研究開発課題における試作機を製作する時期に当たるため、それらの試作機の性能評価を行う必要があり、香川県坂出市の番の州臨海工業団地内にてテストレーンを構築し、国内評価試験及びその結果を一般向けに報告した。

なお、2004年度には、対人地雷禁止条約（オタワ条約）の発効から5年が経過し、条約そのものを検討する第1回検討会（2004年11月29日～12月3日）がケニアのナイロビで開催されたので、当該プロジェクトの国際的な紹介を行った。

短期的研究開発課題が終了する2005年度においては、実際の地雷被埋設国の地雷対策機関からの評価を受けるため、クロアチアのベンコバツ試験場にて実地雷を用いた実証試験を実施した。この際に、実施中の実証試験を国際的に公開するシンポジウムも兼ねて実施するとともに、翌年度（2006年度）の初めには、CROMACが主催する国際シンポジウム”HUMANITARIAN DEMINING 2006”（2006年4月23日～4月26日）にて、短期的研究開発課題の試作機を世界に向けて公開した。

短期的研究開発課題については2005年度で終了となったが、評価試験の結果や国際的な意見を反映し、一部の課題は期間が延長され、5年間の実施となった。また、カンボジア・シェムリアップで実施された外務省及びJICS（（財）日本国際協力システム）の研究支援無償プログラム「カンボジア王国地雷除去活動支援機材開発研究計画」・評価試験（以下、「カンボジア評価試験」：平成18年（2006年）10月～平成19年（2007年）1月）に応募し参加することとなり、カンボジアの地雷対策機関（CMAC）の評価を受けた。

中期的研究開発課題での火薬センサの開発では、最初の3年間は要素開発を実施した。4年目にあたる2006年度にはNQRセンサ及び2種類の中性子利用型センサの試作機を製作し、その基礎的な性能を確認する試験を、大阪大学の糸崎教授及び中国化薬（株）が別途開発した爆薬模擬材（実際の火薬を非爆化したもの）を用いて、施設内で実施した。また、地雷探知、テロ対策関連技術開発で火薬・不法物質探知研究を実施している専門家を招いたWorkshopを開催し、意見交換を行った。最終年度にあたる2007年度においては、3つの火薬センサ（NQRセンサ及び2種類の中性子利用型センサ）の試作機を完成させるとともに、その性能試験及びマスコミ・一般への公開（2007年9月7日）を実施した。

なお、延長された短期的研究開発課題については、ITEPからの協力を得てJST・CROMAC-CTDTの評価試験（2007年10月）を実施した。

## 9．研究を実施した結果と所見

### 9.1 研究領域全体としての国際的活動

実施した研究開発は、地雷被埋設国の実際の地雷原への適用を意識し、実証機の評価については、国内での予備的な評価試験を実施した後、海外の地雷被埋設国における評価試験施設における実地雷（不爆化したもの）を用いて、現実に人道的地雷探知・除去活動を実施している機関（各国の地雷対策センター）に評価をしてもらう方針で臨んだ。評価試験を実施した国は、カンボジア王国とクロアチア共和国であり、いずれも内戦により広範囲な地雷原を抱える地雷被埋設国である。

その結果、特筆すべき事項としては、本プロジェクトが人道的対人地雷探知・除去活動を行っている世界の機関から大きな認知が得られたことであり、その具体例としては以下の点が挙げられる。

#### 1) 開発実証機的世界的な認知

・短期的研究開発課題で開発した GPR センサ搭載型地雷探知ロボットである(SAR-GPR + MHV) (LAMДАР + MHV) (ALIS + GRYPHON) については、CROMAC-CTDT の試験場(クロアチア・ベンコバツ)での評価試験に参加したことにより、国連地雷対策サービス部(UNMAS: United Nation Mine Action Service)とともに人道的対人地雷除去活動分野の権威機関である GICHD (ジュネーブ人道的地雷除去国際センター: Geneva International Center for Humanitarian Demining) が発行する「Guidebook on Detection Technologies and Systems for Humanitarian Demining」に紹介され、世界的に強く認識されるものとなった。

#### 2) カンボジア(地雷被埋設国)からの実使用条件提示や期待表明

・外務省の研究支援無償プログラム「カンボジア王国地雷除去活動支援機材開発研究計画」で、(財)日本国際協力システム(JICS)がCMACと共同でCMACのシェムリアップ試験場で実施した評価試験に(LAMДАР + 簡易手押し車両) (ALIS + GRYPHON) ALIS(ハンドヘルド型)単独、が応募・参加し、現地作業員による評価試験が行われた。その結果、試作機の段階ではすぐさま地雷原で使える(製品製造)段階には達していないものの、当該プログラムでの開発機器に対する興味が示され、実際に地雷原で使用できるための条件や、今後の開発に関する期待が表明された。

#### 3) クロアチア(地雷被埋設国)での試験的運用

・開発した金属探知機(MD)・地中レーダ(GPR)複合センサのうち、ALIS(ハンドヘルド型地雷探知装置)については、地雷被埋設国であるクロアチアの地雷対策センター(CROMAC)から地雷現場で使える段階に近いとの認識を得て、プロジェクト終了後の平成19年12月から約半年間、クロアチア全土の実地雷原におけるレベル3サーベイ(検証・確認探知)での試験評価を行っている。(開発した実証機が実地雷原において試験的に運用されている。)

#### 4) UNMAS(国連)からの期待表明

・終了シンポジウム(平成19年12月3日)の場において、UNMAS(国連)から地雷被埋設国での開発成果の一部の使用に関して非常に興味を持っており、開発の継続を望むとのコメントを得た。

### 9.2 研究成果の概要と特筆すべき成果

本領域の目標は、対人地雷の探知・除去を支援するセンシング技術等については、3年又は5年以内に、地雷被埋設国等の地雷処理の現場において、技術実証試験を実施することが期待されている。この研究領域では、そのためのセンシング技術、アクセス・制御技術についての研究

開発することであった。(その際、探知・除去の実証の可能性については絶えず留意した。)その結果、各チームはそれぞれ世界的な視点からも注目すべき特徴ある具体的な成果に到達した。研究領域全体として、学術論文 53 件(邦文誌 18 件、内外欧文誌 35 件)、学会発表 175 件、特許出願 10 件(国内出願 10 件、外国出願 0 件)の成果が生まれ、国内外の試験場での実証試験で性能評価を受け、当初研究領域としての狙いを概ね達成できたと考えている。

本領域の 10 チームは、それぞれ当初計画に従い、あるいは当初予想できなかった新たな展開を行い、幾つかのチームは国際水準から見ても優れた研究成果を上げた。

それらの中で、センシング技術の佐藤源之チームが開発した地雷探知機 ALIS (Advanced Landmine Imaging System)は、GPR と金属探知機のセンサを一体化しており、その形態および走査方法は従来の金属探知器とほとんど変わりがなく、現場への導入が容易となるように設計された。金属探知機と一体となったモニタにより、地雷探知作業員は画像処理された GPR 探知結果の水平断面図を手元で確認することが出来る。そのため、金属探知機の音から地雷の位置を経験的に捜すのではなく、画像を見ながら判断することが出来るようになり、探知・除去作業の信頼性が格段に向上した。ALIS は取得した GPR データに位置情報があるため、3 次元イメージ化が可能であり、また金属探知機によるデータは画像化することが出来る。こうした信号処理機能を有するハンドヘルド型デュアルセンサは ALIS が世界で唯一であり、注目を集め、カンボジア、クロアチア共和国で行われた実証試験にも参加し、その有効性について海外の地雷対策機関の専門家から高い評価を受けた。

アクセス制御技術では、広瀬茂男チームが開発した砂漠などの劣悪な環境下でも地雷の探知・除去作業を遂行できる「遠隔操作アーム搭載バギー車両 GRYPHON」が、人間が乗って運転できるだけでなく、遠隔操作にて運転もできるバギー車両と、その車両に搭載され遠隔操作できる自重バランス型アームと、遠隔操作を援助するための視覚監視装置・地雷検出補助システムと、遠隔操縦装置とから構成される。地雷処理機関の専門家から、人間の労力を減らし、自動化することにより、人の注意力散漫に起因する事故などのリスクを低減できる可能性を高く評価された。

### 9.3 領域全体の研究成果

#### 荒井 郁男チーム

まず基礎検討として、地雷探知に適したパルス波の幅の最適化を試み、150ps のインパルスが最適であるとの結果を得て、そのパルス波を用いた地中レーダユニットを製作した。製作したユニットを用いて試験土槽での実験を行い、土槽内の物標を 3 次元映像化できることを確認した。

2006 年度 2 月にクロアチアにおいて実施した技術実証試験では、様々な深さに埋設された地雷を判別することができた。

アレイ型の構造は、地雷原の凹凸に対応が難しいという問題もあるが、地雷原の凹凸具合や、作業の段階(重機による地雷除去後の検査など)を選べば、その高速性ゆえに現場からの期待は大きい。試験では画像は不明瞭な部分もあり、地雷除去作業員が探知できるようになるためには

十分なトレーニングが必要である。一方、技術を具現化するソフトウェアの完成度は高く、地中探査の一般的な分野への展開も可能であると考える。

敢えて最新の技術にこだわらず、現地での作業において必須条件であるロバスト性を重視して開発したハードウェアをベースに、合成開口、MUSIC(超解像信号処理)、3D マイグレーション等の信号処理技術を駆使したことで、トータルとして信頼性の高い地雷探知用の地中レーダシステムを開発できたことは評価が高い。アレイ構造による高速探知は現地のニーズに合致しているが、その一方で、信号処理の部分ではアレイ化に伴う画像の質の低下が発生し、高速化と画像品質のトレードオフがある。

#### 佐藤 源之チーム

対人地雷探知を目的として、ハードウェアとして広帯域、高速なデータ取得可能な装置開発、ソフトウェアとしてランダムな散乱による影響を低減する手法の技術開発に取り組み、2つのセンサを試作した。

第一のセンサは「SAR-GPR」である。多数のアンテナを並べたアンテナアレイを移動させながらデータを取得し、コンピュータ上で信号処理して画像化する手法は衛星リモートセンシングで利用されている合成開口レーダ(SAR; Synthetic Aperture Radar)と同一技術であるため、開発装置を SAR-GPR と名付けた。本装置について、広帯域 GPR 用アレイ・アンテナの開発、粗い土壌に適用する可視化アルゴリズム開発、送受信用小型ベクトルネットワークアナライザの開発等を行い、重量 1.5kg の小型・携帯型のベクトルネットワークアナライザを新たに開発した。

第二のセンサは、地雷探知作業員が手で走査出来るハンドヘルド型探知機 ALIS (Advanced Landmine Imaging System) である。ALIS は GPR と金属探知機のセンサを一体化しており、その形態および走査方法は従来の金属探知器とほとんど変わりがなく、現場への導入が容易となるように設計されている。金属探知機と一体となったモニタにより、地雷探知作業員は画像処理された GPR 探知結果の水平断面図を手元で確認することが出来る。

そのため、金属探知機の音から地雷の位置を経験的に捜すのではなく、画像を見ながら判断することが出来るようになり、探知・除去作業の信頼性が格段に向上した。ALIS は取得した GPR データに位置情報があるため、3次元イメージ化が可能であり、また金属探知機によるデータは画像化することが出来る。こうした信号処理機能を有するハンドヘルド型デュアルセンサは ALIS が世界で唯一であり、注目を集めている。

香川県坂出市において 2005 年 2-3 月に実施した JST 主催の国内評価実験において性能試験を行った。金属探知器は浅く埋設された地雷を探知出来るが、20cm 程度の深さに埋設された地雷の探知は困難であることが明らかになった。一方、本研究で開発した金属探知器と GPR を組み合わせた複合センサは、20cm 程度の深さに埋設された地雷の探知に成功しており、その有効性が実証出来ている。さらに、SAR-GPR および ALIS は、2006 年 2 月にクロアチア共和国で行われ

た実証試験にも参加し、その有効性について海外の地雷対策機関の専門家から高い評価を受けた。

海外の地雷対策の専門機関に試作機を評価してもらい、その結果をフィードバックしてより完成度の高い技術実証機を試作することに注力した。まず、2006年11月から2007年1月にはカンボジア地雷対策センターが計画した試験に、次いで2007年10月にはクロアチア地雷対策センターの管理下にある評価・テストを専門とするCROMAC-CTDTが計画した試験に参加した。評価機関からは、地雷被埋設国として様々なコメントがフィードバックされ、今後、さらなる改善と実用化に向けての重要な指針を得ることが出来た。

20cm程度の深さにある地雷を鮮明に画像化する等、高性能な車載型のSAR-GPRにより基本原理およびGPRの地雷探知分野での性能限界を明らかにした。また、現場での実用化に主眼を置いて従来の金属探知機と一体化した小型の携帯型探知機ALISを作製出来たことは高く評価出来る。その成果はアフガニスタン、クロアチア、カンボジア、欧州等世界に周知となっており、現在、実用化に向けクロアチアでさらなる評価試験を実行中である。

本研究チームは当初の目標を十分に達成出来たものと考えているが、さらなるチューニング作業の簡素化、探知画像理解の簡略化等の走査性の改善等を継続し、地雷探知の分野で実用化出来る技術に育成していくべきものと考えている。

#### 福田 敏男チーム

センシング技術、アクセス・制御技術、システム・インテグレーション技術の3点に着目し、総合的な環境適応型対人地雷探査システムAdvanced Mine Sweeper(AMS)を開発した。具体的には、「センシング能力の向上」を目的として、使用周波数を4GHzまでに高めた超広帯域地中レーダを金属探知機と一体・小型化した超広帯域ベクトル型複合センサシステムを開発した。

センシング技術については独自性・新規性について評価できるが、国内評価試験時は金属探知機(磁気センサ)の性能が十分に発揮できなかったこともあり、誤探知率の改善に課題を残した。クレーンに支えられる形で、低圧で地雷原にセンシングユニットを安定に設置することは地雷探知除去の現場では依然賛否が分かれるが、新しい作業手順の可能性を問いかける良い機会となった。無人センシングビークルについては、自重が大きく対人地雷を爆発させないようにするために更なる改善が必要である。

ベクトルレーダ、低接地圧センシングユニット、低反動地形適応型マニピュレータなどユニークなアイデアを統合して完結した地雷探査システムを構築できるコンセプトを実証したことは高く評価できる。総合的な試作機性能については、誤検知率を引き下げるなど引き続き改良すべき点はある。

#### 野波 健蔵チーム

遠隔操作可能な地雷探知ロボット車両として優れた不整地適応性を有する車両Mine Hunter Vehicle (MHV)と地雷探知用のセンサ部を高精度に操作するセンサマニピュレータとして動作



範囲を広くかつ水平方向の位置精度を確保する、水平多関節のスカラ型マニピュレータの開発を行った。

クロアチア共和国での試験の際には、国内評価試験時の海外専門家の意見を取り入れ、地雷原に入らずとも探知を継続できるよう車両前面探知から側面探知に変更して、より現地ニーズに合致するように MHV を改造した。

要素技術としての制御技術および屋外でのセンサ運用プラットフォームとしての MHV の堅牢性・信頼性の高さは十分に実証された。一方、センサ側とのシステム統合という観点からは、スカラ型マニピュレータのセンサ走査方法、MHV と後方支援車とのケーブル接続、多機能アームとセンサアームを協調させる場合の現実性の検討などに問題が残った。地雷探知除去分野での実用化に向けては、小型化、運用システムの簡素化などを行いシステム全体としての低コスト化が必要である。

#### 池上 友博チーム

油圧式クレーン・高所作業車で培ったアーム設計・製造技術、油圧技術、電子制御技術および不整・狭隘地を走行するのに適した移動のための車両技術を応用し、地雷探知向けにアクセス用機械の研究開発を進めてきた。主要な研究テーマは、長尺アームを高精度で位置決め制御することにより、アクセス用機械を地雷原外の安全地帯に設置して広範囲の地雷探知を可能とすることである。

20m 級の長尺アーム先端を $\pm 75\text{mm}$  の精度で位置決めすることに成功し、可換方式でクローラを装着し不整地へアクセスできる車両は、開発目標を十分に達成したといえる。その試作車両はセンサ担当チーム（名古屋大学 福田教授）の成果とインテグレーションされ、AMS（Advanced Mine Sweeper）としてまとめられている。

地雷原の危険域に入らずに地雷探知を可能にし、安全を確保した点については評価できる。特に、水路や河岸など、このアクセスビークルの特長を生かすことができる地雷原は多く、現地ニーズとマッチしている。一方で、このようなアクセスビークルの活躍が河岸などと同様に期待される山岳地帯あるいは瓦礫の多い市街地などに関しては、大型車を輸送する手順の整備が必要である。地雷探知のための重機としてのプラットフォームは依然必要であり、本プロジェクトの中期的研究開発課題の成果として期待される「重量の大きい中性子センサ」の搭載プラットフォームとしての活用も検討すべきである。

#### 広瀬 茂男チーム

2 つのアクセス・制御のシステムを開発した。第 1 のシステムは、砂漠などの劣悪な環境下でも地雷の探知・除去作業を遂行できる「遠隔操作アーム搭載バギー車両 GRYPHON」である。この車両は、普通に人間が乗って運転できるだけでなく、遠隔操作にて運転もできるバギー車両と、その車両に搭載され遠隔操作できる自重バランス型アームと、遠隔操作を援助するための視覚監視装置・地雷検出補助システムと、遠隔操縦装置とから構成される。

第2のシステムは、手先ツールに働く力を作業者に直感的に伝達でき、しかも低い姿勢で透明な盾を介して安全に地雷周辺土砂除去作業を実施できる「バイラテラル地雷探知・除去アーム」である。このアームは、軽量で搬送性が高く、電気モータやセンサ等を使用しないで、作業者の手先の動きを1~2m離れた手先ツールに忠実に伝達する。

GRYPHON システムは、2005年2月~3月に香川県坂出市にて行われたJST主催の国内評価試験に参加した。また、2006年2月にクロアチアにてCROMAC-CTDTとJSTの共催で実施した技術実証試験にも参加した。これらの実証試験では、アームに搭載した地雷センサの探知能力及びバギーとアーム部の各機能が正常に動作することが確認できたことは高く評価された。

また、バイラテラル地雷探知・除去アームは、軽量で簡易に搬送できて地雷撤去作業を遠隔操作で安全に実施できる装置である。これは世界的にも全く試みられたことのなかった新しい概念である。本装置は簡便なツールであり、直感的な操作性を有する。そのため、作業者は直ぐにツールを使いこなせ、透明な盾を介して作業できるため著しく安全性を向上できることが確認された。

センサ部分については、プロジェクトの作業分担上、ALISの搭載に専念することとなった。地雷処理機関の専門家からは、「地雷原がどこからはじまるのか、その境界線を特定するエリアリダクション作業において、実際に発見される地雷の数は非常に少なく、一方で作業かかる時間は膨大であり、作業者の集中力が維持できない。このエリアリダクションにかける人間の労力を減らし、GRYPHONのようなシステムで自動化することにより、注意力散漫に起因する事故などのリスクを低減できる可能性がある。」というコメントを得ている。

#### 糸崎 秀夫チーム

物質内部の電界勾配を利用した核四極共鳴(NQR; Nuclear Quadrupole Resonance)特性に着目し、地中の対人地雷に含まれる爆薬(化学物質)を探知することを目的とした。実爆薬を用いた基本性能試験や非爆化した爆薬を用いたブラインド・テスト方式による技術実施試験を行い、探知部にSQUIDは使われなかったものの、探知性能としてはRDX爆薬について当初の目標通りの成果を上げることが出来た。しかしながら、世界に埋設される地雷の多くはTNTを主としたものであり、TNTについての探知性能が目標に達しなかったことは地雷探知機としては大きな課題を残した。

NQR緩和時間等の探知感度に関する指標を見出したことで、NQR方式により探知が容易な物質とそうでない物質を区別する基準が出来た。このことは、麻薬やその他の不正・危険物質等の探知にNQR方式を応用展開していく上で重要であり、今後、空港や港、大衆の集まる場所等のセキュリティ向上のための研究として社会に貢献していくことが期待される。TNTやRDX等爆薬化学物質の同定を目指し、RDXについては30gから100g程度の少量であっても、地下10~15cmに埋設されたものの検出に短時間で成功した。TNTは緩和時間の影響によ

り十分な探知性能を達成することが出来なかったが、地雷探知のためには TNT の探知を実現することが非常に重要であり、TNT の化学構造と緩和時間の関係を総合的に研究し、その検出性能を向上させることが望まれる。またこの研究は、地雷探査のみならず安全安心の為の危険物探知等に広く応用可能な技術であり、今後、様々な物質に対する NQR 方式での探知可能性について体系的な整理を期待する。

#### 井口 哲夫チーム

対人地雷中の爆薬の主要構成元素である窒素を、その中性子捕獲反応で生成される固有の高エネルギーガンマ線を計測することにより、地雷の有無および埋設位置を遠隔・非破壊・選択的に探知するセンサ「先進中性子利用対人地雷探知システム（センサの総重量は約 230kg）」を開発した。

開発したセンサの地雷（爆薬）の探知性能については、2007 年 9～10 月名古屋大学工学研究科原子核第一実験棟中性子発生装置室にて、模擬土壌体系（W1000 mm× B1350mm×H300mm の木製ケース内に真砂土（深さ 250mm）を敷き詰めたもの）を構築し、TNT（Tri-Nitro Toluene）（100g、240g）および RDX（Research Department Explosive）（29 g、100g）を非爆化した模擬爆薬について、国内評価試験を実施した。試験条件は、埋設深度 5～15 cm、水分含有率 5～15%、計測時間 5 分、中性子発生率は概ね  $1.2 \times 10^7$  n/s だった。

その結果、爆薬量が 100g 以上の場合で土壌水分率が～5%台の場合は、15cm までの深さの対人地雷についてほぼ確実に地雷の有無を判定することが可能であることが示された。

強力な小型加速器（DD核融合）中性子源と高機能な即発ガンマ線検出器とからなるセンサを用いて、比較的乾燥した地中（深さ15 cm程度まで）に埋められた地雷（爆薬量100g以上）の有無を判定出来、かつ、地雷の埋設位置を約10 cmの空間分解能で三次元的に画像化する技術の開発に成功した。

開発した中性子利用爆薬センサの重量は 230kg 程度と、地雷原で使うものとしては大型のものとなり、そのまま地雷原に持ち込めるものではないが、探知能力上は比較的爆薬量の少ない（爆薬量 100g 以上の）地雷について乾燥した土壌体系ではかなりの確率（15 cm の深さで 95%）で発見出来た。しかし、探知速度に関しては、ある地点の周辺（半径数十 cm）を探知するのに約 5 分かかっており、このセンサ単独での全面走査方式の地雷（爆薬）探知は時間がかかり過ぎることから適しておらず、他のセンサである金属探知機、地中レーダ（GPR）センサ等と組合せた使い方が有効であると考えられる。

開発した中性子利用センサは、1 か所あたりの測定時間が長く現時点においては全面走査方式の探知には適さないが、金属探知機や GPR により位置が確認された地雷らしき物体中に爆薬が含まれるか否かで地雷と判定する、爆薬確認センサとしての使い方が有効と考えられる。このセンサの今後さらなる小型化を行い、専用搭載車両にこのセンサを搭載し、遠隔で走査出来るようにしたものが実用的な地雷（爆薬）探知ロボットとして考えられ、このための基礎が出来たと評価

できる。

#### 吉川 潔チーム

中性子線を地雷原に照射して、爆薬のニトロ基を構成する窒素原子の中性子捕獲反応で発生する高エネルギーガンマ線（10.8MeV）を捉えることにより、爆薬の有無を探知する爆薬探知装置（爆薬センサ、重量は約500kg）を開発した。

2007年7～9月に京都大学宇治キャンパスエネルギー理工学研究所南3号棟実験室で、非爆化した爆薬模擬剤（TNT 240g、TNT 100g、RDX 100g、RDX 29g）を用いた国内評価試験を実施した。「TNT100g、水分率2%、埋設深度15cm」および「RDX29g、水分率2%、埋設深度10cm」という条件で100%の探知率を達成したことから、本地雷探知システムの有効性を証明し、実用化に向けての可能性を示すことが出来た。

当初の目標のうち、プラスチック地雷の場所を同定するという目標は達成したものと考えられるが、地雷中の爆薬の種類を同定するまでには至らなかった。一方、開発した中性子利用爆薬センサの重量は500kg程度と、地雷原で使うものとしては大型のものとなり、そのまま地雷原に持ち込めるものではないが、探知能力上はRDX29gという最少量の爆薬もかなりの確率（15cmの深さで約8割）で発見出来るものとなったため、実用化のための実証機としての開発は成功したものと考えられる。しかし、ある地点の周辺半径20～30cmを探知するのに約15～20分かかることから、このセンサ単独での全面走査方式の地雷（爆薬）探知については時間がかかり過ぎることから、このままでは実用に適しておらず、他のセンサである金属探知機、GPRセンサ等と組合せた使い方が有効であると考えられる。

この方式の装置では、これまで連続的な中性子発生では $\sim 10^5$  n/s程度の発生率しか達成していなかったのに対して、2ケタ程度上回る発生率 $2 \times 10^7$  n/sでの数時間の連続運転を達成した。この点では、小型DD核融合反応装置を使いやすい中性子源として多方面の研究開発での利用出来るようにしたと言える。

開発した中性子利用センサは、1か所あたりの測定時間が15分～20分と長く、現時点には全面走査方式の探知には適さないが、金属探知機やGPRにより位置が確認された地雷らしき物体に爆薬が含まれるか否かで地雷と判定する、爆薬確認センサとしての使い方が有効と考えられる。今後さらなる小型化を行い、専用搭載車両にこのセンサを搭載し、遠隔で走査出来るようにしたものが実用的な地雷（爆薬）探知ロボットとして考えられ、このための基礎が出来たと評価できる。