

## 大規模学術フロンティア促進事業の「事前評価」(報告)

「カムランド高性能化計画（極低放射能環境でのニュートリノ研究）」の推進について

令和7年（2025年）12月22日  
科学技術・学術審議会 学術分科会 研究環境基盤部会  
学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会

# 目次

はじめに .....	- 3 -
1. 計画の概要 .....	- 4 -
① 概要 .....	- 4 -
② 内容 .....	- 4 -
③ 実施体制 .....	- 5 -
④ 国内における検討経緯 .....	- 5 -
⑤ 国際的な動向 .....	- 6 -
⑥ 年次計画 .....	- 6 -
⑦ 予算規模 .....	- 6 -
2. 計画の評価 .....	- 7 -
戦略性 .....	- 7 -
緊急性 .....	- 7 -
社会や国民からの支持 .....	- 7 -
その他 .....	- 7 -
3. まとめ .....	- 8 -
① 総合評価 .....	- 8 -
② 計画推進に当たっての留意点 .....	- 8 -
別添：実施主体が構想する年次計画 .....	- 9 -

## はじめに

学術研究の大型プロジェクトは、最先端の技術や知識を結集して人類未踏の研究課題に挑み、当該分野の飛躍的な発展をもたらすとともに、世界の学術研究を先導するものであり、我が国においても、社会や国民の幅広い支持を得ながら、長期的な展望を持って、これを推進していく必要がある。

文部科学省では、平成 24 年度に「大規模学術フロンティア促進事業」を創設し、科学技術・学術審議会 学術分科会 研究環境基盤部会 学術研究の大型プロジェクトに関する作業部会（以下「本作業部会」という。）が策定する「学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想ロードマップの策定－ロードマップ－」等に基づき、社会や国民からの支持を得つつ、国際的な競争・協調に迅速かつ適切に対応できるよう、学術研究の大型プロジェクトを支援し、戦略的・計画的な推進を図っている。

各プロジェクトの推進に当たっては、本作業部会として原則 10 年以内の年次計画を作成し、これに基づく進捗管理等を「大規模学術フロンティア促進事業のマネジメント」（令和 5 年 4 月 20 日 本作業部会決定）（以下「マネジメント」という。）に基づき実施している。

「カムランド高性能化計画（極低放射能環境でのニュートリノ研究）」は、「学術研究の大型プロジェクトの推進に関する基本構想ロードマップの策定－ロードマップ 2023－」に掲載された研究計画であり、「大規模学術フロンティア促進事業」として新たに着手する計画として、本作業部会において事前評価を実施した。本報告は、その結果を示すものである。

なお、評価に当たっては、本作業部会の委員に加え、当該分野における専門家にアドバイザーとして協力をいただき、評価を実施した。

## 1. 計画の概要

### ① 概要

本計画は、極低放射能性に優れ低エネルギー現象の観測に適した液体シンチレータ（素粒子反応で蛍光する油）1,000 トンを使用したニュートリノ観測装置「カムランド」（岐阜県飛騨市の神岡鉱山地下1,000mに設置）の光収集量を約5倍高め、革新的なアプローチである極稀現象研究で宇宙・素粒子物理学の大問題を解明するとともに、カムランドが得意とする低エネルギーニュートリノ観測を地球科学・天文学に適用し、新たな研究展開をもたらすものである。

### ② 内容

本計画の基礎となるカムランドは2002年に実験を開始し、低エネルギーニュートリノ観測による成果を着実にあげており、装置の大型化を優先し中エネルギー領域で活躍するスーパーカミオカンデとは、それぞれのエネルギー領域で特有の事象を観測対象とすることで相補的な研究を実現している。

本計画では、大量の二重ベータ崩壊核を液体シンチレータに溶かし、崩壊時に発生するエネルギーをシンチレーション光で測定し、崩壊の種類を特定することにより二重ベータ崩壊等を探索する現行のカムランドを集光ミラー（高量子効率光センサーを隙間なく取り巻く高反射多角形ミラー）・高量子効率光センサーの導入と液体シンチレータの改良により、光収集量を約5倍高める（図1）とともに、極低放射能の追求や高性能電子回路の導入などを実施し、以下の極低放射能環境が不可欠な3項目を主軸に研究を展開するものである。

- （1）ニュートリノレス二重ベータ崩壊( $0\nu 2\beta$ )探索
- （2）地球ニュートリノ観測
- （3）低エネルギーニュートリノ天文学

### 本計画における設備整備

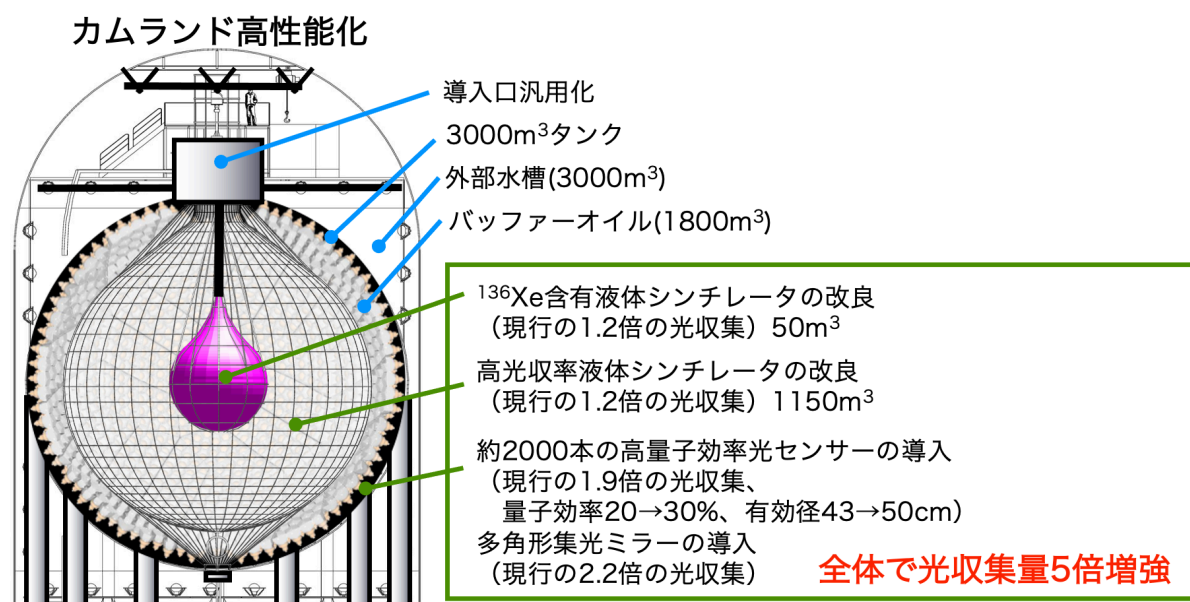


図1：カムランド高性能化の内容

加えて、極低放射能技術の継承・進化や人材育成により、極稀現象フロンティアでの世界的中核として、我が国が長期的に世界をリードすることに貢献するものである。

### ③ 実施体制

本計画は、長年の実績を持つカムランド実験グループを基盤に、日本（約 60 名）・米国（約 35 名）・オランダ（3 名）・スペイン（3 名）、合計約 100 名の研究者・技術者による多国間連携が実現しており、国際的な共同研究体制が確立されている（図 2）。また、東北大学と大阪大学の連携により、神岡極稀現象研究拠点（KERNEL）を発足し、極低放射能技術の適用やコミュニティとの連携、施設・装置の運転など全体にわたって本計画の推進を支える体制が整えられている。

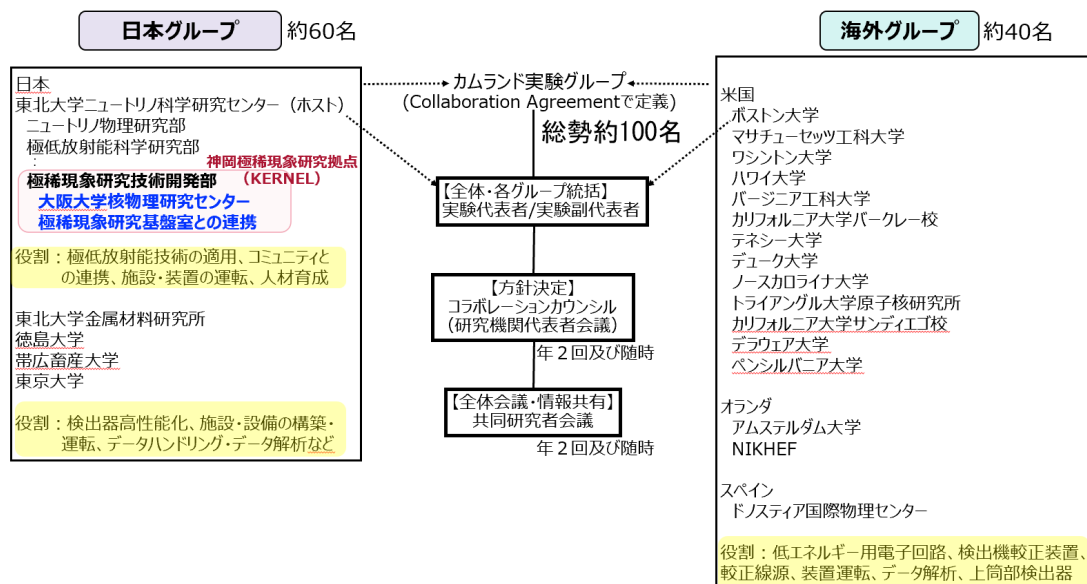


図 2：本計画の国際共同研究体制

### ④ 国内における検討経緯

本計画の前身となるカムランドは、2002 年の実験開始以降、原子炉ニュートリノ振動の発見による太陽ニュートリノ問題の解の特定や地球ニュートリノ観測によるニュートリノ地球科学の創出など大きな成果を上げてきた。さらに、東北大学ニュートリノ科学研究センターは、国内研究者コミュニティとの共同利用・共同研究を実施しながら世界を大きくリードしてきた。 $0\nu 2\beta$ 探索が世界的な素粒子・原子核研究の最重要課題に挙げられる中で、カムランドの光センサーや電子回路が老朽化のために性能を維持できなくなり、競争力の低下が見込まれたため、 $0\nu 2\beta$ の発見確率を大幅に高めるカムランド高性能化を実施する本計画が立案された。

カムランドの研究対象は、素粒子・原子核、天文・宇宙、地球科学と広範囲に及んでおり、新たな研究者コミュニティ「極低放射能地下宇宙素粒子研究コミュニティ」を形成してきた。この研究者コミュニティは極低放射能技術を共通基盤とし、東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設や東北大学ニュートリノ科学研究センターが実施する共同利用・共同研究を活用しながら発展し、現在では約 250 名の規模に成長している。

本計画の推進体制、準備状況、研究の意義などは複数の研究者コミュニティで以下のとおり評価されてきた。

- ・ CRC 将来計画検討小委員会 2011-2012 年度最終報告、最優先の計画 (2018, 2022 に再確認) → 「最重要課題として速やかな実現を望む新規計画」の評価
- ・ 天文学・宇宙物理学中規模計画の展望 (2013) に掲載
- ・ CRC 将来計画検討小委員会 2013-2014 年度報告書ロードマップに掲載
- ・ 高エネルギー物理学将来計画検討委員会答申 (2012, 2017) に掲載

- ・日本学術会議学術の大型研究計画に関するマスタープラン 2014, 2017, 2020 に掲載
- ・日本学術会議天文学・宇宙物理学分科会、最優先計画として推薦(2022)
- ・原子核談話会からのエンドース(2022)
- ・日本学術会議の未来の学術振興構想 2023 に掲載

また、ロードマップ 2023 への掲載を受けて、カムランドの老朽化が深刻であったことから、本計画推進の準備として、2024 年にはカムランドでの観測を停止し、解体作業が進められている。

上記研究者コミュニティからの評価に加え、市民参加型のイベントや市民講座、市民大学などにおいて、最先端の宇宙物理学の普及・社会発信を行ってきたほか、飛騨市との連携による、ふろさと納税事業への参画など、社会や国民からの支持を着実に形成している。

## ⑤ 国際的な動向

### (1) 国際競争環境の急速な変化

カムランドでの  $0\nu 2\beta$  探索は、その卓越した大型施設と極低放射能環境を活かして、世界最大質量の二重ベータ崩壊核での実験を実現し、2011 年以降、使用する二重ベータ崩壊核の質量を  $320\text{kg} \rightarrow 380\text{kg} \rightarrow 745\text{kg}$  と増大させることで  $0\nu 2\beta$  の探索感度を段階的に高め、ニュートリノ質量の逆階層構造領域にかかる質量領域にまで探索感度を高めた。 $0\nu 2\beta$  の発見が現実的に期待できる段階に入ったことで、欧米の宇宙・素粒子・原子核研究の科学政策決定機関は、 $0\nu 2\beta$  探索計画を次々と最重要課題や注力すべきプロジェクトに位置付け、大型予算を投じる国家プロジェクトとして推進する方針を示している。

### (2) 優位性維持のための緊急性

前述のとおり、欧米は国家戦略として研究の加速を図っている。特にイタリアで整備が進められており欧米が支援候補として挙げている LEGEND 実験は、同位体を選別した二重ベータ崩壊核の製造調達に時間を要するところ、既に  $200\text{kg}$  の  $^{76}\text{Ge}$  (70 種類ある二重ベータ崩壊核の中のひとつ) を確保して、2028 年頃の部分稼働を目指しており、本計画が予定する 2028 年度の観測開始に遅れが生じれば、カムランドが長年維持してきた世界的優位性を失う危険性がある。

また、地球ニュートリノ観測においては、中国の JUNO 実験、カナダの SNO+実験が 2025 年に新たに実験を開始し、それぞれ地球ニュートリノの観測を目指しており、本分野で多地点観測の中核になるためには他国に後れを取ることはできない状況である。

## ⑥ 年次計画

実施主体が構想する年次計画は別紙のとおり。

## ⑦ 予算規模

建設予算総額 約 57 億 6 千万円

日本負担：約 46 億 6 千万円、2026～2027 年度（うち自己負担：約 2 億 1 千万円）

海外負担：約 11 億 0 千万円、2026 年～（1\$=150 円で換算）

年間運用経費 約 8 億 3 千万円 ※設備導入後（うち自己負担：約 4 億 3 千万円）

日本負担：約 7 億 2 千万円（設備導入期間の 2026 年度 919 百万円、2027 年度 930 百万円）

海外負担：約 1 億 1 千万円

## 2. 計画の評価

### 戦略性

本計画は、激しい国際競争下にあるニュートリノ研究において、我が国が主導的立場を維持し、極稀現象という日本独自の視点によるフロンティアの創出を実現するとともに、地球科学や天文学を含む学際融合領域を先導するなど、世界トップレベルの成果を挙げ、強みを更に伸ばしていくことが期待される計画である。また、低エネルギー領域におけるニュートリノの観測に優れた特徴を生かし、同じ神岡鉱山に位置する中・高エネルギー領域を観測するスーパーカミオカンデ及びハイパーカミオカンデと相補的に研究を進めることで我が国の当該分野の研究水準を更に高め、神岡地下研究群を長期的に世界的拠点へと発展させることが期待される点からも、十分な戦略性を有する計画である。

### 緊急性

カムランドは、原子炉反ニュートリノ振動や地球反ニュートリノの発見に加え、 $0\nu 2\beta$  探索において世界最高感度を有するなど、ニュートリノ研究においてユニークかつ特筆すべき成果を挙げ、国際的な優位性を有している。一方、欧米で LEGEND や CUPID といった競合計画が 2030 年頃の本格稼働を目指して開始されるなど、近年、世界で新たなニュートリノ実験が立ち上がっており、現行装置の性能のままでは、日本の優位性が失われる可能性が高い状況にあると言える。今後も我が国がニュートリノ研究において国際的な優位性を維持し続け、ニュートリノのマヨナラ性を発見するという世界的課題に先行し、更なる成果を創出するためには、喫緊にカムランドの高性能化を進める必要があるため、本計画の緊急性は高いと認められる。

### 社会や国民からの支持

カムランドが位置する飛騨市との緊密な連携のもと、市民参加型の講演会や見学会の開催などアウトリーチ活動を丁寧に行うことで、地元との良好な信頼関係を構築しており、ふるさと納税による寄付の獲得や見学会における多数の応募状況など、地域社会からは大きな理解を得ているものと評価できる。一方、全国的な視点からは、カムランドの認知度は必ずしも高いとは言えず、より広く国民の支持を集め、知的好奇心や科学に対する夢を喚起するためにも、SNS 等の多様な手法を通じて、カムランドの独自性をよりわかりやすく発信する等、更なる方策の検討が期待される。

### その他

国内外の研究者コミュニティからのサポートを得て幅広い連携が実現しており、例えば、東北大学と大阪大学の連携により整備された組織「神岡極稀現象研究拠点 (KERNEL)」を通じて、技術継承・人材育成・国際連携を一体的に推進できる体制が構築されている。引き続き、建設費及び運用費の海外負担分の確実な確保も含め、国際協力体制を維持・発展しつつ、計画を推進することが期待される。

加えて、科学的成果のみならず、極低放射能技術や高精度電子回路の開発等を通じて得られた技術を放射線計測・医療・材料研究などの他分野の産業等にも応用することにより、科学技術のすそ野を広げるという社会的意義も認められる。

### 3. まとめ

#### ① 総合評価

本計画は、ニュートリノ質量の起源という未解決のテーマに挑む先端科学としての高い意義に加え、地球科学や天文学への貢献、次世代研究者の育成、地域との共創など、科学的・社会的両側面から高い価値を有するものと評価され、国際的な競争が激しい環境下において、我が国がニュートリノ研究の優位性を維持するためにも、喫緊に取り組むべき計画である。また、スーパーカミオカンデ及びハイパーカミオカンデ計画と相補的な計画であり、我が国のニュートリノ研究を推進するユニークな研究施設として、世界中から研究者が集まる研究拠点として発展することが期待される。

以上を総合的に勘案し、本計画は積極的に進めるべきであり、早急に着手するべきものであると評価する。

#### ② 計画推進に当たっての留意点

「カムランド高性能化計画」の推進に当たっては、以下の点に留意する必要がある。

##### 1) 明確な数値目標の設定について

本計画が目指す科学的目標の達成に向けて、計画の各段階における進捗を適切に評価できるよう、客観的に検証可能な数値目標を設定することが必要である。

##### 2) 計画の持続的発展を可能とする体制の強化について

計画の成功にとっては、人材や財政面を含めて持続的な推進を安定的に行う体制の強化が必要不可欠である。大阪大学との共同により、共同利用マネジメントを強化する方策は妥当であるが、施設の建設や装置開発に係る人的な見通しが十分か等の実施体制についても十分留意することが求められる。その際、若手研究者等のキャリアパスの観点から、研究業務と装置開発業務とのエフォートにも配慮が必要である。

##### 3) 安全管理を含む環境整備について

地下実験室という特殊な環境で大量の可燃性液体を使用する研究を行う計画であり、通常の実験室以上に安全に対する配慮が必要であるが、現状の研究棟の整理状況には改善の余地があり、研究環境の改善と安全管理の強化が必要である。第三者による定期的な安全確認を行うことなども含め、防災・安全対策を徹底する必要がある。また、国際共同実験として、海外からの学生や研究者が安心して活動できる環境づくりやサポートが求められる。

##### 4) 社会や国民の支持を得るための取組について

飛騨地区など地域には知られているが、全国的な視点からはカムランドの認知度は必ずしも高いとは言えず、より広く国民の支持を集め、知的好奇心や科学に対する夢を喚起するためにも、SNS等の多様な手法を通じて、カムランドの独自性をよりわかりやすく発信する等、更なる方策の検討が期待される。



別添：実施主体が構想する年次計画

計画名称	カムランド高性能化計画（極低放射能環境でのニュートリノ研究）		
実施主体	【中心機関】東北大学ニュートリノ科学研究センター 【連携機関】国内5(大阪大学、徳島大学など)、海外15(ボストン大学、カリフォルニア大学など)の大学・研究機関	分野	物理学
所要経費	14,585百万円	計画期間	R8年4月～R18年3月
計画概要	カムランドを大幅に高性能化し、物質の起源や力の統一、地球の始原隕石やダイナミクスの解明など、宇宙・天文/素粒子・原子核/地球科学に広く新たな展開をもたらす。		

【年次計画】	項目 (研究テーマ)	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目	9年目	10年目	10年目 以降	備考	
1. ニュートリノ・反ニュートリノ同一性の研究 ・Xe-126で0ν2β発見を目指す。また、ニュートリノ振動研究との比較でニュートリノのマヨラナ性を検証する。 ・Xe-126の2ν2β精密測定で未知粒子の探索や、原子核の核行列要素計算の質向上を行う。 ・次世代技術の開発を行う。	高電圧治療装置の導入と高電圧回路の最適化 80MHz高電圧回路の最適化 0ν2β精密測定装置の回路設計 超高純度材料の選定と導入 大規模データ処理システムの構築	70MHz高電圧回路の最適化 高純度材料の選定と導入 第二相光検出器の最適化 Xe-Ga導入	0ν2β精密測定装置の回路設計 超高純度材料の選定と導入 大規模データ処理システムの構築	0ν2β精密測定装置の回路設計 超高純度材料の選定と導入 大規模データ処理システムの構築	0ν2β精密測定装置の回路設計 超高純度材料の選定と導入 大規模データ処理システムの構築	0ν2β精密測定装置の回路設計 超高純度材料の選定と導入 大規模データ処理システムの構築	0ν2β精密測定装置の回路設計 超高純度材料の選定と導入 大規模データ処理システムの構築	0ν2β精密測定装置の回路設計 超高純度材料の選定と導入 大規模データ処理システムの構築	0ν2β精密測定装置の回路設計 超高純度材料の選定と導入 大規模データ処理システムの構築	0ν2β精密測定装置の回路設計 超高純度材料の選定と導入 大規模データ処理システムの構築	0ν2β精密測定装置の回路設計 超高純度材料の選定と導入 大規模データ処理システムの構築	0ν2β精密測定装置の回路設計 超高純度材料の選定と導入 大規模データ処理システムの構築	10年目で超感度領域をカバーする目標達成に達するため、Xe-126での探索は発見の有無や次世代プロジェクトとの関係で10年目以降の継続を決める。	
	成果指標：関連論文数	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	
	2. ニュートリノ地球科学・ニュートリノ天文学の展開 ・地球ニュートリノ事象を監視し地球モデルの選別を進める。 ・地球科学者と連携し地球モデルの高度化を行う。 ・海外の地球ニュートリノ観測と統合した多点観測により、マントル由来のニュートリノ観測精度を向上する。 ・天の川銀河での超新星爆発をモニターするとともに、近傍超新星爆発の前身ニュートリノをモニターする。 ・種々の天体事象と密接なニュートリノ事象を探索し、天体事象に対する知見を得る。	地球ニュートリノ観測の開始 地球モデルの高度化 地球ニュートリノ多点観測 近傍超新星爆発の前身ニュートリノをモニター 天体ニュートリノ観測・検出	地球ニュートリノ観測の開始 地球モデルの高度化 地球ニュートリノ多点観測 近傍超新星爆発の前身ニュートリノをモニター 天体ニュートリノ観測・検出	地球ニュートリノ観測の開始 地球モデルの高度化 地球ニュートリノ多点観測 近傍超新星爆発の前身ニュートリノをモニター 天体ニュートリノ観測・検出	地球ニュートリノ観測の開始 地球モデルの高度化 地球ニュートリノ多点観測 近傍超新星爆発の前身ニュートリノをモニター 天体ニュートリノ観測・検出	地球ニュートリノ観測の開始 地球モデルの高度化 地球ニュートリノ多点観測 近傍超新星爆発の前身ニュートリノをモニター 天体ニュートリノ観測・検出	地球ニュートリノ観測の開始 地球モデルの高度化 地球ニュートリノ多点観測 近傍超新星爆発の前身ニュートリノをモニター 天体ニュートリノ観測・検出	地球ニュートリノ観測の開始 地球モデルの高度化 地球ニュートリノ多点観測 近傍超新星爆発の前身ニュートリノをモニター 天体ニュートリノ観測・検出	地球ニュートリノ観測の開始 地球モデルの高度化 地球ニュートリノ多点観測 近傍超新星爆発の前身ニュートリノをモニター 天体ニュートリノ観測・検出	地球ニュートリノ観測の開始 地球モデルの高度化 地球ニュートリノ多点観測 近傍超新星爆発の前身ニュートリノをモニター 天体ニュートリノ観測・検出	地球ニュートリノ観測の開始 地球モデルの高度化 地球ニュートリノ多点観測 近傍超新星爆発の前身ニュートリノをモニター 天体ニュートリノ観測・検出	地球ニュートリノ観測の開始 地球モデルの高度化 地球ニュートリノ多点観測 近傍超新星爆発の前身ニュートリノをモニター 天体ニュートリノ観測・検出	地球ニュートリノ観測の開始 地球モデルの高度化 地球ニュートリノ多点観測 近傍超新星爆発の前身ニュートリノをモニター 天体ニュートリノ観測・検出	
		成果指標：関連論文数	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※
		3. 極低放射能技術開発 ・極低放射能測定技術の高度化 ・高度純化技術の開発 ・次世代検出器の開発	高純度Ga導入 低放射能測定装置の構築 高純度Ga導入 高純度Ga導入	高純度Ga導入 低放射能測定装置の構築 高純度Ga導入 高純度Ga導入	高純度Ga導入 低放射能測定装置の構築 高純度Ga導入 高純度Ga導入	高純度Ga導入 低放射能測定装置の構築 高純度Ga導入 高純度Ga導入	高純度Ga導入 低放射能測定装置の構築 高純度Ga導入 高純度Ga導入	高純度Ga導入 低放射能測定装置の構築 高純度Ga導入 高純度Ga導入	高純度Ga導入 低放射能測定装置の構築 高純度Ga導入 高純度Ga導入	高純度Ga導入 低放射能測定装置の構築 高純度Ga導入 高純度Ga導入	高純度Ga導入 低放射能測定装置の構築 高純度Ga導入 高純度Ga導入	高純度Ga導入 低放射能測定装置の構築 高純度Ga導入 高純度Ga導入	高純度Ga導入 低放射能測定装置の構築 高純度Ga導入 高純度Ga導入	高純度Ga導入 低放射能測定装置の構築 高純度Ga導入 高純度Ga導入
成果指標：関連論文数	※		※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	※	