

RESA と匠の連携について (要約)

1. はじめに

中性子工学回折装置とは、中性子回折による微小領域の結晶格子観察により、種々の材料、製品加工技術の開発や、検査を可能にする装置である。中性子工学回折装置を用いて得られる情報は、(1)ひずみ及び得られたひずみから計算される応力、(2)微小領域の結晶構造、不純物の種類や量、(3)ミクロ組織構造(例:結晶方位分布、転位密度)などである。これらの情報を得て産業・学術分野に資する目的で、日本原子力研究開発機構研究用原子炉 JRR-3 に中性子残留応力解析装置—RESA、RESA-II—が設置されている。この2台の装置はわが国における中性子産業利用の主要な部分を担っている。さらに J-PARC/MLF(大強度陽子加速器施設/物質・生命科学実験施設)において工学材料回折装置—匠(たくみ)—が建設され、2008年12月より共用が開始される。J-PARC/MLF が実用になる2010年秋までは、RESA と RESA-II の2台の装置が中性子工学回折装置として利用可能であり、この2台の存在意義は極めて高い。RESA/RESA-II は定常中性子、匠はパルス中性子を用いた装置であり、以下に述べるようなそれぞれの特性を生かした使い分けが重要である。

2. 中性子工学回折装置における JRR-3 と J-PARC の役割分担と連携

(1) ひずみ及び得られたひずみから計算される応力

ひずみ及び応力測定を論ずる上で重要な項目は、①ひずみ測定精度、②ゲージ体積、③測定効率の3点である。それ以外の項目、例えば試料の大きさや重量、試料環境等については、RESA と匠の間に顕著な違いはない。

①ひずみ測定精度

ひずみ測定精度は鉄鋼材料の場合、応力に換算して RESA で $\pm 40\text{MPa} \sim \pm 20\text{MPa}$ 、匠で $\pm 30\text{MPa} \sim \pm 15\text{MPa}$ であり、ほぼ互角である。

②ゲージ体積

ゲージ体積(測定領域体積)が小さいほど空間分解能が優秀である。この点で RESA と匠の間に顕著な違いはない。RESA の場合測定体積一辺を1mm以下に絞ることが可能であり、モノクロメータ改造による入射中性子束の増加でさらに改善できる。RESA は装置の構造が簡単のため、設定の自由度が高い。匠においてはゲージ幅2mmのラジアルコリメータが用意され、以後1~5mm幅のものを順次製作する計画である。

③測定効率

熱中性子の JRR-3 の時間平均中性子束は非常に強く、J-PARC/MLF の出力が最大の場合と比較して10倍以上大きい。ただし匠は、パルス当りの中性子束と検出器の立体角から、結果として RESA に比べ2桁の測定効率増になる。J-PARC/MLF の出力が実用強度に達するまでは、RESA を中心に利用される状況が継続する。

匠では、飛行時間(TOF)法の特徴から複数ピークを一度に測定可能であり、この点で RESA に比べ高効率である。しかし RESA に積層集光モノクロメータが導入されれば、ひずみ測定精度を低下させず入射中性子束を増加することが可能となり、匠と比肩できる測定効率が得られる。

(2) 微小領域の結晶構造、不純物の種類や量の同定

微小領域結晶構造の同定のためには、ゲージ体積内の領域に対して粉末回折構造解析を行う必要が

あり、単純な形状の試料において匠は優位である。

複雑な形状を持つ試料では一定のビームパスが得にくいことから RESA、匠とも定量的解析は容易ではない。

(3) ミクロ組織構造の評価

中性子回折法は、試料のバルク平均としてのミクロ組織（例：結晶方位分布、転位密度）に関する情報を得ることができる。

結晶方位分布測定に関しては測定の速さで比較すれば確実に匠が有利であり、*in-situ* 測定など応用は広い。室温大気中での測定では必ずしも匠の性能を必要とせず、RESA の性能で十分な課題も多い。

近年プロファイル解析技術の研究開発により、RESA において転位密度や転位セルサイズ等を評価できるようになった。匠でもプロファイル解析は可能であり、RESA を併用した実測により用意された解析ソフトウェアの最適化を進める。

3. RESA と匠の将来計画

(1) 2011 年度以前

J-PARC/MLF の出力、運転日数に制限があると予想されることから、国内唯一の実用的な中性子工学回折装置として、RESA/RESA-II の存在は貴重である。この 2 台を最大限活用して、産業利用の需要を満たしつつ、新規分野及び利用者の開拓を行うと同時に、装置と測定技術の高度化を行う。また、匠の本格運用に備えて RESA-匠間の実験作業の統一化を進める。運用面では大学の課題に関し、RESA/RESA-II の全国大学共同施設としての利用が始まる見込みである。産業利用に関しては、試験検査会社が測定代行業務を始めている。さらに需要が増加した場合、JRR-3 に民間企業とその合同体が独自に運営できる実験装置の新設も検討に値する。

(2) 2012 年度以降

2012年度以降も2011年までと同様、①産業利用推進、②新規分野開拓、③技術開発を念頭に置いた運営となる。匠の運用も本格化するので、RESAと匠の役割分担と有機的な連携が重要である。匠の高額な利用料金を考えれば、マシンタイムを無駄なく利用するために多くの場合 RESA を併用した事前評価が必要である。両者ともに成果公開であれば費用負担が軽減され、匠が多く利用されるが、匠の成果非公開利用は十分な費用対効果が期待できる場合に限られ、利用料金の安い RESA での非公開課題の利用は依然活発である。また、RESA では民間会社が十分な利益を得て試験代行することも期待される。

4. おわりに

匠の測定効率は高いが、すべての課題に不可欠とは限らず、RESA で有効な成果をあげられる課題も多い。また、試料設定における試行の繰り返しや、測定中のデータの吟味が必要な課題が多く、匠の利用料金が高額であることを考慮すると、匠一台だけでなく RESA の併用が現実的である。自由度の高さ、角度分散の理解の容易さ、安価な利用料金の利点を持つ RESA を今後も有効活用することが利用者にとって最善であると同時に、匠の先端的利用にも貢献することとなり、産業利用の一層の拡大に寄与することが期待できる。