

# J-PARC MLF 10周年 記念講演

## 1S02 10周年を迎える J-PARC 物質生命科学実験施設 (MLF) の 現状と繊維・高分子科学

(J-PARC MLF) 金谷利治

高エネルギー加速器研究機構 (KEK) と原子力研究開発機構 (JAEA) の共同事業として、大型陽子加速器施設 (J-PARC) は 2001 年より建設が開始された。多額の国費が投入され、2008 年 5 月に物質生命科学実験施設 (MLF) の中性子実験施設で初ビームを観察し、またミュオン実験施設においては 2009 年にビームを迎え入れた。

J-PARC では、陽子を線形加速器(Linac)により 400 MeV まで加速し、早い繰り返しのシンクロトロン (Rapid Cycle Synchrotron) で 3 GeV まで加速する。加速された陽子ビームを物質・生命科学実験施設 (Materials and Life Science experimental Facility、以後 MLF と呼ぶ) に導き、中性子及びミュオン標的に打ち込むことで、世界最高レベルの中性子やミュオンビームを発生し、物質・生命科学研究が行われている。

何故我々は物質・生命科学を研究するのであろうか？物質や生命は原子の集合体であり、原子の集合の仕方、つまり構成原子の種類や空間的な配置の仕方により、様々な機能を持つ材料となり、あるものは生体物質として生命体を形成する。原子の集合体 (凝縮体) は、いかにして材料や生体物質となりうるのであろうか？この問いに答えることができれば、新素材や新薬の開発など、人類のより良い未来を作り出す事ができるはずである。もちろん、答えを出すことは容易ではない。機能が発生するメカニズムを、原子レベルで物質や生体物質を観察することで明らかにすることが不可欠である。MLF では、まさに中性子、ミュオン等を用いた研究により、その夢の目標に向かって進んでいる。

### 1. 中性子実験

中性子は、質量が陽子とほぼ同じでスピンと磁気モーメントを持ち、電氣的に中性な素粒子である。室温付近のエネルギーを持つ中性子の波長は 1 Å 以上で原子間距離と同程度である。よって、中性子は、原子の距離の測定、原子振動エネルギーの測定、磁気構造や励起の測定において、ちょうど良い物差となる。MLF では、25 Hz の周期 (40 ミリ秒間隔) で、数マイクロ秒程度の時間幅を持つパルス状の中性子ビームが供給される。パルス状であることを利用して、飛行時間法という測定手法が主に用いられる。MLF では、図 1 に示すような全 23 の中性子ビームポートが用意されているが、現在 20 本のビームラインに設置された装置が稼働し、共同利用に供されている。さらに現在コミッショニング中の装置が 1 台あるが、これも 2019 年 4 月から共同利用に供される。各装置の詳細については、当日説明する。

### 2. ミュオン実験

ミュオンは、磁石の性質を持つ原子サイズの方位磁針として物質の局所磁場を調べることができ、またミュオン自身が陽子あるいは水素原子の軽い同位体であることに注目し、物質中での水素の周辺環境を調べることができる。MLF ミュオン科学施設では、2010 年の段階ですでに世界最高強度のミュオン発生を達成しており、現在、ミュオン実験は低速 高速ミュオンビームラインにおいて実施されている。図 2 に J-APRC/MLF におけるミュオンビームラインの配置図を示す (建設中の装置も含む)。中性子と相補的に、空間的に乱れた磁気状態の研究に対してもっとも威力を発揮する。

このように、中性子やミュオンを用いて得られる情報には、他の手法では得られないユニークな情報が含まれている。

10<sup>th</sup> Anniversary of Materials and Life Science Experimental Facility (MLF) at J-PARC and of  
Current Status, Toshiji Kanaya, J-PARC MLF, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195,  
Japan, Tel: 029-284-4208, Fax: 029-284-4899, tkanaya@post.kek.jp

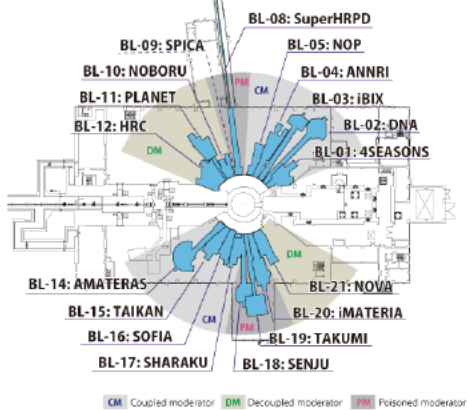


図 1 MFLF 中性子実験装置配置図

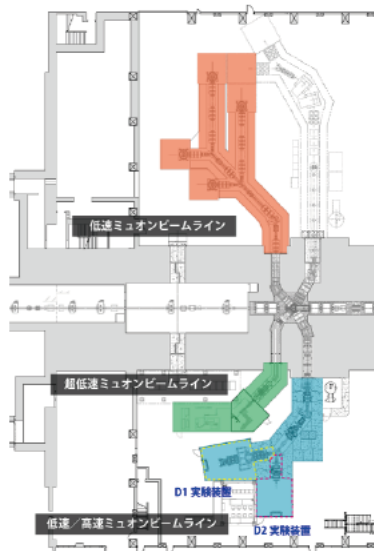


図 2 ミュオンビームライン配置図

### 3. 成果と挑戦

これらの世界にも類稀なる先端の中性子実験施設およびミュオン実験施設においては、多彩な物質・生命研究が行われている。図3に中性子とミュオンの測定によりカバーできる空間と時間スケール、および観測の対象となる幾つかの物質の例を示した。実際、中性子の装置群を用いて、Li 電池材料、燃料電池材料等のエネルギー関連物質、超伝導物質、マルチフェロイック物質、高圧科学、高分子材料、タンパク質等様々な物質について研究が行われ、成果が創出されている。また、中性子という素粒子そのものに関する基礎物理研究も進められている。

ミュオンにおいても、多彩な成果が得られており、例えば、鉄系超伝導体の測定は、新たな超伝導物質開発につながる成果として注目されている。また、電池電極材料中の Li 拡散の観測にも成功している。また、水素貯蔵材料における水素の出入りのメカニズムを明らかにする研究も行われている。

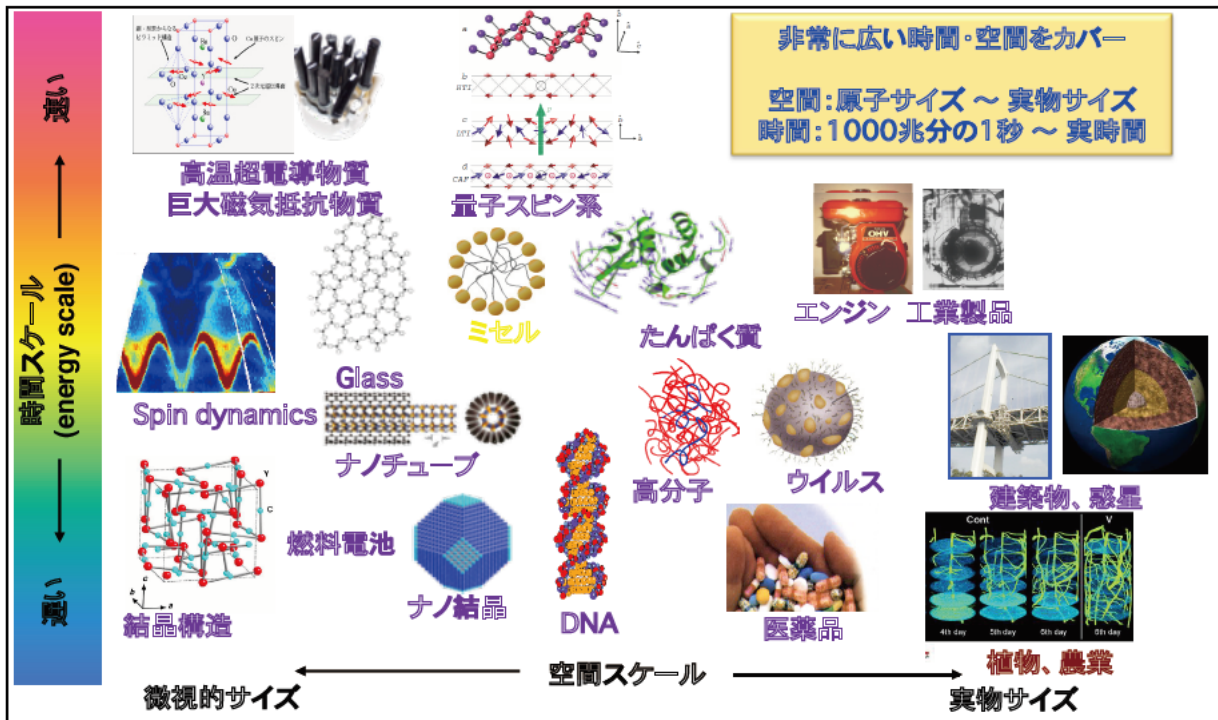


図 3 中性子とミュオンの観測対象と空間-時間スケール

基礎的物性研究に加え、人類が抱える様々な問題の解決も J-PARC/MLF の大きな目標である。現在、人類はエネルギー問題、食糧問題、環境問題、安全・安心で持続的社会的構築など多くの早急に解決しなければならない問題を抱えており、これらの多くは物資・生命科学とその産業応用に直結している。社会におけるこれらの問題の解決に挑戦し、人類社会の維持と発展に大きく貢献することは、J-PARC/MLF の大きな責務である。

#### 4. 繊維・高分子科学への貢献

上述のように中性子、ミュオンは Li 電池材料、燃料電池材料、超伝導物質、マルチフェロイック物質、水素貯蔵材料、金属材料、繊維・高分子材料、タンパク質等様々な物質の研究に利用される。

中性子で繊維・高分子材料研究に多く使われるのは、ナノメートルから数百ナノメートルの長さスケールを測定することができる小角中性子散乱、表面・界面の構造を調べることができる反射率計、結晶構造を観る中性子回折計、アモルファス構造を調べる全散乱装置である。また、中性子では分子の運動を測定することができるため、高分子の遅い運動を観る非弾性散乱装置が用いられることも多い。講演では、中性子・ミュオンにより調べた高分子繊維構造の形成過程、反射率を用いた高分子薄膜の構造、添加物により強化したゴム材料の構造など、繊維・高分子分野に近い研究成果を中心に紹介する。