

小型陽子線加速器を用いた中性子源開発と材料分析への応用

Development of neutron sources using small proton accelerators

and their application to materials analysis

理研 ○小林 知洋, 大竹 淑恵

RIKEN, °Tomohiro Kobayashi, Yoshie Otake

E-mail: t-koba@riken.jp

1. 緒言

中性子による物質のキャラクタリゼーションは、以前より原子炉（研究炉）を用いて行われてきた。特に軽元素に対して高い感度を持つ中性子は、X線と相補的に利用することにより多くの情報を得ることが可能である。測定時間の短縮やS/N比の向上という要求に答えるべく、大強度陽子加速器施設(J-PARC)に物質・生命科学実験施設が建設され、最大23本のビームラインが利用可能である。しかし国内にはそれ以外の大規模施設が存在せず、研究炉の増設も難しいため測定機会は限定されている。小型加速器を用いた中性子源は強度については限定されるものの、これから測定を始めるユーザー、あるいは必ずしも高強度中性子束が必要でないユーザーに対してアクセスが容易な測定環境を提供することが可能であり、今後設置が増加すると予想される。

2. 中性子による材料解析

中性子によって可能な材料解析は、回折、小角散乱、反射率測定、透過イメージング（ラジオグラフィ）などX線による解析法と重なるものが多い。原子間距離レベルに相当する0.1-0.2nm程度の波長に相当するエネルギーはX線では数keVであるが、中性子では10-30meVであり、原子核反応によって発生した高速中性子を減速材で減速して利用する。これらの測定において、X線は電子と相互作用するため電子数の増加（原子番号の増加）に従って散乱強度が高くなる。一方、中性子は原子核との相互作用によって散乱されるため、回折ピーク強度や透過コントラストがX線とは大きく異なる。水素、リチウム、ホウ素等の軽元素において中性子の散乱強度が高いため、軽元素の位置決定は中性子回折が有利である。また、中性子による透過イメージングではX線ではほとんどコントラストが生じない水や油の移動をとらえることが可能である。中性子に特有な分析手法としては、中性子放射化分析(Neutron Activation Analysis, NAA)や中性子即発ガンマ線分析(Prompt Gamma-ray Analysis, PGA)の高感度元素分析が挙げられる。

3. 理研の小型中性子源

当チームでは7MeV陽子線LINACとBeターゲットによる理研小型中性子源システム(RIKEN Accelerator-driven compact Neutron Source, RANS)を2013年より稼働させ、コンクリート内部の非破壊観察（水、空隙、鉄筋腐食、塩分）、鋼板の腐食部分における水の挙動観察、鋼板の応力下における集合組織の挙動解析など実用バルク材料の解析を行っている。また、中性子発生システムの小型化と高速中性子を用いたイメージング技術開発を目的として可搬型加速器中性子源プロトタイプRANS-II（2.49 MeV陽子線LINACおよびLiターゲット、総重量約8t）(Fig.1)を開発し、現在は2台体制で測定を行っている。将来、可搬化によって大型施設の簡易版としての役割にとどまらず、インフラ構造物等の非破壊検査装置や、工場の製造ラインにおける原料・製品検査装置など、全く新しい役割を担うことが可能になると期待している。



Fig.1 Neutron source RANS-II. In the foreground is the shielding with neutron ejection port. Proton LINAC in the back.