

研究成果展開事業

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」

完了報告書(事後評価用)

研究課題名 「安全で取り扱い容易なコンパクト中性子源のためのターゲ

ット・減速体・ビーム輸送系の研究開発」

令和2年5月31日

プロジェクトリーダー

機関名: 国立研究開発法人理化学研究所

氏名: 山形 豊

I. 研究計画の概要

1. 研究の目標

- ・ 「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」という技術テーマの設定については、国立研究所あるいは大学等に設置されたコンパクト中性子源を企業が利用しに来るという利用形態も有り得るが、産業利用として最も意義の高いものは、企業自身がコンパクト中性子源を自ら設備として導入し、社内で積極的に活用するという形態であると考えられる。従来の大型加速器を用いた中性子源や原子炉ベースの中性子源を企業が導入することは極めてハードルが高かったが、小型加速器を用いたコンパクト中性子源ではこうした可能性が高まっていると考えられる。実際に、大手の自動車メーカーでは、国内外を問わずほとんどの企業に数 MeV の電子線加速器を用いた高エネルギー X 線 CT 装置が導入されており、極めて高頻度に使用されている。しかしながら、こうした X 線源と比較した場合、コンパクト中性子源と言えどもその放射化物の生成量や爆発性ガスの使用といった安全面でのハードルは高く、導入は困難であったと言える。本提案課題で開発する低放射化・長寿命ターゲット、メチルベンゼン系減速体を用いた冷中性子源は、こうしたハードルをほぼ消滅させる画期的効果を持つものである。こうした研究開発により、企業等へのコンパクト中性子源の導入が可能な技術的基盤を完成させることを目的とする。

2. 研究実施予定表 非公開

3. 研究費 非公開

Ⅱ. 研究成果の創出状況

4. マイルストーンの達成状況

①低放射化・長寿命ターゲットの開発

1-(1) 研究開発項目：直接接合型ターゲットの開発(7. ①目標：低放射化・長寿命中性子発生ターゲットの開発)

バックリング材料である V と Be を活性銀ロウなどを用いずに直接接合する技術の開発を行う。平成28年度末までに接合技術の基礎を確立し、その後のターゲット製造に用いる接合方法を決定する。(CP2)

○達成状況

Be と V の常温接合は表面活性化法により平成29年度には成功しており、原理的に接合が可能であることは確認できている。また、外部企業との連携により拡散接合による接合も可能であることが確認されており、2種類の方法が可能であることは確認されている。

2-(1)研究開発項目：常温接合技術の開発(7. ①目標：低放射化・長寿命中性子発生ターゲットの開発)

研究開発機関：平成27年12月～平成32年3月

平成27年度～平成28年度では、現有の常温接合装置を用いてΦ30mm程度の Be と V を接合する実験を行う。接合面の研磨状態や表面粗さなどを調整し、接合強度や接合状態が最適となるような接合条件を探索する。接合状態の検査は、理研グループと共同で実施する。Be と V の常温接合条件を確立する。(CP1)

○達成状況

Be と V の表面活性化法による接合は平成29年度に達成されており、チェックポイントはクリアーされていると考える。一方で接合面の耐久性を向上させるための表面処理法についても検討が進められている。

3-(1) 研究開発項目：大強度ビームでの検証実験(7. ①目標：低放射化・長寿命中性子発生ターゲットの開発)

平成27年度～平成29年度では、現在立ち上げが行われている陽子線加速器のビームラインの整備を進め、大強度ビームを照射しターゲットの試験を行うための環境を整備する。(CP3)

○達成状況

ターゲットテスト用の第2ビームラインの構築は完了しており、およそ4kW までのターゲットの試験が可能な状況は整っている。しかしながら、最終目標である40kW でのターゲットテストについては、現在整備が進められている状況である。

②メンテナンスフリーかつ安全な冷中性子源の開発

1-(2) 研究開発項目：メチルベンゼン冷中性子源の開発(7.②目標：メンテナンスフリーかつ安全な冷中性子源の開発)

平成27年度～平成28年度では、モンテカルロ法シミュレーションコードを用いてメチルベンゼンを用いた冷中性子源のシミュレーションを行い、理研 RANS に装着した場合を想定して、減速体の形状やプリモデレータの形状材質、グループの効果などについてシミュレーションを行う。シミュレーションにあたっては、京都大学 安部氏、日野氏の協力の下に実施する。

平成28年度～平成29年度では、前記の設計を基にメチルベンゼン冷中性子源の試作を行い、理研 RANS にてビーム出力試験を行う。この段階では、まだ光学素子との結合は行わないが、光学素子と結合した場合のシミュレーションを進め、光学素子の設計を進める。平成29年度末でメチルベンゼンによる冷中中性子源が正常に動作し、冷中性子の発生を確認する。(CP4)

○達成状況

閉サイクル He クライオクーラーを用いたメチレンによる冷中性子源の構築を行い、平成29年には理研小型中性子源 RANS において冷中性子の発生を確認した。また、その冷中性子強度は、目標である 1×10^3 (n/cm²/s)を十分上回っていると推測される。更に、詳細なスペクトルやパルス幅の計測にも成功している。

1-(3) 研究開発項目：集光光学系の開発(7.②目標：メンテナンスフリーかつ安全な冷中性子源の開発)

研究開発機関：平成27年12月～平成32年3月

平成27年～平成28年度では、メチルベンゼン冷中性子源と光学素子を組み合わせるための計算機によるシミュレーション手法について整備を行い、冷中性子源のモンテカルロ法によりシミュレーション(PHITS コードなど)と光学素子のシミュレーション(MCSTAS など)を連携したシミュレーションが可能となるようにする。これに基づきメチルベンゼン類を用いた冷中性子源と組み合わせた場合の最適な集光光学素子を設計する。

平成29年度では、シミュレーション結果に基づき、集光光学素子の開発を行う。(CP5)

○達成状況

長さ 300mm の回転楕円ミラーを金属基材により作成し、平成30年度には前記の冷中性子源と組み合わせて集光実験に成功している。さらに、平成31年度には、中性子遮蔽を改善し大幅な S/N 比の増大に成功し、中性子小角散乱シグナルを得ることに成功している。

4-(1) 研究開発項目：メチルベンゼンシミュレーション手法の開発(7.②目標：メンテナンスフリーかつ安全な冷中性子源の開発)

メチルベンゼンを用いた冷中性子源の最適化には、この性能をシミュレーションする手法

が必要であるが、原子核単体の反応断面積のみを考慮したモンテカルロ法では、正確な結果が得られないことが知られており、メチルベンゼンの化学的組成も考慮した散乱カーネルを開発する。(CP6)

○達成状況

分子動力学法によるシミュレーションを活用し、メチレン等の散乱断面積の計算を完了し、さらにこのデータを基にモンテカルロシミュレーションコード PHITS 等で利用可能な散乱カーネルを作成することに成功しており、冷中性子源のスペクトル計算に成功している。

4-(2) 研究開発項目：集光光学系の高輝度化(7.②目標：メンテナンスフリーかつ安全な冷中性子源の開発)

平成27年度～平成28年度では、中性子小角散乱等に利用される回転楕円ミラーなどの複雑な形状を有する中性子集光ミラーに必要とされる 多層膜スーパーミラーコーティングについて、曲面上でのコーティングはその性能が大幅に低下する恐れがある。そこで、曲面上にスーパーミラーコーティングを行った場合の性能を最大化するための条件探索を実施する。

平成29年では、前年度までの検討に基づき、回転楕円ミラーのスーパーミラーコーティングを行う。(CP7)

○達成状況

回転楕円ミラー等の傾斜面を有するミラーに対して中性子スーパーミラーの多層膜を形成した際の影響について詳細に検討し、許容可能な傾斜角度範囲について必要なデータを得られている。またこの成果を活用し、前期の回転楕円ミラーに中性子スーパーミラー多層膜を製膜しており、冷中性子線の集光実験に成功している。

5. 研究計画全体の進捗状況

①低放射化・長寿命ターゲットの開発

主に Be および V を用いた中性子発生用ターゲットについて、Be/V の直接接合に 2 つの方法で成功しており、基礎的な技術の確立には成功しているが、この技術を用いた大型ターゲットの試作、大強度ビームによる試験についてはまだ完了していない。これは、主に名古屋大学におけるビームライン整備や大強度ビームを利用可能な第 1 ターゲットステーションが、利用可能な状態になっていないことが原因であるが、大強度ビームに耐えるターゲットの概念設計については、シミュレーション等を活用して進められている。

Be/V の直接接合が可能であることが技術的に示されたことの意義は大きく、今後金属材料加工企業等と協力し、具体的なターゲットの商品開発を進めるうえで大きな前進があったと考えている。

②メンテナンスフリーかつ安全な冷中性子源の開発

閉サイクル He クライオクーラーを用いたメシチレンによる冷中性子源を開発し、理研小型中性子源 RANS にて試験を実施した。この結果、目標数値を満足する冷中性子ビームの発生に成功し、スペクトル計測、パルス幅計測、ブラッグエッジイメージング、集光型小角散乱実験など複数回の実験を成功させたのみならず、企業との共同研究により、リチウムイオン電池の負極材料のブラッグエッジ観測や固体リチウム電池用の電極材料の透過スペクトル計測などを実現することができた。また、分子動力学法によるメシチレン等の散乱カーネルの開発に成功し、今後メチルベンゼンを用いた冷中性子源が実用化される際に必要とされる最適化設計等を可能にする基礎技術を構築することができた。また、回転楕円中性子スーパーミラーの構築に成功し、これと前記の冷中性子源を組み合わせることで、集光型小角散乱実験が可能であることを示すことができた。性能にはまだ改善の余地があるものの、小型中性子源により中性子小角散乱を極めてコンパクトなビームラインにて実現可能であることを示せたことは、高分子材料、鉄鋼材料等の研究開発を行う企業にとって非常に有意義な成果であると考えている。

6. 研究実施状況

安全でかつ使いやすいコンパクト中性子源の実現のために必要とされる要素技術のうち、加速器を除いたターゲットより下流側について研究開発を推進した。理化学研究所は、小型中性子源 RANS を擁しており、多くの研究開発がこの RANS を中心として実施された。このため理化学研究所に最も大きな予算を割り当てた。また低放射化ターゲットの研究開発においては、金属・非金属材料の接合技術が必要であるため、物質材料研究機構に接合技術の基礎開発のための研究開発を依頼した。低放射化ターゲットの開発においては、同時に金属加工技術を有する企業にも外注という形で協力を求めた。最終的な大出力に対応したターゲットの開発及び試験は、大電流静電加速器によるコンパクト中性子源を開発している名古屋大学の協力を得ることとした。

また、冷中性子源の開発のためには、冷中性子源のシミュレーションによる最適化を実現する必要があり、こうしたシミュレーションに必要な散乱カーネルの研究開発のため京都大学に参画を求めた。更に、理化学研究所内部で中性子ビーム技術開発チームの協力により冷中性子源の試験を実施した。

更に、ビーム強度の増大のための中性子集光光学系の開発においては、ミラー基材の超精密加工は、プロジェクトリーダーの所属する理研先端光学素子開発チームにて行い、中性子の反射臨界角を増大させ、その強度を増大するための中性子スーパーミラーコーティングの最適化に関する研究開発を京都大学(京都大学複合原子力科学研究所)に求めた。

これらの体制は、目的とする要素技術の開発には非常に優れた構成を取れたと考えており、基本的にすべてのチェックポイント(CP)をクリアできたと考えている。一方で、ターゲット開発における大強度ビームによる試験については、名古屋大学における静電加速器の立ち上げの遅れからビームラインの整備等が遅延しており、残念ながら最終目標までは至っていない。しかしながら、これ以外の課題については、ほぼ当初の目標を達成し、かつ RANS における冷中性子源は、A-STEP 小泉プロジェクトなど他のプロジェクトへの貢献をすることもでき、総合的には十分な成果をあげられたと考えている。

7. 産学の対話の活用状況

「産学共創の場」においては、多くの企業に開発中の技術について詳細を伝える役割を果たすことができたと考えている。特に、低放射化ターゲットの研究開発においては、バナジウム材料を製造している企業とより詳細な話し合いを進めることができ、今後の材料開発や拡散接合技術の開発についてさらなる共同研究の話し合いを進めている。また、自動車メーカーとは、冷中性子源を用いたリチウム電池電極材料のブラッグエッジ測定について共同研究を実施することができた。先方の都合により共同研究は現在は中断しているが、小型中性子源を用いても、リチウム電池電極材料の解析に対して、やや解像度を下げれば十分実用的なデータが得られることをアピールできたと考えている。

8. 創出された研究成果(企業との共同研究、特許、論文など)のリスト

①-1企業との共同研究等(共同研究、サンプル・ノウハウの提供など) 非公開

①-2企業との共同研究によって得られた研究開発成果 非公開

②-1論文・著書(査読付き)

(国内)

- (1) 山形豊、「超精密加工による中性子ミラーの開発」、精密工学会誌 vol.84, No.6, 2018 pp.494-497 (解説)

(海外)

- (1) T.Hosobata, N.L.Yamada, M.Hino, H.Yoshinaga, F.Nemoto, K.Hori et al., Elliptic neutron-focusing supermirror for illuminating small samples in neutron reflectometry, Optics Express Vol. 27, Issue 19, pp. 26807-26820 (2019), <https://doi.org/10.1364/OE.27.026807>
- (2) Hitoshi Endo, Tatsuro Oda, Masahiro Hino and Takuya Hosobata, "Current Status of the Neutron Resonance Spin Echo Spectrometer on BL06 "VIN ROSE" at MLF, J-PARC," accepted in press in Physica B: Physics of Condensed Matter.
- (3) Takuya Hosobata, Masahiro Hino, Hisao Yoshinaga, Toshihide Kawai, Hitoshi Endo, Yutaka Yamagata, Norifumi L. Yamada, and Shin Takeda, "Precision Mechanical Design of 900 mm Long Ellipsoidal Neutron-focusing Supermirror for VIN ROSE at J-PARC/MLF," JPS Conf. Proc. 22, 011010 (2018).
- (4) S. Takeda, T. Hosobata, Y. Yamagata, M. Hino, T. Ishida, J. Yamada, M. Furusaka, M. Ohnuma, "A test experiment of a focusing SANS instrument with an ellipsoidal neutron supermirror designed for RIKEN Accelerator based Neutron Source", in Proc. 7th International Meeting of Union for Compact Accelerator-driven Neutron Sources(UCANS-VII) (2017)
- (5) Takuya Hosobata, Yutaka Yamagata, Toshihide Kawai, Shin Takeda, Masahiro Hino, Hisao Yoshinaga, Tatsuro Oda, Hitoshi Endo, Norifumi L. Yamada, Koichiro Hori, "Mass Production of Supermirror Segments for Fully-revolved Ellipsoidal Neutron-focusing Mirror Assembly", in Proc. 7th International Meeting of Union for Compact Accelerator-driven Neutron Sources(UCANS-VII) (2017)
- (6) Katsuya Hirota, Shogo Awano, Takuhiro Fujiie, Seiso Fukumura, Mayu Hishida, Go Ichikawa, Sohei Imajo, Ikuya Itoh, Yoshihisa Iwashita, Masaaki Kitaguchi, Yoshiaki Kiyonagi, Yasutoshi Kuriyama, Koki Morikawa, Yu-dai Niinomi, Hirohiko M. Shimizu, Kazuki Tsuchida, Yusuke Tsuchikwa, Yukio Tsurita, Akira Uritani, Kenichi Watanabe, Yutaka Yamagata, Nana Yamamoto, Atsushi Yamazaki, Sachiko Yoshihashi, and Tamaki Yoshioka, "Design and Construction of an Imaging beamline at the Nagoya University Neutron Source", EPJ Web of Conf. 231 (2020) 05002. (4page) DOI:10.1051/epjconf/202023105002

②-2論文・著書(査読無し)

(国内)

(海外)

③学会発表(招待講演含む)

(国内)

- (1) 細島拓也, 日野正裕, 吉永尚生, 河合利秀, 遠藤仁, 山形豊, 山田悟史, 竹田真宏, 池部壮太郎, 「大型回転楕円体スーパーミラーのため基板分割構造」, 日本中性子科学会 第 18 回年会
- (2) 2018 年 RANS シンポジウム(理研和光キャンパス, 2018.12.21)にて、「RANS におけるメシチレン減速材冷中性子源を使用した集光型小型中性子小角散乱装置の開発
- (3) 日本原子力学会(秋の大会), 岡山大学, 小型中性子源用新規冷減速材探索のための含水素物質の熱中性子散乱断面積解析, (京大院工)安部 豊, 沖田 将一郎, 田崎 誠司, (京大複合研)日野 正裕
- (4) 平成 30 年(2018) 日本原子力学会(秋の大会), 岡山大学, 2A16, 京大加速器中性子源(KUANS)における冷中性子源の特性検討, (京大院工)沖田 将一郎, 田崎 誠司, 安部 豊
- (5) 平成 30 年(2018) 日本中性子科学会(第 18 回年会), 茨城県立県民文化センター, P1-46, 汎用熱中性子散乱断面積解析コードによる小型中性子源用新規冷減速材の探索(京大院工)安部 豊, 沖田 将一郎, 田崎 誠司, (京大複合研)日野 正裕
- (6) 平成 30 年(2018) 日本中性子科学会(第 18 回年会), 茨城県立県民文化センター, P1-36, 京大加速器中性子源(KUANS)における減速材形状に関する研究(京大院工)沖田 将一郎, 田崎 誠司, 安部 豊
- (7) 平成 30 年(2018) 7/5 PNMI2018, Milton Hill, Abingdon, UK, Current status and perspective of VIN ROSE at J-PARC MLF, Masahiro Hino
- (8) 平成 30 年(2018) 9/6 日本原子力学会(秋の大会), 岡山大学, コンパクト中性子源のためのビーム輸送光学 V、2A20、日野正裕 1, 細島拓也 2, 小田達郎 1, 吉永尚生 1, 武田晋 2, 竹田真宏 2, 池部壮太郎 2, 山澤建二 2, 河合利秀 2, 山形豊 2, 遠藤仁 3, 山田悟史 3, 堀耕一郎 3, 川端祐司 1, 京大複合研 1, 理研 2, KEK3
- (9) 平成 30 年(2018) 12/4 日本中性子科学会(第 18 回年会), 茨城県立県民文化センター, B1-06、回転楕円体中性子集光スーパーミラー開発と展望、日野正裕 1, 細島拓也 2, 吉永尚生 1, 小田達郎 1, 遠藤仁 3, 山田悟史 3, 河合利秀 2, 竹田真宏 2, 池部壮太郎 2, 山澤建二 2, 山形豊 2, 川端祐司 1, 京大複合研 1, 理研 2, KEK3
- (10) 平成 31 年(2019) 3/12 2018 年度量子ビームサイエンスフェスタ、つくば国際会議場、J-PARC MLF BL06 中性子共鳴スピンエコー分光器群(VIN ROSE)の現状と今後、日野正裕、小田達郎、遠藤仁 1、細島拓也 2、船間史晃 3、吉永尚生、瀬戸秀紀 1、山形豊 2、川端祐司、京大複合研、高エネ機構 1、理研 2
- (11) 平成 31 年(2019) 3/15 精密工学会シンポジウム、東京電機大学、中性子反射鏡用多層膜の製作と中性子利用、日野正裕、京大複合研
- (12) 平成 31 年(2019) 3/16 日本物理学会第 74 回年次大会 九州大学伊都キャンパス、J-PARC MLF BL06 中性子共鳴スピンエコー分光器群(VIN ROSE)と集光スーパーミラー開発IV、日野正裕 A, 小

- 田達郎 A, 遠藤仁 B, 細島拓也 C, 船間史晃 D, 山田悟史 B, 河合利秀 C, 吉永尚生 A, 中島多朗 C, 山形豊 C, 瀬戸秀紀 B, 川端祐司 A, 京大複合研 A, KEK(IMSS)B, 理研 C, 京大工 D
- (13) 平成31年(2019) 3/19、日本原子力学会2019年春の年会 茨城大学水戸キャンパス、J-PARC MLF BL06 中性子共鳴スピネコー分光器群(VIN ROSE)の現状と展開、日野正裕A, 小田達郎A, 遠藤仁B, 細島拓也C, 船間史晃D, 中島多朗C, 山形豊C, 川端祐司A, 京大複合研A, KEK(IMSS)B, 理研C, 京大工D細島拓也, 日野正裕, 吉永尚生, 河合利秀, 遠藤仁, 山形豊, 山田悟史, 竹田真宏, 池部壮太郎, 「大型回転楕円体スーパミラのため基板分割構造」, 日本中性子科学会 第18回年会
- (1) 2018年RANSシンポジウム(理研和光キャンパス、2018.12.21)にて、「RANSにおけるメシチレン減速材冷中性子源を使用した集光型小型中性子小角散乱装置の開発
- (2) 名古屋大学加速器中性子源NUANSの構築(口頭) 広田克也 北海道大学(日本加速器学会) 平成29年8月1-3日

(海外)

- (1) Y.Yamagata, S.Takeda, T.Hosobata, T.Kawai, M.Hino, Y.Abe, K.Hirota, H.M.Shimizu, Y.Wakabayashi, T.Kobayashi, A.Taketani, Y.Otake, “Development of cold neutron source using methyl-benzene derivatives for compact neutron source”, UCANS-VII, Bariloche, Argentina (2018)(口頭)
- (2) S. Takeda, T. Hosobata, Y. Yamagata, M. Hino, T. Ishida, J. Yamada, M. Furusaka, M. Ohnuma, “A test experiment of a focusing SANS instrument with an ellipsoidal neutron supermirror designed for RIKEN Accelerator based Neutron Source”, in Proc. 7th International Meeting of Union for Compact Accelerator-driven Neutron Sources(UCANS-VII) (2018)(ポスター)
- (3) Takuya Hosobata, Yutaka Yamagata, Toshihide Kawai, Shin Takeda, Masahiro Hino, Hisao Yoshinaga, Tatsuro Oda, Hitoshi Endo, Norifumi L. Yamada, Koichiro Hori, “Mass Production of Supermirror Segments for Fully-revolved Ellipsoidal Neutron-focusing Mirror Assembly”, in Proc. 7th International Meeting of Union for Compact Accelerator-driven Neutron Sources(UCANS-VII) (2018)
- (4) Development of Accelerator-driven compact neutron sources Katsuya Hirota コペンハーゲン, International Particle Accelerator Conference (iPAC17) 平成29年5月14-19日(ポスター)
- (5) Construction of Nagoya University Accelerator-driven Neutron Source (NUANS)2nd beamline Y.Tsuchikawa, K.Hirota, Y.Kiyonagi, H.M.Shimizu, et.al., 奈良, International Conference on Neutron Optics (NOP2017) 平成29年7月5-8日(ポスター)
- (6) Development of Accelerator-driven compact neutron source in Japan Katsuya Hirota 韓国 Daejeon, Asian Forum for Accelerators and Detectors(AFAD2018) 平成30年1月28-31日(口頭)
- (7) Hirohiko M. Shimizu and Katsuya Hirota, “Characterization of Neutron Beam Applications”, EPJ Web of Conf. 231 (2020) 05005.(口頭)

④知的財産(特許権、実用新案権など)

(i)特許出願

(国内)

(海外)

(ii)特許登録

(国内)

(海外)

⑤他制度への展開 非公開

⑥その他(受賞、新聞報道、招待講演、展示会等の出展など)

- (1) 超精密な金属製中性子集束ミラー —多様な中性子ビーム集束デバイスの普及に期待— 理化学研究所よりプレスリリース 2019年9月 京都大学、J-PARC センター(KEK)とも共同プレスリリース、A-STEP および光量子融合連携プログラムの共同研究成果

9. その他特記事項

技術テーマ内の課題間の共同研究実績:

A-STEP「複合材料の品質管理を目指した小型中性子源小角散乱イメージング装置の開発」
プロジェクトリーダー 小泉智(茨城大学)

冷中性子源を用いた小角散乱実験を実施した。

金属基材を用いた中性子ミラーの製造に関するノウハウについて

金属基材を用いた中性子集光ミラーの製造法に関して、本研究プロジェクト中に大きくそのノウハウが進歩し、高性能なミラーを製造できるようになった。重要なノウハウとしては、超平滑面を生成するための研磨プロセス中における、付着砥粒の除去手法および中性子スーパーミラーのコーティング前の洗浄手法があげられる。中性子スーパーミラーは数百層の Ti/NiC 薄膜を積層するため、通常では全く問題にならないような数十 nm の研磨砥粒の残留でもスーパーミラーコーティングの表面粗度を大きく悪化させることが判明しており、こうした砥粒の除去手法は極めて重要なものである。しかしながら、こうした洗浄手法は、特許出願を行うと、容易に他者が実施可能であり、製造された製品からは洗浄手法を特定することが困難なため、特許侵害を特定することも難しい。このため、こうした洗浄手法は、知的財産としての価値を有する者の、特許出願せずに、ノウハウとして理化学研究所内にて保持することとしたい。

Ⅲ. 今後の展開

10. 成果の今後の展開

(1) 低放射化ターゲットの研究開発

Be-V をロウ材なしで接合できる基礎技術の開発にはほぼ成功した。このため具体的な加速器施設を想定したターゲットの開発を進める。名古屋大学の静電加速器を用いた小型中性子源が最初の目標であるが、当該施設における BNCT 用 Li ターゲットの開発が完了した時点で、試験を開始したいと考えている。また、海外(欧州、米国)においては研究機関や大学においてすでに Be-V ターゲットの導入が進められており、(例:米国インディアナ大学、ドイツ:JCNS,フランス:CEA-Saclay)これらの研究開発が進捗すると、世界的に Be-V ターゲットの需要が高まる可能性が高い。このためなるべく早い段階で、金属材料メーカー、金属加工メーカーと協力して様々な特性のターゲットを製造できるよう準備を進めたい。

(2) 安全な冷中性子源の開発

本プロジェクトで開発された冷中性子源は、その性能について複数のグループが評価を行っており、十分実用的であることが確認されつつある。また、比較的取り扱いが容易な有機溶媒と閉サイクル He クライオクーラーを組み合わせているため、減速体の交換が頻繁に行われる理研小型中性子源 RANS においては、迅速に交換可能な引き出し型の冷中性子源としての常用に向けた改造がすすみつつある。

(3) 金属基材を用いた中性子集光光学系の開発

金属基材を用いた中性子集光光学系は、2019年9月にプレスリリースされたように、J-PARC 物質生命科学実験施設内の試料水平型中性子反射率計 BL-16(SOFIA)において、標準オプション機能として、認められており、すでにユーザープログラムにて利用されている。このことは、この中性子集光ミラー技術の完成度が十分高まったことを内外にアピールできたと考えており、この結果を受けて、J-PARC/MLF 内の複数のビームラインから中性子集光光学系の検討依頼が来ているだけでなく、海外の研究所からも検討依頼が来ている。こうした状況を踏まえ、現在はミラー基材の超精密加工を理化学研究所が、中性子スーパーミラー成膜を京都大学複合原子力科学研究所が分担しているが、これらの作業を民間企業に技術移転し、多数の中性子集光ミラーの製作需要にこたえるべく準備を進めている。