J-PARC の茨城県ビームラインの概要
と産業利用の現状

林 眞琴*

Journal of Japan Institute of Light Metals, Vol. 58, No. 5 (2008), pp. 205-211

Ibaraki Prefecture's Neutron Beam Lines in J-PARC and Outline
of Industrial Applications

Makoto HAYASHI*

Keywords: neutron, diffraction, J-PARC, industrial application

1. はじめに

現在、日本原子力研究開発機構（原子力機構）の原子力科学研究所（旧 原研東海）の構内に、原子力機構と高エネルギー加速器研究機構（高エネ研）が共同で、大強度陽子加速器施設（J-PARC）を建設中である¹⁾。平成13年に建設を開始し、平成19年8月現在で進捗率が80%を超え、中性子を用いる実験施設である物質・生命科学実験施設（MLF: Materials and Life Science Facility）の建屋の建設は完了した。加速器施設の最上流部であるリニアックの機器の調整が進み、平成18年11月21日に初ビームを出射し、平成19年1月24日には当面の設計値である181 MeVまで加速することに成功し、順調に推移している。MLFには平成20年5月頃に3 GeV シンクロトロン加速器から陽子が届く予定である。その後11月まで主としてMLFの陽子ビームラインと中性子発生源の調整を行うとともに、当初整備される実験装置の調整を行い、12月から共用を開始する予定である。ただし、出力は設計値の10%以下での運転であり、リニアックの400 MeVまでの増強を含めて、4, 5年掛けてフルパワーである1 MWに到達させる計画である。

J-PARC/MLFでは産業利用がビームタイムの20~30%を占めることを1つの目標としている。日本での中性子の本格的な産業利用は1992年に著者らの機械構造物内部の残留応力測定が最初ではないかと思われる^{2)~6)}。その後、中性子の産業利用は徐々にではあるが多くの分野に広がっており、残留応力測定に続いて、集合組織、結晶構造解析、析出物構造解析、高分子構造解析、たんぱく質構造解析、単結晶ミソオリエンテーション、粉末構造解析、磁性薄膜構造解析などが行われているが、まだまだ利用率が高いとは言えない状況である。

一方、茨城県では科学技術学園都市であるつくばや、原子力研究施設が集積している東海、ならびに産業が集積している日立地区の連携強化を図り、J-PARCを核とした一大先端産

業地域を形成するというサイエンスフロンティア21 (SF21) 構想を策定した⁷⁾。これは、J-PARC/MLFに中性子実験装置を整備し、それを核として、新産業の創生や新事業の創出を図り、科学技術立県を目指すというものである。そのため、茨城県が整備する中性子実験装置は主として産業利用を目指すもので、新しい物質創成を図るための「材料構造解析装置」と、難病に効く、あるいは副作用のない新薬の創生に繋がる「生命物質構造解析装置」の2台である。

本稿では、J-PARCとJ-PARC/MLFに整備する茨城県の2台の中性子実験装置の概要ならびに産業利用の現状を紹介する。

2. 中性子の特徴

観測子としての中性子の特徴は次の通りである。

(1) 高い「透過力」

電荷をもたない中性粒子なので物質を通り抜けやすく壊さずに物質の内部の様子をみることができる。

(2) 原子核と力を及ぼし合う「核散乱」

原子核と相互作用するので軽元素の検出や、同位体の区別ができる。水素Hと重水素Dの区別や原子番号の近いFeやNiの区別は無論、同じFeでも同位体の区別ができる。

(3) 電子の磁気モーメントと力を及ぼし合う「磁気散乱」

中性子は最小の磁石なので磁気を有する物質による回折を観測することで結晶構造のみならず磁気構造も解析できる。

(4) 波の干渉効果として波紋をつくる「回折」

中性子は波の性質も有するので入射波が原子により散乱されて波紋を作る。この波紋を観察することにより波長の大きさ程度の原子の配列がX線回折と同様に測定できる。

(5) エネルギーをやりとりする「非弾性散乱」

原子の運動エネルギーと同程度のエネルギーを有する中性子を使用するので原子の動きを観察することができる。

このような特徴を活かして、これまでは、中性子は主として物性物理や基礎化学の学術的研究に利用されてきた。表1

* 茨城県企画部 技監 (〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4 原子力機構)。E-mail: m_hayashi@pref.ibaraki.lg.jp
受付日: 平成19年10月19日 受理日: 平成19年11月8日

表 1 中性子による主要研究分野

研究分野	学術研究分野	産業利用分野
非晶質・液体	物性物理, 化学物理, 材料工学, 溶液化学, 金属工学, 反応化学, 宇宙・地球科学	光学材料, アモルファス磁生体, 光磁気ディスク, 金属ガラス材料, エネルギー関連材料
高分子・ソフトマター	高分子化学, 溶液化学, 表面化学, 反応化学, 合成化学	高分子触媒, 食品工業, プラスチック・ゴム材料, 石油化学工業, 農林
磁生体・誘電体	強相関物理, 磁性物理, 超伝導物理, 誘電体物理	超伝導磁石, スピンエレクトロニクス材料, エネルギー関連材料
生体物質および生体関連物質	構造生物学, 薬学, 農学	製薬, 食品, 農林水産業
機能・構造材料	材料工学, 金属工学, 機械工学, 触媒化学, 表面化学, 農学, 考古学, 宇宙・地球科学	エネルギー関連材料, 重工業, 鉄鋼, 材料産業
原子力・基礎物理	原子核物理, 核化学, 原子力基礎データ, 中性子基礎物理	原子力燃料, 中性子工学デバイス

に中性子を利用した主要な研究分野を示す。約 10 年前からは産業応用への展開も図られつつある。金属材料とはあまり関係のない分野もあるが、中性子の産業利用技術としての理解を深めていただくために簡潔に紹介する。

茨城県の生命物質構造解析装置は、たんぱく質の機能解明と創薬に資することを目的としている。中性子は水素や重水素に対して感度が高い。主として C, H, N, O で構成されるたんぱく質のなかでも、水素や水和基 (H_2O) が薬剤と反応すると考えられており、中性子により水素・水和構造を含む全原子構造解析を行おうとするものである⁸⁾。更には、たんぱく質場の分子認識と化学反応を測定することによってたんぱく質構築原理を解明して、高精度な薬物設計と創薬を目指そうとしている。

小角散乱測定技術を用いると鉄鋼材料のマイクロ組織の定量測定が可能である⁹⁾。小角散乱では鉄鋼などいわゆるハードマターだけでなく、高分子や液晶、ゲル、ミゲルなど、いわゆるソフトマターの様々な構造の解明も可能である。これまでの主要な成果としては、非晶性高分子鎖の広がりやの決定、結晶性高分子鎖の広がりやと折りたたみ状態の決定、相分離や体積相転移などの臨界現象の解明、高分子ゲルの構造解析と不均一性解析、などがある。最近の特徴的な成果としては、ピアノ線の 8 倍という超高強度を有するポリエチレン繊維の構造が、折りたたみ鎖ラメラ結晶（ケバブ部）と伸張鎖結晶（シシ部）で構成される、いわばシシケバブ構造になっていることを解明した¹⁰⁾。これにより、更なる超高強度な高分子材料開発の道が拓けている。また、中性子反射率計を用いると表面物性が、スピネコー装置を用いると拡散係数や膜弾性率の測定が可能であり、刺激応答性ブロック共重合体の精密重合や、有機ゲル化剤の高機能化、あるいは、ナノコンポジットゲルの高性能化などの産業応用が期待されている。

新エネルギー材料として、東南海の大陸棚に大量に堆積しているメタンハイドレートがある。このようなガスハイドレートに関する基礎・応用研究として、中性子を用いた構造解析と形成・分解過程の研究が行われている。これは、中性子の

軽元素識別能力と中性子の運動察知能力を利用してメタンハイドレートの炭化水素のカゴ構造中におけるメタンの挙動を解明することにより工場や家庭の熱源、あるいは燃料電池自動車の燃料に使えるようにしようとするものである。

中性子は磁気モーメント（物質中の微小磁石）の位置と運動状態を定量的に精度よく観測できるので、磁気ディスクや磁気ドットなどの新しい磁気ナノデバイスや高密度磁気記録媒体の開発に貢献でき、世界の IT 化に技術革新をもたらすと期待されている。具体的には、中性子反射率計により磁気薄膜・多層膜の磁気構造とスイッチング現象を観測することにより、スピントロニクス・磁性ナノデバイス・高密度記録技術を開発する。ひいては、磁気記録や MRAM 分野で多用される磁性層の磁気構造の解明により高度な磁気構造制御を実現して次世代の情報産業を支援する。

また、2 大超伝導機構として磁氣的相互作用と電子-格子作用が提唱されているが、これを明らかにするために、4 次元空間中性子探査装置により磁気揺らぎと格子振動を観測して高温超伝導発現機構を解明し、それに基づいて、より高温の超伝導体材料の開発や、リニアモーターカーの経済的実現、あるいは、エネルギー輸送や貯蔵などに貢献できると期待されている。

燃料電池は CO_2 削減など地球規模での環境問題解決に有力な方法である。自動車エンジンに代わる動力源やコジェネ家庭用電源としても極めて有望である。中性子は、燃料電池で最も重要な働きをする水素（プロトン）の位置と運動状態を観測できるので開発に不可欠であり、燃料電池の 3 大開発要素である、水素供給源（大吸蔵量・低温活性・長寿命水素吸蔵材料）、プロトン伝導膜（高伝導率・長寿命プロトン透過高分子膜）、生成水除去膜（高排水能力）の開発に貢献できる。

試料に中性子を照射して測定対象の元素を放射性核種に変換し、その放射能を測定して定性、定量分析するのが中性子放射化分析法である。その特徴は、(1) 分析感度が高く、極微量の成分や不純物の定量が可能、(2) 化学処理を行うこと

なく非破壊分析が可能, (3) 少量の試料で多元素の同時定量が可能である。この特徴を活かして, 埋蔵文化財の製造場所の同定やタマネギの産地同定などが行われている。

3. J-PARC の概要

以上述べたように, 中性子は物質科学や生命科学の研究に留まらず, 産業利用にも大きな期待が寄せられている。定常原子炉ではフランス ILL (Institut Laue-Langevin) やカナダ Chalk River Laboratories の NRU Reactor, ならびに原子力機構の JRR-3 などにおいて様々な研究が行われている。核破砕によるパルス中性子源はもとより日本で開発された施設である。日本では KEK の KENS が利用されていたが, J-PARC の完成が近付いたため平成 18 年 3 月までに運転停止した。英国 Lutherford Appleton Laboratory には ISIS があり, 利用の高まりを受けて第 2 ビームラインを整備中である。米国では ORNL (Oakridge National Laboratory) に SNS (Spallation Neutron Source) を建設中である。SNS は平成 18 年 4 月 28 日に初ビームを射出して現在調整運転中である。

図 1 に J-PARC の概要を示す。加速器施設としては, 400 MeV リニアック, 3 GeV シンクロトロン, 50 GeV シンクロトロンの 3 施設がある。3 GeV シンクロトロンで光速の約 97% まで加速された陽子を物質・生命科学実験施設 (MLF: Materials and Life Science Facility) に導き, 水銀のターゲットに衝突させて核破砕により大量の中性子を発生させて実験装置に取出す。50 GeV シンクロトロンで光速の 99.98% まで加

図 1 大強度陽子加速器施設 (J-PARC) の概要

図 2 物質・生命科学実験施設 (MLF) の概要

速された陽子はハドロン実験施設での素粒子の実験や, ニュートリノを岐阜県にあるスーパーカミオカンデに射出してニュートリノの振動実験に使われることになっている。

物質・生命科学実験施設 MLF の概要を図 2 に示す。3 GeV シンクロトロンから入射された陽子が中央の水銀ターゲットに衝突すると中性子が発生する。この中性子はエネルギーが高いためターゲットの周辺に配置した, 液体水素が充填された 3 個のモデレータによりエネルギーを下げて, 3 種類の波形パターンの中性子に変換する。それがターゲットから放射状に伸びる 23 本の装置に誘導される。

整備される主要な装置は, KEK の超高分解能粉末構造解析装置, 高分解能チョッパー分光器, 高性能試料水平型反射率計, 高強度全散乱装置など, 原子力機構の低エネルギー分光器, 物質構造解析装置, ダイナミクス装置, ナノ構造解析装置, 新材料解析装置, 生体構造解析装置など, 原子力機構, KEK と大学が共同で設置する 4 次元空間中性子探査装置, 京都大学の共鳴中性子スピネコー分光器, ならびに, 茨城県の材料構造解析装置と生命物質構造解析装置などである。現在それらのうち約 10 台の実験装置が共用開始に向けて整備中である。

4. 茨城県の取組み

大型放射光施設である SPring-8 は供用を開始してからほぼ 10 年を経過し, 産業利用が 25% 程度となったが, それに至るには関係者の尽力とさまざまな施策によるところが大きい。その経験を踏まえ, 茨城県では, J-PARC/MLF の供用が開始されるとすぐに中性子を産業界に利用していただけるように様々な促進策を進めてきた。

- ・茨城県中性子利用促進研究会
- ・中性子産業利用セミナー
- ・企業セミナー・技術相談会
- ・中性子産業応用事例集や紹介 DVD の作成

などが主要な施策である。中性子利用促進研究会は平成 16 年に組織したもので, 新薬創生研究会, 環境調和型材料開発研究会, 次世代電池開発研究会, ナノ磁性材料研究会, 非破壊分析・可視化研究会, 界面科学研究会, 未来型材料解析研究会, 中性子標準研究会, データ解析技術研究会, 分子間反応場研究会, 生体分子科学研究会, 小型ライナック医療応用研究会, 中性子産業事業化研究会という全部で 13 の個別研究会がある。詳細は茨城県の HP を参照していただきたい⁷⁾。現在 455 名の研究者, 技術者が年 3, 4 回の研究会を開催して中性子の産業利用について理解を深めていただくとともに, モデル実験を進めている。

茨城県が地方自治体として 2 台の装置を整備するため, 主として地元の中小企業の利用を目指しているが, まだまだ中性子は産業界に浸透していない。そのため, まずは, 大手企業の利用を図るため, 中性子産業利用セミナーを開催している。平成 17 年度は東京と大阪で, 18 年度は福岡と群馬県太田市, 名古屋で開催した。19 年度はすでに宇都宮で開催し, この後, 千葉県柏市, 神戸, 横浜での開催を予定している。特に, 神戸では SPring-8 と共催することにより, 放射光と中性子との相補的利用をテーマとする予定である。

中性子の専門家である原子力機構の職員や KEK, 大学の教授陣と一緒に企業を訪問して企業セミナーを開催している。

それに加えて、原子力機構の原子力科学研究所（旧 原研東海）に来ていただき、研究用原子炉 JRR-3 に設置されている中性子実験装置や建設中の J-PARC を見学していただいた上で、施設側から中性子産業応用に関する技術紹介を行い、企業側からは中性子利用の可能性について紹介していただいて技術相談に応じる技術相談会も開催している。

以上は茨城県独自の取り組みであるが、中性子の産業利用は MLF としての大きな課題であるため平成 18 年 11 月に J-PARC センター長の諮問機関として中性子産業利用促進連絡会議を設置し、中性子利用に関わる全ての機関が合同で企業に対して中性子利用を働きかけることになった。

5. 茨城県の実験装置

図 3 に材料構造解析装置の概要を示す。この装置の目的は、新規材料構造評価システムを開発し高付加価値材料の創成を実現することにある。産業への貢献あるいは応用としては、

- (1) 環境問題への貢献（高性能燃料電池の開発、水素吸蔵材料の開発）
- (2) 大容量小型電池の開発（Li イオン電池材料）
- (3) 高密度磁気メモリの開発
- (4) 高温超伝導材料の開発
- (5) 生体用材料の開発

などを想定している。本装置の特徴は以下の通りである。

- (1) X 線では困難な水素や Li のような軽元素の位置と量を決定可能
- (2) 原子サイズからナノ領域まで幅広い材料構造解析が可能
- (3) 温度、圧力などを変化させた条件での測定が可能。また、条件の変化に伴う材料の結晶構造の変化挙動を測定可能
- (4) 従来の装置の 50 倍から 100 倍の効率での短時間測定（数分程度）
- (5) X 線解析装置を使う手軽さで測定可能

これらを実現するため、装置の試料散乱槽の周りには高分解能バンク検出器、特殊環境バンク検出器、低角バンク検出器と小角散乱検出器の 4 組の検出器を配置している。

平成 18 年度に始まった放射線利用振興協会の「中性子利用技術移転推進プログラム（通称：トライアルユース制度）」¹¹⁾ や原子力機構の施設共用制度での利用状況を見ると、残留応力測定に対するニーズが非常に高いことがわかったた

図 3 茨城県材料構造解析装置（iMATERIA）の概要

め、材料構造解析装置に残留応力測定機能を付加することにした。

本装置には高温、低温、高磁場、高圧力、ひずみ負荷などの特殊環境中における測定に対応した特殊環境バンク検出器があり、回折角 $2\theta = \pm 90^\circ$ に検出器が 2 組配置されている。図 4 に材料構造解析装置における入射ビームの水平面内の検出器の配置の概要を示した。この配置では $\pm 90^\circ$ の位置にある A 検出器と B 検出器により直交する 2 軸方向（ α , β 方向）のひずみを測定できるので、この状態でひずみを測定した後、試料を α 方向あるいは β 方向に 90° 回転させて、 α 方向と β 方向に直交する γ 方向のひずみを測定すれば、2 回の測定で 3 軸方向のひずみを測定できるので残留応力を測定することが可能である。

しかし、主応力方向と主応力を知りたい場合には 6 軸方向のひずみ測定が必要である。そこで残りの 4 方向のひずみを測定するための検出器を試料散乱槽内部に配置することにした。図 5 に垂直面内の 4 個の検出器の配置を示す。C, D, E, F の検出器では γ , δ , ϵ , ϕ の 4 方向のひずみを測定できる。 γ と ϵ 方向あるいは δ と ϕ 方向のなす角度がやや小さいため主応力方向と主応力を決定するにはやや難がある。しかし、1 回の測定にすれば測定時間が半減される（試料のセッティングを考慮すると更に短縮できる）、2 回測定する場合には試料を 90° 回転させることにより測定領域がずれることがあるということを心配しなくてよいという利点には魅力が大きい。

図 4 と図 5 の検出器は 2 次元検出器であるので、検出範囲を広げて測定時間を短縮することが可能である。応力ひずみの Mohr 円を考えればわかるように、2 次元検出器で回折角

図 4 特殊環境バンク検出器の水平面内配置

図 5 試料散乱槽内の垂直面内の 4 つの検出器の配置

度 $2\theta=90\text{ deg}$ の中央位置から $\varphi=\pm 5\text{ deg}$ の範囲の検出器でカウントしたとしても、応力値では $\Delta\sigma=1.5\%$ しか変動しないことになる。例えばもっと測定範囲を広げて $\varphi=\pm 10\text{ deg}$ の範囲をカウントしても応力値では $\Delta\sigma=6.0\%$ であり、応力測定精度としては十分であると考ええる。

J-PARC でのパルス中性子源を用いた飛行時間法 (TOF)¹²⁾ による測定の利点は、

- (1) 多数の回折面の同時測定が可能
- (2) 多相複合材料の各相応力の同時測定が可能
- (3) 異方性材料 (強集合組織材) の測定が可能

が挙げられる。この装置では高分解能バンク検出器、特殊環境バンク検出器、低角バンク検出器を組合せて同時に集合組織を測定するため、X 線装置に比して 1/5 以下の非常に短時間で集合組織が測定できる。

J-PARC のパルス中性子源のピーク強度は、原子力機構の研究用原子炉 JRR-3 の約 100 倍もある高輝度中性子源である。このように明るい中性子源を用いると、表面近傍の勾配のきつい応力分布、微小領域・微小材料、ならびに動的測定が可能であると期待される。

生命物質構造解析装置の概要を図 6 に示す。この装置では測定試料を中心にして、65 台以上の多数の 2 次元検出器を放射状に配置しているのが特徴である。この装置は主としてたんぱく質の機能・水化学反応に寄与する水素・水和構造を解明することにより難病治療の特効薬や副作用のない薬品の開発に繋げることを目的としている。本装置の特徴は以下の通りである。

- (1) X 線では困難な水素原子位置の決定が可能
- (2) 従来装置 (JRR-3 の BIX3) の 50~100 倍の測定効率
- (3) 結晶体積が 2 mm^3 なら年間 100 個以上の測定が可能
- (4) 実験室 X 線装置並みの小さな結晶でも測定が可能

大型放射光実験施設 SPring-8 は極めて高輝度の X 線源であるため、たんぱく質の結晶の大きさが 0.1 mm 角もあれば 10 分オーダという短時間で結晶構造解析が可能である。しかし、JRR-3 に比して 100 倍も明るい J-PARC でも 1 mm 角以上の結晶が必要である。SPring-8 で必要な結晶の体積に対して 1000 倍以上の大きさであり、いかに速く綺麗な結晶を成長させるかが最重要課題であり、現在、結晶大型化技術の開発も装置の設計・製作に合せて進めているところである。

本装置は、基本的には単結晶構造解析装置であり、分子量

図 6 茨城県生命物質構造解析装置 (iBIX) の概要

の極めて大きいたんぱく質に限らず、生体高分子や有機分子などの構造解析も可能で、生分解性材料や発光プラスチックの開発、あるいは、冷凍食品の保存技術の開発などにも貢献できる。

MLF の中性子強度は研究用原子炉である JRR-3 の 100 倍と言われているが、MLF はパルス中性子源であり、パルス強度は高いが、積分強度は JRR-3 よりも少し低い。したがって、測定目的に合わせてどちらかを使うか、あるいは相補的に両方使うかを使い分けることが必要である。また、SPring-8 や原子力機構高崎量子応用研究所のイオンビームなど他の量子ビームとの相補的な利用も必要であり、現在文部科学省では「量子ビームプラットフォーム」を構築することを推進中である。

6. 中性子の産業利用

中性子の産業利用に対するニーズの高まりを受けて、原子力機構では、平成 15 年に有償産業利用を開始した。

有償利用では、

- 必要なときに使える
(随時申込みによるビーム実験が可能)
 - 使いやすい
(実験室 X 線装置や放射光と同じセンスで使える)
 - 利用料金が安い
(申込み料: 10,300 円, 使用料 (概略): 約 50,000 円/日 (ガイドホール), 約 100,000 円/日 (炉室))
 - 十分な利用支援が得られる
(原子力機構職員の手厚い測定支援)
- ことを目指した。

平成 18 年度からは原子力機構施設共用制度を開始した。施設共用制度は基本的には有償利用であるが、成果を公開する場合にほぼ無償で利用できる¹³⁾。

図 7 に JRR-3 における中性子ビーム利用の平成 6 年からの推移を示す。大学の共同利用と原子力機構の独自研究がそれぞれほぼ半分を占めている。課題申請日数は 4,500 日から徐々に増加し、平成 11 年以降は約 7,000 日前後で推移している。この間実績日数は約 4,000 日であり、課題採択率は約 60% である。産業利用は平成 10 年では 10 日程度であったが、徐々に増加している。特に、平成 15 年の有償化以降急増し始め、平成 18 年度からの共用化で平成 17 年度に比べて一挙に倍増

図 7 研究炉 JRR-3 における中性子ビーム利用の推移

表2 利用できるJRR-3の中性子ビーム実験装置

ビームポート	設備・装置の種類	略号
1G	高分解能粉末中性子回折装置	HRPD
1G-A	生体高分子結晶構造解析用中性子回折計	BIX-3
1G-B	生体高分子結晶構造解析用中性子回折計	BIX-4
2G	三軸型中性子分光器	TAS-1
3G	中性子トポグラフィ及び精密光学実験装置	PNO
7R	中性子ラジオグラフィ装置	TNRF
T1-4-1	即発ガンマ線分析装置	PGA
T2-1	残留応力測定中性子回折装置	RESA
T2-4	高分解能三軸型中性子分光器	TAS-2
C2-1	冷中性子散乱実験デバイス開発装置	LTAS
C3-1-2-1	中性子光学システム評価装置	NOP
C3-2	中性子小角散乱装置	SANS-J
T1-4-5	中性子ベータ崩壊基礎測定装置	NBD

する勢いである。

JRR-3に整備されている原子力機構の13台の装置の産業利用は時間比率でみると、平成17年度は企業が代表者として申請された課題は5%で、企業が協力している課題が6%であったが、平成18年度にはそれぞれ7%と11%にまで増加している。なお、この数値には共同研究分、ならびに、この後述するトライアルユース制度分も含まれている。

一方、平成18年度からも文部科学省の委託事業として「中性子利用技術移転推進プログラム（通称、トライアルユース制度）が放射線利用振興協会（RADA）の運営の元で開始された¹¹⁾。この制度の目的は、産業界等がJRR-3を用いて試行的に中性子ビームを利用して貰うものである。

利用できる装置の詳細については、原子力機構のHP（<http://nsrac.tokai-sc.jaea.go.jp/device.html>）に掲載されているので参照されたい。原子力機構の研究用原子炉JRR-3のレイアウトを図8に示す。JRR-3には原子炉のある炉室に7台、3本の冷中性子ガイドと2本の熱中性子ガイドが導かれているガイドホールには約20台の中性子実験装置がある。トライアルユース制度で利用できるJRR-3の中性子ビーム実験装置を表2に示す。

この制度の進め方は以下の通りである。

- 中性子ビーム利用提案は年2回定期公募し、コーディネータ会議と課題審査委員会で審査し採否を決定する。随時受付けも可能
- コーディネータと支援スタッフが利用者を一貫支援する
- 原子力機構は実験装置15台を提供。装置担当者が役務提供と技術支援を行う

図8 原子力機構の研究用原子炉JRR-3の装置レイアウト

○実験結果は公開し、潜在ユーザの利用を掘り起こす

○利用料金はRADAが肩代わり

○利用は電源立地地域（14府県）の企業や公的研究機関等に限る

平成18年度は初年度にもかかわらず58件もの課題を実施し、優先ビームタイム枠210日のほぼすべてを利用した。図9にトライアルユース制度の利用者の内訳を示す。地方公共団体が52%と半数を占めているが、これは上述したように茨城県が平成16年度から運営している中性子利用促進研究会からの応募が含まれているからであり、実態としては企業の利用が40件あり、全体の68%に達している。

装置の利用内訳を図10に示す。即発γ線分析が15件、残留応力測定が12件、中性子ラジオグラフィが11件で、この3台の装置だけで全体の2/3を占めている。

主な応募課題をみると、中性子ラジオグラフィでは、

- ・植物中の水分動態の可視化
 - ・建築材料における水分移動の可視化と定量化
 - ・古文化財の非破壊可視化観察
- であり、即発γ線分析では、
- ・農作物中の重金属の即発γ線分析
 - ・地質試料等の他元素同時非破壊定量
 - ・材料系および生物系組成標準物質中の元素の非破壊分析
- である。中性子残留応力測定では
- ・ボイラ水管溶接部の残留応力測定
 - ・浸炭材の深さ方向残留応力分布測定
 - ・浸炭炭素鋼の格子定数と残留ひずみ変化の測定

企業参加：40件(68%)

図9 トライアルユース制度の利用者

図10 トライアルユース制度での中性子実験装置の利用分布

・建設機械における溶接構造物の溶接内部ひずみ分布評価が実施されている。

平成 19 年度上期については、定期募集で 50 件に達しており、3 件の随時応募の申請が来ている。下期については 21 件の応募があった。平成 18 年度と同様に残留応力測定や即発 γ 線分析への応募が多いが、注目すべきは、平成 18 年度に整備した中性子反射率測定装置への応募が上期だけでも 12 件もあることである。この装置では高分子や磁性薄膜などの界面構造を詳細に解析できる点に期待が集まっていることを端的に表している。

7. ま と め

J-PARC/MLF は建物が完成し、現在 10 台ほどの中性子実験装置を準備中である。利用者の団体組織である MLF 利用者懇談会も 9 月初旬に発足し、20 年 12 月に予定されている供用開始に向けて着々と進行している。茨城県が J-PARC/MLF に整備する 2 台の産業利用向けの中性子実験装置も詳細設計を終え、かなりの部分が製作に入っている。茨城県ビームラインを利用すれば高付加価値材料の創成や、残留応力測定などにより構造信頼性を向上させることができる。また、難病の治療薬の開発にも繋げることが可能となると考えている。

茨城県ビームラインは飽くまで産業利用を目指したものであり、産業界のユーザが使いやすいシステムが必要である。特に、非公開を希望されるユーザについては「モノ」「情報」「人」のそれぞれが空間的にも時間的にも他の測定とのコン

タミがないようにできるシステムを構築し、安心して利用していただけるようにしたいと考えている。ユーザの皆さまからご意見、ご要望をお聞かせいただければ幸いである。

また、現在、運用開始直後にトピカルな成果を出したいと考えており、そのテーマを募集中である。これは県プロジェクトとしての扱いであり、無料で利用できるのも、是非よい測定課題があれば提案していただきたい。

参 考 文 献

- 1) <http://www.j-parc.jp/参照>
- 2) 林 眞琴, 石渡雅幸, 皆川宣明, 船橋 達, J. H. Root : 材料, **44** (1995), 1115-1120.
- 3) 林 眞琴, 石渡雅幸, 皆川宣明, 船橋 達 : 材料, **44** (1995), 1464-1469.
- 4) 林 眞琴, 石渡雅幸, 森井幸生, 皆川宣明 : 材料, **44** (1995), 1464-1469.
- 5) 林 眞琴, 木本 寛, 道下秀紀, J. H. Root : 材料, **46** (1997), 743-749.
- 6) 林 眞琴 : 日本機械学会論文集 (A 編), **67** (2001), 363-369.
- 7) <http://www.sf21-ibaraki.jp/index.html>
- 8) 新村信雄, 田中伊知朗, 栗原和男, 茶竹俊行, A. Ostermann : 構造生物, Vol. 7, No. 2 (2001), 1-17.
- 9) 大沼正人, 鈴木淳市 : ふえらむ, **11** (2006), 631-640.
- 10) T. Kanaya, Y. Ogiso, G. Matsuba and K. Nishida: Activity Report on Neutron Scattering Research, ISSP, Univ. of Tokyo, Vol. 12 (2005), 42-43.
- 11) <http://www.rada.or.jp/参照>
- 12) K. Tanaka, Y. Akiniwa and M. Hayashi: Materials Science Research, Vol. 8 (2002), 165-174.
- 13) <http://www.jaea.go.jp/参照>