

**研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP)**  
**産業ニーズ対応タイプ**  
**技術テーマ「コンパクト中性子源とその産業応用に向けた基盤技術の構築」**  
**追跡評価報告書**

## 1. 総合所見

本技術テーマは、初めて小型加速器中性子源とその計測システムの基盤技術全般の研究開発をターゲットとした先駆的な取り組みであり、非常に挑戦的で困難なテーマ設定であった。それにもかかわらず、技術テーマ終了後の研究の継続発展状況から個々の要素技術について相応の研究成果が創出されている。技術テーマ終了後、2件の研究課題で開発された装置(中性子フラットパネル検出器、中性子ミラー)について日本中性子学会の技術賞を獲得したこと、また報道で取り上げられた研究課題(レーザー駆動中性子源)もあること、技術テーマ終了後も1課題を除き研究開発を継続中であることなど、技術テーマ終了後も全体として大きな成果を上げつつあると評価する。現時点で実用化を達成した研究課題は必ずしも多くはないが、実用化の前段階、独創的な成果が得られている実証実験の段階、もしくは将来的にブレークスルーに導く可能性を秘めた基礎的研究が継続されていることを評価する。本プログラムがなければアカデミックな領域から踏み出すことがなかったであろう小型加速器中性子源とその計測システム分野の基礎的な研究を、技術テーマとして企業各社が注目するレベルにまで引き上げたことは大変意義があった。また、本技術テーマは国際会議で話題として上がったこともあり、海外からも大変注目を集めた。海外の後追いではない真に新しい発想に基づくプログラムを走らせることができたという意味で、この技術テーマの設定は貴重であった。

実用に供する技術シーズを開発するという点では、産学共創の場が有効に機能した。小型中性子源計測システムへと統合化される要素技術としての各々の研究開発の方向性の議論が、各研究開発チームに適切にフィードバックされ現在の研究に繋がっている。企業との連携が始まっているものが3件とまだ数は少ないが、将来的に企業の参画が期待できる成果も出てきている。企業が参画するところまで成果を仕上げるためにも、もう一段の研究開発が必要であり、今後も、各々の開発段階に即した適切な研究開発資金の支援体制が必要と考える。

## 2. 研究開発成果の発展状況や活用状況

技術テーマ終了2年後の追跡調査において、採択した10課題のうち、研究開発が継続されているものが9課題、中断しているものが1課題であった。各研究課題が担当した要素技術は、それぞれの開発段階が異なり、基礎研究のステージに留まるものが5課題、実用化あるいは実用化前ステージにあるものが5課題である。半数が基礎研究にとどまっているが、その中には企業化への適切な橋渡しがあれば、実用化に近づくことができた研究課題もあったのではないかと。産学共創の場の有効性は認められるが、支援体制として更なる企業との橋渡し機能が必要である。

今回の追跡調査では、技術テーマ終了後の研究体制としては自機関における基礎研究が大多数を占めているものの、各研究課題の担う要素技術の開発段階に応じて堅調に研究開発が継続されている。しかしながら、本技術テーマ終了後の研究開発予算の獲得については、半数程度の研究課題が苦労している様子が窺える。企業の自己資金で研究開発が継続されているものは4件、公的な競争的研究費などを獲得して継続しているものが7件である。なお本技術テーマの設定趣

旨からすれば、技術テーマ終了後は産業への展開や社会実装を見据えた新技術開発の競争的研究費を獲得することが望ましい。しかし、小型中性子源の要素技術には未だ基礎的研究段階にとどまる研究課題も多く、科学研究費での予算獲得が多いことは止むを得ないとする。

本技術テーマ開始時にはほぼ全ての研究課題が基礎研究寄りであり、アカデミア単独もしくは主体で研究がなされていたが、現時点では約 1/4 の研究課題が企業との共同研究開発を実施している点で一定の成果を得たと評価する。小型の中性子発生源としてスタートした 6 件の研究課題は、これまでに基本動作のデモンストレーションに成功しており、それぞれ特徴的な利用方法の提案を行っている。また、この技術テーマが海外にも例を見ない画期的かつ挑戦的なものであったことを考えると、10 課題中 2 課題がかなり実用に近いくところまで到達したことは高く評価する。実験室レベルでのプロトタイプ評価に達した課題についても、本プログラムの趣旨にかなう成果として評価する。

なお、本技術テーマの成果活用の最終目標である社会実装の実現のためには、各要素技術を統合して小型中性子源を用いた計測システムとして完成させる統合段階をどのように支援し進捗させるかが、クリアしなければならない次の課題である。この点で、本技術テーマの趣旨に沿った発展型の研究支援のプログラムを設けて、実用化を目指した研究開発を継続的に進めることが望ましい。また、国内に産業界が手ごろにすぐ使える中性子源がほとんどない状況下で、本技術テーマによって基礎技術が概ね確立できたことから、中性子ニーズを持つ複数社がコンソーシアムを構築し今後も継続的に開発を支援し、将来的には産業利用向け供用研究開発施設として運用するスキームを新たに国内に構築することも、企業との連携の観点からは有用な取り組みとなるであろう。

### 3. 研究開発成果から生み出された科学技術的、社会的及び経済的な効果・効用及び波及効果

本技術テーマは、個々の要素技術の開発とその統合への道筋を模索するテーマであった。今回の追跡調査によれば、特許 4 件、受賞 4 件があり、企業との連携も 3 課題で行われており、さらには、研究期間終了後も 9 課題において論文発表がなされている。これらは、本技術テーマで推進されてきた研究開発が技術的にも社会的にも認められてきたことの証左と考える。

技術テーマ終了後の主な展開事例としては、世界で初めてレーザー駆動中性子源において冷中性子発生に成功したことが挙げられる。実応用に向けてのさらなる技術開発が期待される。中性子フラットパネル検出器(nFPD)については、大型構造物の検査に応用されることとなり、Time Of Flight (TOF) 対応のnFPD への改良も進んでいる。今後、商用製品に向けて使い易く廉価な製品となることが期待される。また、中性子光学系については、他の追従を許さない世界に誇れる中性子ミラーが開発され、既に J-PARC のビームラインで実用化されたばかりか、世界の複数の中性子研究施設への導入も進みつつある。可搬型小型中性子源についても技術開発が急速に進展している。

全体として、これまでの成果を基に、今後のさらなる進展が具体的に展望できる状況にきていると評価する。さらに、単独の技術で既に製品上市に近い開発段階にある研究課題(中性子ミラー、nFPD)は、製品の社会実装により、近い将来に経済的な効果や日本の国際競争力向上に繋がるものと期待する。

なお、アウトリーチ活動という点では、新聞、マスコミ発表などは、もう少し件数があってもよかつたのではないかと。この点については、技術テーマ終了後もJSTからの指導、助言をお願いしたい。

#### 4. 研究開発成果に対する制度支援の効果

個々の研究課題の研究者チームはその課題が対象とする要素技術の開発に注力し集中するため、とかく計測システムとしての全体像、あるいは社会的な視点での開発目標に対する意識が薄れがちである。また、一般に、大学などにおいては企業の話聞く機会は少なく、その範囲も極めて限定的である。この点で産学共創の場は、広範な業種の企業の方々の意見が聞ける場となっており、良い制度支援であった。小型中性子源の産業応用という本技術テーマの設定は非常に斬新なものであり、当初は研究者側のシーズと産業界の直近のニーズがかなりかけ離れていて議論の噛み合わない場面も多々みられた。産学共創の場での議論の積み重ねにより、PO やアドバイザーの考えと企業側の考え、さらには各研究課題の研究者の考えを擦り合せられたことは、各研究課題において研究の方向性を見直す上で非常に良い刺激となった。基本的に学術研究に軸足を置く大学などの研究者の意識改革にも繋がったと評価する。また、本技術テーマの実施期間中は、産学共創の場は実開催であり、対面での議論が可能であった。各研究課題の発表時の質疑応答の時間のみでなく休憩時間なども含めて、より突っ込んだ議論ができたことは、Web 会議での会議開催が主体となった現在と比べて、より効果的な活動であった。

また、サイトビジットにより PO とアドバイザーが研究現場に赴き視察と議論ができたことも、直に忌憚ない意見交換ができる場として効果的であった。サイトビジットにおけるアドバイスにより研究計画を方向転換して成功裏に終了した研究課題も数件あり、産学共創の場の議論とともに開発方針を柔軟に見直し研究計画を修正することに役に立った。

上述の産学共創の場およびサイトビジットでは、各々の研究課題のチームが小型中性子源計測システムの開発プロジェクトの一翼を担っている点を強調し、計測システムとしての社会的目標を再確認した。これにより、計測システムの開発ニーズを的確に把握した上で、個々の研究目標・計画にフィードバックする意識が高まり、各研究課題の終了後の展開を含め良い研究循環を生んだと評価する。また、これらの活動により、産と学の間だけでなく各研究課題間の相互協力、共同作業の機運が高まり、交流が盛んになったことも評価する。

今後の JST の他のプログラムについても、このような開発方針の軌道修正を行いやすくする意見交換の機会を設け、研究課題の推進に反映できる仕組みを取り入れると良い。一方で、本報告書の2項でも述べた通り、実用に至れば産業界、社会に大きな波及効果が期待できそうな研究成果を企業化するための橋渡し支援は十分ではなかったように思われる。今後のプログラムの運営での強化を期待する。

#### 5. その他

本技術テーマは、小型中性子源とその計測システムの基盤技術全般に関する先駆的、画期的な企画であり、この分野に大きな進展をもたらしたが、当初は、PO・アドバイザー側と課題研究者側で研究の重点の置き方などで若干のずれがあった。JSTの今後のプログラムでは、その違いをより早期の段階で調整し研究計画に反映できると、各研究の進展の効率をさらに向上させることができると考えられる。特許については、出願せずにノウハウとして秘匿する選択をした研究課題もあった。知財戦略に対する評価をどうするかも、JSTのプログラム運営における今後の検討項目と思われる。

本技術テーマで採択した研究課題は小型中性子源を用いた計測システムを構成する要素技術であり、技術テーマ終了後も、それぞれの発展・展開により様々な成果が創出されている。しかしな

がら、本技術テーマの最終目標は、小型中性子源による計測システムの実用化であり、個別の要素技術における成果創出とは別に、計測システムへと統合化することを最終目標としている。この点で、システム統合に必要な要素技術開発をサブ課題として包含する本技術テーマの後継プログラムの設定が今後の展開として想定される。具体的には、レーザー駆動ないしは加速器駆動小型中性子源を所有する機関を対象に計測システムの統合化を支援すれば、この分野の目覚ましい進捗が期待できるであろう。そのような開発計画の支援が具現化すれば、潜在的に小型中性子線源を製造する技術力を有する企業との共同研究もより現実的なものとなるであろう。

一方で、小型中性子源計測システム開発のためのコンソーシアムの構築も有望な取り組みである。本技術テーマには、将来性を期待できる技術シーズが多数あった。ここで推進された研究が次のステップに進むためには、公的な研究費を獲得するか、将来性に期待して投資を行う企業を見つける必要があるが、現状では大学の研究者と企業家、特にベンチャービジネスに興味を持つ比較的小規模で小回りの利く企業との接点が少なすぎる。両者を積極的に引き合わせる仕掛けと、適切な資金の提供が必要である。せっかく芽の出かかった技術シーズも時間が経つと価値が下がり、アイデアだけが海外に流出してしまう危険性もある。したがって、ビジネスとしての展開に向けて、JSTなどのさらなる積極的な取り組みを期待したい。

中性子の産業利用は増加傾向にあり、より利用しやすい環境の構築が望まれている。中性子装置の情報提供や利用相談などの利用者の利便性向上とDXなどの施設間の情報共有などを目的に、中性子施設連携が中性子科学会を中心に進められている。中性子をより有効に、また効率的に産業応用に活用して日本の発展に寄与していくためには、中性子利用のハードルを下げることが重要である。自動測定や解析支援システムなどのDX化を進めるなどして利便性を向上させるような活動と連携して強化・促進するために、継続的な開発を可能とする資金支援が望まれる。

解析・分析技術による物理現象の理解が製品開発に繋がることは多々あり、小型中性子源は国内メーカーにとって自社の技術の差異化を図るツールになると考えられる。一方、多くの日本企業ではオープンイノベーションに本腰を入れるようになったのもここ10年程度とその取り組みは浅く、JSTには大学での研究開発をマネジメントできる産学連携の土台の強化を今後も支援していただきたい。米国の大学では、依頼するとTechTransfer部門が中心となって複数の研究者からなる開発体制を構築するような支援体制を持っているケースもあり、国内の大学でもオープンイノベーションの受け入れ態勢を強化、充実していく必要がある。

以上