

CONTENTS

P1 就任挨拶 P2 離任挨拶 P2 BNCTの最近の動向 P8 原子力機構におけるイノベーション創出戦略について
P9 J-PARC MLF/JRR-3情報 P9 活動報告 P10 お知らせ

J-PARCセンター長就任のご挨拶

小林 隆

2021年度から3年間J-PARCセンター長を拝命した小林隆でございます。1997年から高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所に勤務し、2015年からは素粒子原子核研究所の副所長として、また、2014年からJ-PARCセンター素粒子原子核ディビジョン長を務め、T2K実験やハイパーカミオカンデ計画などを推進してまいりました。

J-PARCは、世界最高レベルの大強度陽子ビームを用いて生成される中性子、ミュオン、ニュートリノ、K中間子などの多彩な二次粒子ビームを国内外からの利用者に提供し、物質・生命科学、素粒子・原子核物理学など広範な研究分野の基礎科学から産業応用まで多様な研究開発を推進することで、人々の生活を知的にも物質的にも豊かにすることを目的にしており、国際目標であるSDGsの実現に大きく寄与する施設であると言えます。

2008年の運転開始からこれまで、ビーム強度を増強し安定運転を実現すると共に、装置の高度化を進めつつ、それぞれの分野で多くの成果を上げてきました。物質・生命科学実験施設MLFにおいては高機能な材料、物質の開発、新しい超伝導現象の発見や生体物質における機能解明などが実現し、産業分野への応用・利用が大きく進展しました。また、素粒子・原子核物理研究においては新たなニュートリノ振動現象の発見や強い相互作用の研究などが代表的な成果例と言えま

す。今後も、これらの研究を更に発展させ、物質・生命・宇宙の本質、原理原則の解明やそれらの起源にまつわる謎に迫り、人類のQuality of Lifeの向上に貢献していきたいと思っております。

その活動の大前提になるのが、安全管理であると考えております。過去の事例にも学び、これまでの積み重ねの上に、より確実な安全健康な場を実現し、更に安心して研究成果を創出するための努力を継続していく所存です。

これまでの歴代のセンター長をはじめ、JAEA、KEKの皆様、利用されてきた民間企業の皆様、世界中のユーザーの皆様、施設に関わって下さったすべての関係企業の皆様の大変なご努力、強力なご協力によりJ-PARCはここまで発展してこられたことができたと思っております。今後も、J-PARCセンター一丸となって、すべてのユーザーの皆様と協力しながら、産業利用の充実、国内外の研究機関との連携協力の促進、そして多目的施設の特徴を生かした分野横断的な研究によりJ-PARCを更に発展させていくこと、また、ここで得られる研究成果を国民の皆様と広く分かち合うことで、日本の誇りと人類の発展に更に貢献する研究施設に育てていくことが、私の使命であると考えています。

今後とも皆様のご理解とご指導、ご鞭撻を賜りますよう、お願い申し上げます。

離任挨拶

齊藤 直人

この度、6年間のセンター長の任期を満了し、4月から高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所(素核研)の所長を拝命しています。素核研の研究活動の中でもJ-PARCは重要な位置を占めていますので、今後もJ-PARCには深い関わりをもっていくこととなりますが、一つの節目を迎えるにあたって、一言、ご挨拶をさせて頂きたいと思っております。

まず、これまでJ-PARCでの研究成果の創出と、その成果の社会との共有に、力を合わせて頂いた全ての方々に、心から感謝申し上げます。過去の困難な時期をJ-PARCセンター内のスタッフだけでなく、二つの親機関と関連する研究機関の協力で、東海村、茨城県、そして文部科学省、さらには地域社会の方々のご理解とご支援を受けて乗り越え、定常的に研究成果をお伝えできるようになった一連の経験は、J-PARCにとって、大変貴重なものとなりました。とくに、中性子産業利用推進協議会の存在がJ-PARCを特別なものに行っていることは、この過程でもひしひしと感ずることができました。

しかしながら、いまの段階はJ-PARCの基盤を築いて頂いた方々の期待する姿のベースラインに、ようやく立つことが出来たということだと思います。J-PARCでは、今後の10年間の施設高度化計画を確立し、その一部は文部科学省のロードマップ2020にも取り上げられていますが、J-PARCのポテンシャルは、まだまだ高く、世界に開かれた研究施設として、世界中の研究者たちが、自由な発想に基づき、思う存分にその研究力を発揮し、ともに成果を創出するという環

境を作り上げることが重要です。そこまで、十分に到達できなかったことは、まさに私の力量不足と言わざるを得ません。J-PARCは、若返って突破力を持ったマネジメントのもと、更なる飛躍が大いに期待できます。私自身も、素核研のマネジメントとしてだけでなく、一研究者としても、今後も微力ながらJ-PARCに貢献させていただきたいと考えていますので、どうぞ、よろしくお願いいたします。

いま世界は、新型コロナウイルスによる困難に、一進一退しているように見えます。その中で、J-PARCは、未来に通じる教育と研究の機会を守り、産業界の研究開発の一助になるべく、感染対策に留意しながら、できる限り運転を続け、施設の高度化をすすめて参りました。しかしながら、このまま不確定な状況が続くと、研究や教育の機会が大きく制限を受けかねません。経済の世界では、V字回復ではなくK字回復と言われ、分断と格差が顕著になり始めています。一般社会はもとより、研究の世界でも分断や格差は、結局のところ全体の弱体化に繋がります。J-PARCを始め、大規模加速器研究施設は世界の研究者の自由な交流の拠点であり、今現在の研究成果だけでなく未来を創出する基盤であることを改めて深く認識して、今後の研究および研究マネジメント活動を行っていきたいと思います。

最後に、改めて、これまでご支援を頂きました皆様に、心からの感謝を申し上げまして、退任のご挨拶とさせていただきます。皆さま、本当に有難うございました。そして、今後もJ-PARCへのご理解とご支援をお願いいたします。

BNCTの最近の動向

筑波大学 医学医療系
熊田 博明

加速器ベースBNCT用中性子照射装置の開発状況

《ホウ素中性子捕捉療法, BNCT》

再発頭頸部がん、悪性脳腫瘍などの難治性がん、再

発癌など、未だ治療法が確立されていない難治性がんに対する治療法として、ホウ素中性子捕捉療法(boron neutron capture therapy, BNCT)が注目されています。この治療法の機序は、がん細胞に選択的に集積する特性を有する化合物にホウ素の同位体であるホウ素10を組み合わせた“薬剤”を治療前に投与し、病巣部に中性子を照射することによって、ホウ素10と中性

子との ^{10}B (n, α) ^7Li 反応によって生じる2つの粒子： α 線とリチウム原子核によってがん細胞を破壊する治療法です[1]。図1にBNCTの原理の概略を示します。 α 線とリチウム原子核の生体中での飛程はそれぞれ $10\ \mu\text{m}$ 弱であり、これはちょうど細胞の大きさと同等であるため、この発生した2つの粒子はがん細胞のDNAを破壊して止まり、隣の細胞には届きません。したがって、例えば正常組織中にごん細胞が点在しているようながんであっても、がん細胞だけを選択的に破壊し、正常組織のダメージは抑えることができます。さらに発生する2つの粒子は、殺細胞効果の高い(高LET)“重粒子線”であるため、BNCTは“がん細胞選択的重粒子線治療”とも呼ばれています。

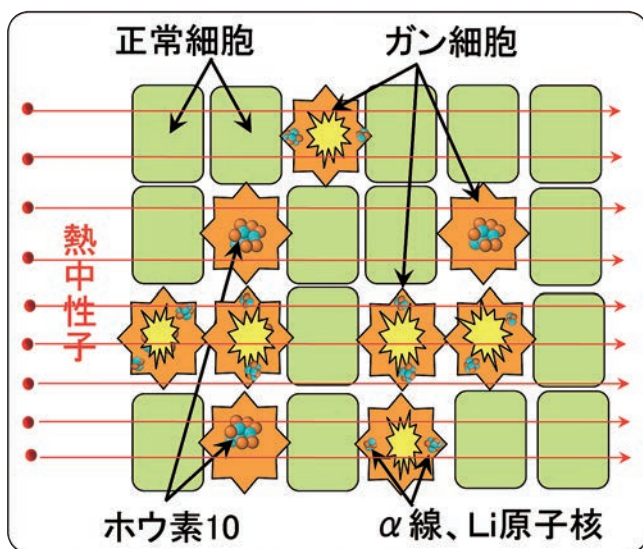


図1 BNCTの原理

BNCTの特徴としては、まず、前述のとおりホウ素薬剤の特性を利用してがんを細胞レベルでピンポイントに破壊して治療することがあげられます。さらに、正常組織に対する線量付与が小さいことから、原則1回の照射で治療を完了できます(照射時間は30分から1時間程度)。BNCTは治療に中性子を照射することから、放射線治療に分類されています。ただしホウ素薬剤も組み合わせていることから通常のX線治療、粒子線治療などの“外照射”よりも複雑であり、効果、効能は、ホウ素薬剤の薬物動態に依存するため、抗がん剤治療や非密封小線源治療に近い治療法になります。このようにBNCTは、X線治療などとは治療特性や効果、対象となるがん種も異なるため、従来の放射線治療と相補的な治療法として期待されています。

BNCTは、治療に大強度の中性子が必要であるため、原理が提唱されてから最近まで、研究用原子炉を用いて臨床研究が行われてきました。世界で最初にBNCTの臨床研究が行われたのは、1951年、米国ブルック

ヘブン国立研究所の研究原子炉を用いて悪性脳腫瘍に対する照射が実施されました。日本では、1960年代後半から日立製作所の原子炉：HTRや日本原子力研究開発機構(原子力機構)のJRR-3を用いて悪性脳腫瘍に対する臨床研究が開始され、その後、京都大学複合原子力科学研究所のKUR、武蔵工業大学(当時)のMuTR、原子力機構のJRR-2、JRR-4などを用いて、悪性脳腫瘍、頭頸部がん、皮膚がんの一種である悪性黒色腫等に対して多くの臨床研究が実施されました。

《加速器ベースBNCT》

前述の通りこれまでBNCTは、原子炉を用いて難治性がん、再発がんに対する臨床研究が行われ、優れた治療成績が認められてきました。しかし原子炉を使った治療では、「装置を医療機器として薬事承認することができない」、「病院に併設できない」、「原子炉の煩雑な運用管理」等の課題から、治療法として確立できませんでした。この状況に対して、近年の加速器技術、及び、加速器ベースの中性子発生技術の進展により、小型の加速器でもBNCTに必要なとされる大強度の中性子を発生することが可能となってきました。小型の加速器でBNCTができるようになれば、①装置を病院に併設でき、治療を病院で受けられるようになります。さらに、②装置を医療機器として薬事登録することも可能となり、これまでの“臨床研究”から、“保険治療”、“先進医療”などにステップアップでき、BNCTを一般の治療法として受けることができるようになります。さらに日本のBNCT研究は、世界を牽引していますので、③日本の技術、手法が世界標準になる可能性もあり、日本の医療産業の向上にも寄与すると期待されています。

《BNCT用中性子照射装置の要件》

加速器を使って中性子を発生する原理は、①加速器で荷電粒子(主に陽子)を加速し、②この粒子を“中性子発生標的材”(以下、標的材)に照射して中性子を発生させます。標的材から放出された中性子は、治療用途としてはエネルギーが高いため、③標的材の後方にある“中性子減速体”を通過させて治療に適切なエネルギーに調整し、最終的に④ビーム照射口から放出して患者に照射します。これを踏まえて、BNCTに要求される中性子強度について説明します。表1に装置内の各点で要求される強度を示します。現在、治療に用いられているホウ素化合物“BPA”を用いて治療を行う場合、がん細胞内のBPA濃度の持続性と、患者の負担を考慮すると、照射は1時間以内で完了することが求

められます。このためには、がん病巣周辺で 1×10^9 (n/cm²/s)以上の熱中性子(0.5eV > E)を発生する必要があります。このためには 5×10^8 (n/cm²/s)以上の熱外中性子(0.5 < E < 10keV)をビーム照射口から放出する必要があります。さらに、この熱外中性子をビーム照射口位置で発生するには、標的材から $1 \times 10^{11} \sim 10^{12}$ (n/cm²/s)程度の中性を発生する必要があります。この中性子強度は、研究用小型加速器中性子源の日本の代表施設の1つである理研のRANSの約100倍に相当します[2]。すなわち、加速器を使ってBNCTを実現するためには、従来の小型加速器中性子源装置と同規模、大ききで、100倍以上の中性を発生する技術が要求されます。

表1 装置の各点で要求される中性子強度

装置内の場所	粒子 (エネルギー範囲)	強度 (n/cm ² /s)
標的材の背面	中性子 (keV < E)	$1 \times 10^{11} \sim 10^{12}$
ビーム照射口	熱外中性子 (0.5eV < E < 10keV)	$> 5 \times 10^8$
患者内病巣部位	熱中性子 (0.5eV > E)	$> 1 \times 10^9$

《BNCT用加速器中性子源の開発課題》

前述のBNCTの要件を踏まえ、加速器ベースのBNCT用中性子照射装置の主な開発課題は、①加速器の大電流化と、②安定的、継続的に中性子を発生できる標的技術の開発です。

1つ目の課題である「加速器の大電流化」について、具体的な数値は、平均電流で数ミリアンペア(mA)から数十ミリアンペアの荷電粒子(陽子)を発生して加速する必要があります。ここで、組み合わせる標的材によって中性子の発生効率(Yield)が異なるため、標的材にベリリウムを用いる場合は、数mA ~ 10mA程度で必要な中性子を発生できます。一方、リチウムを用いる場合は、10mA以上 ~ 30mA程度が必要となります。この要件を踏まえて現状では、BNCT用の小型加速器としては、直線型加速器(リニアック)、サイクロトロン、及び、静電加速器が用いられています。表2に各加速器の特性を示します。サイクロトロンは、高エネルギー化は比較的容易ですが、大電流化が難し

いため、基本的にはベリリウムと組み合わせます。一方、静電型加速器は、大電流化が可能ですが、陽子を高エネルギーまで加速することが困難です。よってリチウムと組み合わせる用いられます。リニアックは両方の標的材と組み合わせることができますが、加速する陽子のエネルギーに応じて装置の長さが長くなります。

2つ目の課題である「標的技術の開発」に関しては、まず、大電流の荷電粒子照射による数十kW級の大熱量入射に耐えられる耐熱性と冷却性能の確保が必要です。ここで、ベリリウムの融点は約1287°Cと比較的高いですが、リチウムは、融点が約180°Cと低く、また、熱伝導率もベリリウムよりも小さい。さらに前述したようにリチウムを用いる場合は、大電流入射となるため、ベリリウムよりもより高い冷却性能を有する標的技術を確立する必要があります。表3にベリリウムとリチウムの物理特性を示します。さらに、標的材は、大量の陽子入射によって“ブリストリングと呼ばれる現象が生じ、短期間で劣化、破損してしまう恐れがあります。よってこのブリストリングを可能な限り抑制し(耐ブリストリング性能)、陽子の大電流入射に対して安定的、継続的に中性子を発生できる技術を開発する必要があります。ここで陽子に対する中性子の発生効率(Yield)の観点では、リチウムは約2.25MeV付近に中性子との共鳴ピークがあります。したがって標的材にリチウムを採用する場合は、加速する陽子のエネルギーは2.5MeV前後で良いこととなります。一方、ベリリウムのYieldは、入射する陽子エネルギーに比例して高くなります。よって陽子エネルギーを高く設定することで、陽子の平均電流を低く抑えることができます。ただし、陽子エネルギーが高くなるほど、発生する中性子の最大エネルギーも高くなり、治療には不要となる高速中性子の遮蔽と、装置の放射化対策が必要となります。逆に入射する陽子のエネルギーを数MeVまで低くできれば、混在する高速中性子の量を少なくでき、装置の放射化も抑制できます。しかし中性子の発生率が小さくなるため、加速器の大電流化とこれに伴う標的装置の除熱対策等の開発が必要となります。このようにベリリウムを用いる場合は、陽子のエネルギーと電流値、中性子発生量がトレード・オフの関係となるため、装置の開発グループのコンセプトによって仕様：陽子エネルギーと電流値、中性子減速体系等が異なることとなります。

以上に示したように、加速器ベースのBNCT用中性子照射装置を設計、製作する場合は、各加速器形式

表2 主なBNCT用陽子線加速器

加速器形式	加速できる陽子エネルギー	発生、加速できる陽子の平均電流値	組み合わせる標的材	
			ベリリウム	リチウム
サイクロトロン	中～高（～30MeV）	低（数mA）	○	
直線型加速器	低～中（2.5～10MeV程度）	低～中（数mA～10mA程度）	○	○
静電型加速器	低（2.5MeV前後）	中～高（～30mA程度）		○

表3 各中性子発生標的材の特性

標的材、及び、反応	陽子エネルギー (MeV)	Yield (中性子/陽子)	融点 (°C)	熱伝導率 (W/m/K)	発生最大中性子エネルギー	中性子減速体の大きさ
${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$	2.5	1.46×10^{-4}	180	84.7	低(数百keV)	小 ↓ 大
${}^9\text{Be}(p,n){}^9\text{B}$	4	1.60×10^{-4}	1278	201	↓	
${}^9\text{Be}(p,n){}^9\text{B}$	30	3.00×10^{-2}			高(数十MeV)	

の特性、及び、標的材の物理特性を踏まえ、選択した標的材に合わせた加速器形式と陽子のエネルギー、平均電流値の仕様を決定し、これに対応できる標的の冷却技術と耐ブリストリング技術を確保します。表2の右側には、それぞれの加速器形式に対して組み合わせることのできる標的材を示しています。

《実際の加速器ベースBNCT装置》

本執筆時点(2021年上半)で、国内外で開発整備されている加速器ベースBNCT治療施設は、約20程度あります。このうちの約半数は日本国内で開発整備が行われています[3]。表4に主なBNCT用加速器ベース中性子発生装置の開発整備状況を示します。

加速器ベースBNCT装置の開発で最も先行しているのは、住友重機械工業製の装置：NeuCureです。同装置は加速器にサイクロトロンを採用し、平均電流値：1mAの陽子を30MeVまで加速して、ベリリウムに照射して中性子を発生します。2012年に同装置を用いた世界で最初の加速器ベース中性子照射装置による実際の患者に対する治験(薬事承認を目指した臨床試験)が開始されました。この治験結果を踏まえて、2020年春にステラファーマ社製のホウ素薬剤“ステボロニン”とともに同装置が薬事承認されました[5]。これにより、同装置が導入されている南東北BNCT研究センター(郡山市)と関西BNCT共同医療センター

(高槻市)で、2020年6月から再発頭頸部がんに対して保険収載での治療が開始されています。このようにNeuCureは、加速器ベースBNCT用照射装置の開発、実用化において、大きなブレイク・スルーを達成しました。

NeuCureに続く装置は、国立がん研究センター・中央病院(東京)に導入されているCICS社製の治療装置：CICS-1です。同装置は、本稿執筆時点で唯一、リチウムとリニアックを組合わせたBNCT用中性子照射装置となっています[6]。また、同装置の特徴は、加速器が治療室の上階に設置されており、陽子ビームが上から下方向に輸送されてリチウムに照射され、中性子を下方向に発生する“垂直ビーム型”の装置です。現在、同装置を用いて、表在性がんに対する治験が同病院で実施されています。CICS-1は、江戸川病院(東京)への整備も進められています。

国内でCICS-1に続く装置は、筆者が所属するつくばグループの“iBNCTプロジェクト”です。このプロジェクトは、筑波大学を筆頭に高エネルギー加速器研究機構、原子力機構などの研究機関、地元企業、茨城県、つくば市等による産学官連携チームによって、新しい加速器ベースのBNCT用中性子照射装置“iBNCT001”の開発を行っています[7]。iBNCT001の加速器には、長時間の稼働実績があるJ-PARCのライナック技術をベースに、BNCT用に高度化したRFQ+DLT(1

表4 国内外の主な加速器ベースBNCT装置、施設

メーカー、グループ	加速器形式	標的材	陽子エネルギー (MeV)	平均電流値 (mA)	導入、設置施設
住友重機械工業(株)	サイクロトロン	Be	30	1 (2)	京都大学複合原子力研究所 南東北BNCT研究センター 関西BNCT共同医療センター
(株) CICS	直線型加速器	Li	2.5	12, (20)	国立がん研究センター 江戸川病院
つくばグループ	直線型加速器	Be	8	2.1, (>5)	筑波大学
名古屋大学	ダイナミトロン	Li	1.9 ~ 2.8	10	名古屋大学
Neutron Therapeutics Inc.	静電型加速器	Li	2.6	12, (30)	フィンランド・ヘルシンキ 大学附属病院 湘南鎌倉先端医療センター
TAE Life Science	静電型加速器	Li	2.5	—	中国・廈門市の病院 イタリア・CNAO
Dawon Medax	直線型加速器	Be	10	<8	韓国・仁川周辺の病院
CNEA	タンデム加速器	Be	1.4	(30)	アルゼンチン・CNEA

平均電流値の括弧内の数値は、設計上の最大平均電流値

基)形式のリニアックを採用しています。そして標的材にはベリリウムを組合わせています。図3、図4は、iBNCT001リニアック、及び、同装置の照射室をそれぞれ示しています。

リニアックで加速する陽子のエネルギーは、先行するNeuCure (同じくベリリウムを採用)よりも低い8 MeVに設定しています。これにより発生する中性子の最大エネルギーを低くすることで(6.9MeV)、装置の放射化の低減を図っています。一方、陽子の平均電流はNeuCureよりも高く、5mA以上で稼働するように設計、製作されています。

iBNCT001は、2021年時点で平均電流2.1mAで安定的、継続的に稼働できる状態となっており、これまでの物理学的特性測定によって、同装置が発生する熱外中性子ビームをBNCTに適用可能な線質を有していることを確認できています[8]。生体を模擬した水ファントムに対する照射実験では、ファントム内で最大約 1.4×10^9 (n/cm²/s)の熱中性子束を発生することを確認しており、このビーム強度は、先行するNeuCureとほぼ同等であることを確認しています。また、細胞やマウスなどの予備実験も実施しています。当グループでは、iBNCT001の実用化に向けて、まずは発生するビームの生体への安全性と治療への適用性、有効性を確認するための“非臨床試験”(細胞、マウスに対する照射実験)を速やかに実施したいと考え

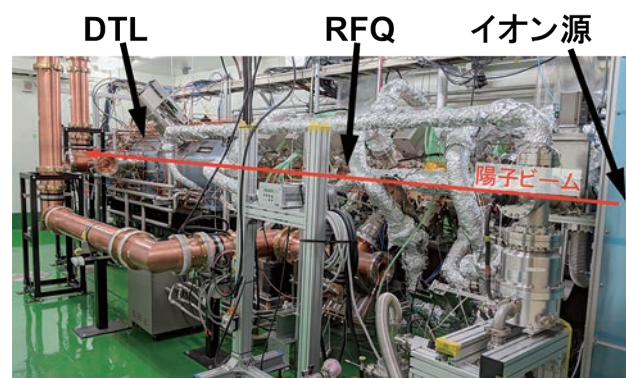


図3 iBNCT001のライナック



図4 iBNCT001の照射室の様子

ています。この非臨床試験の結果を踏まえて、実際の患者に対する臨床研究(治験)を実施する計画です。

上記の装置の他には、国内では名古屋大学のグルー

ブが加速器に静電型加速器の一種であるダイナミトロンとリチウムを組合わせた加速器中性子源の開発を行っています[9]。この装置は、中性子発生に成功し、生物照射実験も実施されています。

国外でも複数の装置開発プロジェクトが進んでいます。国外で最も進んでいるプロジェクトは、米国のBNCT装置ベンチャーであるNeutron Therapeutics社が開発している装置：nuBeamです[10]。この装置は標的材にリチウムを採用し、静電型加速器を組合わせています。加速器の平均電流は最大30mAと高く設定されており、治療時には12mAの陽子を2.6MeVまで加速して高速で回転するリチウム円盤に照射して、中性子を発生させると報告されています。同装置の第1号機がフィンランドのヘルシンキ大学病院に導入されており、近い将来、同装置の出の臨床研究が予定されています。また、同装置の第2号機が神奈川県湘南鎌倉先端医療センターに導入されると紹介されています。

nuBeamに続く装置としては、米国のBNCT装置ベンチャーであるTAE Life science社が、ロシアの小型加速器中性子源技術(静電型加速器×リチウム)をベースに商用装置を設計製作しています。この装置の1号機が中国・廈門市の病院に導入されることがアナウンスされています。さらにこの装置は、イタリアの粒子線治療に関連する研究機関である“CNAO”にも導入されるとアナウンスされています。これらの装置の他にも、アルゼンチン[11]、韓国、中国、ロシア、イスラエルなどで、主に国の研究機関を中心にBNCT用の加速器ベース中性子照射装置の開発、もしくは検討が進められています。

《まとめ》

近年、難治性がん、再発がんに対する治療法として、BNCTが注目されています。治療に中性子を用いるBNCTは、これまで研究用原子炉を用いて臨床研究が行われてきましたが、治療に原子炉が必要であったため、治療法として確立できませんでした。近年の加速器技術の進展により、BNCTに求められる大強度の中性子を、病院にも併設可能な小型加速器を使って発生することが可能となりました。これを踏まえ、現在、日本を中心に国内外で多くの加速器ベースのBNCT用中性子照射装置の開発整備が進められています。最も先行する住友重機械工業の治療装置：NeuCureは、2020年春に薬事承認され、これにより同年6月から再発頭頸部がんに対するBNCTが保険適用となり、病院で治療が受けられるようになりました。NeuCure

の他にも複数の治療装置が開発整備されており、今後、これらの装置も順次、薬事承認される見通しです。また、頭頸部がんに加えて、悪性脳腫瘍や悪性時髄膜腫、皮膚がんの一種である悪性黒色腫に対する治療も現在、実施されており、近い将来、これらのがんに対しても病院での治療が受けられるようになることが期待されます。今後BNCTは、さらに他のがんへの適用拡大も進むとともに、BNCT施設も広く普及し、難治性がん、再発がんに対する治療法が確立することが期待されます。

参考文献

- [1] G.L.Locher, Biological effects and therapeutic possibilities of neutrons, *Am.J.Roentgenol*, 36, 1-13, 1936.
- [2] 大竹淑恵, 加速器中性子源の利用「小型中性子源による広がる応用－理研RANS－」, *加速器*, 13(4),229-233, 2016
<https://www.pasj.jp/kaishi/cgi-bin/kasokuki.cgi?articles%2F13%2Fp229-233.pdf>
- [3] 本格化するBNCTの最前線, *INNERVISION*,2021年2月号, 38-71,2021
- [4] H.Takada, et al., Experimental verification of beam characteristics for cyclotron-based epithermal neutron source (C-BENS), *Appl. Radia.Isot.*, 69, 1642-1645, 2011
- [5] H. Kanno, et al., Outline of The Pmda's Review For Sakigake Designation Products Boron Neutron Capture Therapy For Head and Neck Carcinoma, *The Oncologist*, 26, 1-6, 2021
- [6] S.Kamada, et al.,Development of target system for intense neutron source of p-Li reaction, *Appl.Radia.Isot.*, 88, 195-197, 2014
- [7] H.Kumada, et al., Project for the development of the linac based NCT facility in University of Tsukuba, *Appl.Radia.Isot.*, 88, 211-215, 2014
- [8] H.Kumada, et al., Evaluation of the characteristics of the neutron beam of a linac-based neutron source for boron neutron capture therapy, *Appl.Radia.Isot.*, 165, 109246-1-6, 2020
- [9] A.Uritani, et al., Design of Beam Shaping Assembly for an Accelerator-driven BNCT System in Nagoya University, *JPS Conf.Proc.* 22, 011002-1-7, 2018
- [10] R.F.Barth, et al., Boron neutron capture

原子力機構におけるイノベーション創出戦略について

(国研) 日本原子力研究開発機構
弥富 洋介

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構(以下「原子力機構」という。)では、『将来ビジョン「JAEA 2050+」』(令和元年10月に策定・公表 [2])で掲げた“新原子力”^{*}の実現に向け、イノベーション創出への取組を強化・加速させるため、令和2年11月にイノベーション創出戦略の改定版(図1参照)を策定し、公表しました[1]。

※新原子力：将来社会への貢献を目指し、社会との双方向の対話とともに以下の実現を目指す取組

- ・一層の安全性向上を含む社会的課題の解決に応える原子力科学技術の構築
- ・他分野との積極的な融合によるイノベーションの創出

具体例として、試験用研究炉JRR-3や大強度陽子加速器施設J-PARCといった原子力機構特有の大型施設に加え、機構の有する一般分析機器等についても外部の方に広く利用していただくため、オープンファシリティプラットフォーム(OFP) [3]を令和3年4月に構築しました。今後、OFPを「共創の場」として活用することで、新たな価値を創造するオープンイノベーションの取組を強化していきます。

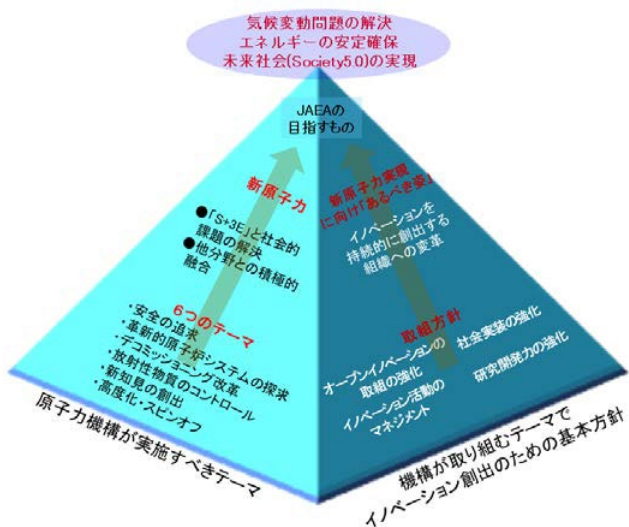


図1 イノベーション創出戦略の考え方

特に、JRR-3とJ-PARCの物質・生命科学実験施設(MLF)等の中性子利用につきましては、両施設の相談窓口を一元化し、ユーザーの利便性向上を目指した中性子利用ポータルサイトを運用しています(図2参照) [4]。

このほかに、イノベーション人材の育成、民間企業等と機構の成果とをつなぐコーディネート活動、ベンチャー育成等の社会実装に向けた取組の強化、組織的なイノベーション活動のマネジメント強化、原子力機構内外との組織対組織の連携による研究開発力の強化等に取り組んでいきます。

原子力機構の設備利用や共同研究等のご相談がございましたら、お気軽にお問い合わせください[3]。皆様のご利用をお待ちしております。

(経営企画部イノベーション戦略室、研究連携成果展開部)

- [1] https://www.jaea.go.jp/about_JAEA/innovation/
- [2] <https://www.jaea.go.jp/JAEA2050/>
- [3] <https://tenkai.jaea.go.jp/ofp/>
- [4] <https://jrr3ring.jaea.go.jp/jj/>



図2 原子力機構の中性子利用プラットフォームのイメージ

J-PARC MLF 情報 / JRR-3 情報

「中性子・ミュオン利用ポータルサイト」を設置しました。

研究用原子炉 JRR-3 の中性子、大強度陽子加速器 J-PARC MLF の中性子、ミュオンを使って、実験・試験を行いたい方のご利用を案内するためのポータルサイトを設置しました（ミュオンについては当面工事中となります）。このサイトは中性子産業利用推進協議会からの意見、提案も踏まえて検討を行ってきたものです：

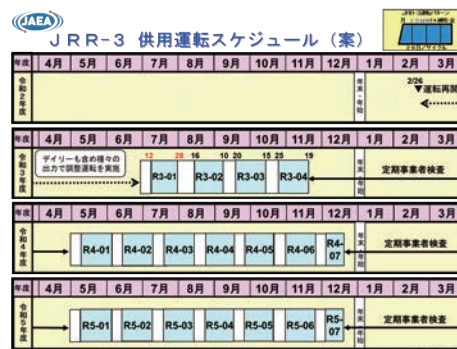
<https://jrr3ring.jaea.go.jp/jjoin/>

それぞれの施設では具体的な利用手続はそれぞれのサイトで運営されていますが、このポータルサイトから、それぞれのサイトへの分かり易く案内しています。また、利用相談、主要成果、そして、測定対象と得たい情報から、測定方法、測定装置をガイドする中性子利用案内チャートもこのサイトに掲示しました。今後利用者の皆様のご意見も更に反映して、より使いやすいサイトとなるよう改良を継続する予定です。

「JRR-3 の供用運転開始」について

JRR-3 は 2020 年 2 月 26 日の運転再開後、供用運転に向けて実験設備等の調整運転を慎重に行ってまいりましたが、調整完了の目途が立ちましたので、供用運転を 7 月 12 日から開始します：

<https://jrr3.jaea.go.jp/images/202106.pdf>



活動報告

◆「運営委員会・研究開発委員会幹事会合同委員会」を開催（2021年5月27日）

中性子産業利用推進協議会の運営委員会・研究開発委員会幹事会の2021年度の第1回の会議を合同会議としてリモートで開催しました。今回の会議においても中性子施設の方々に同席いただき、中性子施設の最近の動向を伺いました。特に今回は協議会から要望していた中性子利用のためのポータルサイトの設置に向けた準備状況など、相互に議論・検討してきたことの具体化に向けた動きについて紹介をいただきました。その上で主要議題である、総会付議資料となる2020年度事業報告・決算報告、2021年度事業計画・予算案の審議、そして、6月末に文部科学省に提出予定の「要望書」の内容についての議論が行われました。また参加者による協議会の運営や中性子施設への要望等についても意見交換、議論を行いました。

◆「電池材料研究会」を開催(2021年6月10日)

産業分野別研究会の一つである「電池材料研究会」を2021年6月10日にリモートで開催しました。この研究会は、急速に市場拡大する二次電池の動向を踏まえ、量子ビームによる解析の成果について紹介し、議論する場として設定しました。今回はその初回として、二次電池の最新動向について知るため、この分野に造詣の深い以下の3名の皆様にご講演を

お願いしました。

「NEDOにおける次世代蓄電池開発」

(国)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)
スマートコミュニティ・エネルギーシステム部
水素燃料電池部
主任研究員 錦織 英孝 様

「拡大するリチウムイオン二次電池市場の現状と課題」

(株)矢野経済研究所
インダストリアルテクノロジーユニット
デバイス&マシナリーグループ 田中 善章 様

「ロボットと機械学習を活用した材料研究戦略」

東京工業大学 学長特別補佐 物質理工学院
教授 一杉 太郎 様

錦織様からは我が国を中心とする技術開発動向、関連する国家プロジェクトについて、田中様からは二次電池および電池材料の国際市場動向について、一杉先生からは、本格的に開始されつつある機械学習とロボットを用いた材料開発の方法論について、それぞれご講演をいただき、大変参考になりました。今回の研究会への参加申込は中性子産業利用推進協議会参加会社74名、協議会以外の民間会社10名、大学教員・学生17名・研究機関28名、合計129名でした。これは近年では最大の参加者数であり、かつ半数以上が協議会会社からの参加で、この分野への関心の高さが改めて示されました。

お知らせ

2021年総会

本年度の総会も書面での開催といたします。準備でき次第、各社様にご案内させていただきます。

産業利用報告会

2021年7月15日(木)午後～7月16日(金)終日に、リモートで開催いたします。プログラム確認、参加申込は下記サイトからお願いします：

<https://neutron.cross.or.jp/ja/events/20210715-16/>
参加申込の締切は2021年7月12日(月) 12:00です。

金属材料研究会

2021年7月27日(火)に開催予定です。参加は中性子産業利用推進協議会会員限定となります。開催詳細は、決定次第、会員企業の皆様にお知らせいたします。

有機・高分子材料研究会

2021年8月3日(火)に開催します。開催詳細は、メーリングリストと協議会のウェブサイトにてご案内しています。

◆リンクのご案内

中性子・ミュオン利用ポータルサイト：<https://jrr3ring.jaea.go.jp/jjoin/>
J-PARC：<http://j-parc.jp/c/index.html>
J-PARAC MLF (Meet @ MLF)：<https://mlfinfo.jp/ja/>
J-PARAC MLF (Meet @ MLF) 成果検索：<https://mlfinfo.jp/ja/reports/published.html>
J-PARC センター ユーザーズ オフィス：<http://is.j-parc.jp/uo/ja/index.html>
茨城県中性子ビームライン：<https://www.pref.ibaraki.jp/sangyo/kagaku/tyusei/bl-top.html>

J-PARC MLF 成果検索：<https://mlfinfo.jp/ja/publications.html>

JRR-3：<https://jrr3.jaea.go.jp/>
JRR-3 Twitter：https://twitter.com/JAEA_JRR3
JRR-3 ユーザーズ オフィス：<https://jrr3uo.jaea.go.jp/>

(一財)総合科学研究機構(CROSS)中性子科学センター：<https://neutron.cross.or.jp/ja/>
J-PARC MLF 利用者懇談会：<http://is.j-parc.jp/MLFuser/>
茨城県県内中性子利用連絡協議会：<http://www.htc.co.jp/neutron/>

季報「四季」編集委員会

委員長 杉山 純(CROSS)
委員 勅使河原 誠(J-PARC)・佐野 亜沙美(J-PARC)・
水沢 多鶴子(CROSS)・富安 啓輔(日産アーク)・
原田 久(ヤマハ発動機)
事務局 日比 政昭・綿引 美知枝(中性子産業利用推進協議会)

※「四季」のバックナンバーは下記のサイトでご覧いただくことができます：
<http://www.j-neutron.com/siki.htm>

中性子産業利用推進協議会(IUSNA) 季報「四季」【21年・夏】Vol.51

発行日 2021年6月25日
発行元 中性子産業利用推進協議会
〒319-1106 茨城県那珂郡東海村白方162-1 いばらき量子ビームセンター D201
TEL:029-352-3934 FAX:029-352-3935 E-mail:info@j-neutron.com
<http://j-neutron.com/>