

# 磁気材料分析

## 1. はじめに

中性子の性質として大きく5つが上げられます。一つに「物を通り抜ける能力」、二つに「元素の同位体を見分ける能力」、三つに「マイクロな磁石としての能力」、四つに「物質中の原子の並び方を見る能力」、五つに「物質中の原子の動きを見る能力」です。これらは、中性子の本来の二つの性質、即ち、電気的に中性であることと、磁性（磁気モーメント、スピン）を持つことに由来します。磁気材料分析では、特に、三つ目の「マイクロな磁石としての能力」が強力なツールとなります。

## 2. 磁気材料分析の概要

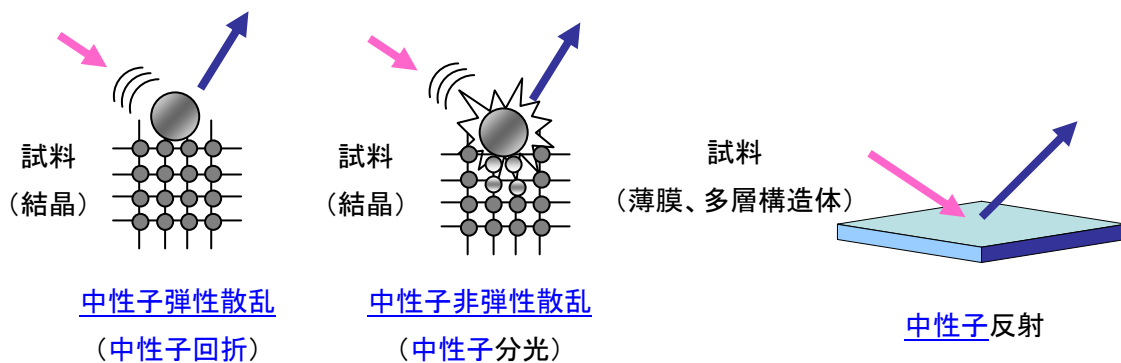
中性子を資料物質に当てて試料としての磁気材料の構造や性質を調べることを磁気材料分析と言います。中性子は磁性（磁気モーメント、スピン）を持ち「マイクロな磁石としての性質」を有するため、試料の磁性材料にぶつかると磁氣的に影響を受けます。この磁性材料から中性子が受けた影響を調べることで、元々の磁性材料の構造や性質を知ることができます。この技術により、超伝導材料、磁性多層膜、磁性薄膜、磁気抵抗材料、ハードディスク、磁気メモリなどの構造や機能発現のメカニズムなどを解析することができ、新しい材料の創成に応用することができます。

J-PARC と KEK では、中性子を使った磁性関連の測定分析に関する装置として、世界トップクラスの11の測定装置の整備と建設が進められています。

## 3. 磁気材料分析の原理

一般的に、物質に照射した波または粒子が物質の影響を受けて各方向に散らばって広がってゆく現象を散乱と言います。光やエックス線を含む電磁波や電子・イオン・中性子等の粒子からなる物質波は散乱現象を引き起こします。

一般的に、中性子が試料としての材料物質により散乱を受ける場合に、材料の原子核による散乱（核散乱）と材料の磁性による散乱（磁気散乱）とに分けられます。前者は主として材料中の原子や分子の空間的な構造や性質、後者は材料の磁性に関する構造や情報を調べるために有用です。



中性子の散乱、回折、反射は、試料材料の原子核、磁気の影響を受ける(情報を反映する)

[散乱](#)および[散乱](#)に関連する[中性子](#)技術を分類すると以下のようになります。

[散乱](#)は、試料の結晶に照射した際に、試料とのエネルギーや運動量のやり取りが生じない[弾性散乱](#)とエネルギーや運動量のやり取りが生じる[非弾性散乱](#)とに大きく分類できます。

[中性子](#)を使った[弾性散乱](#)は[中性子回折](#)と呼ばれ、結晶中の[原子](#)の空間的な配置を調べることが出来ます。[中性子回折](#)の中には、多くの微結晶からなる粉末試料に対応した粉末[中性子回折](#)や小さい[散乱](#)角での測定を行う[中性子小角散乱](#)といったものもあります。[中性子回折](#)や粉末[中性子回折](#)では[磁性材料](#)の単結晶や微結晶での[結晶構造](#)に代表される構造や性質を調べることが出来ます

[中性子](#)を使った[非弾性散乱](#)は[中性子分光](#)と呼ばれ、結晶中の[原子](#)や[分子](#)の動きを調べることが出来ます。[非弾性散乱](#)では磁性の基本となる[スピン](#)の性質を調べる事が出来ます。

膜構造を有する薄膜や多層構造体等の表面や[界面](#)での[散乱](#)・[回折](#)は反射と言われます。反射を詳しく調べることで、それらの材料の構造や性質について知ることが出来ます。[中性子](#)を使った反射率測定がこうした事柄を解析する技術となります。[中性子](#)反射率測定により[磁性薄膜](#)やハードディスクのように多層構造を有する[磁性材料](#)の表面や[界面](#)の構造と性質を調べることが出来ます。

以上、いずれの技術も[磁性材料](#)分析に応用できます。特に、[中性子小角散乱](#)と[中性子](#)反射率測定は[磁性材料](#)の内、微細粒子や多層構造を有する材料や材料の表面や[界面](#)の構造や性質を知る上で重要です。特に、[中性子](#)反射率測定では[ソフトマター](#)と言われる材料の分析に有効です。

表1 [中性子](#)を用いた[散乱](#)、[回折](#)、反射の分類

<a href="#">中性子</a> 散乱・ <a href="#">回折</a> ・反射技術	分かること
<a href="#">弾性散乱</a> ( <a href="#">中性子回折</a> )	結晶の静的構造と性質 ( <a href="#">結晶構造</a> )
<a href="#">非弾性散乱</a> ( <a href="#">中性子分光</a> )	結晶の動的構造と性質 ( <a href="#">原子分子</a> の動き)
粉末 <a href="#">中性子回折</a>	粉末 (多数の結晶) の構造と性質
<a href="#">中性子小角散乱</a>	微細粒子や <a href="#">界面</a> の構造と性質
<a href="#">中性子</a> 反射 (反射率測定)	膜、多層、表面、 <a href="#">界面</a> の構造と性質

#### 4. 技術解説

[J-PARC](#) と KEK では、前述した[中性子](#)を使った磁性関連の測定分析に利用可能な装置として、4SEASONS (四季)、[DNA](#)、SuperHRPD、SPICA、HRC、アマテラス、[大観](#)、[ARISA-II](#) (SOFIA)、写楽、千手、[iMATERIA](#)、と呼ばれる世界トップクラスの11の測定装置の整備と建設が進められています。

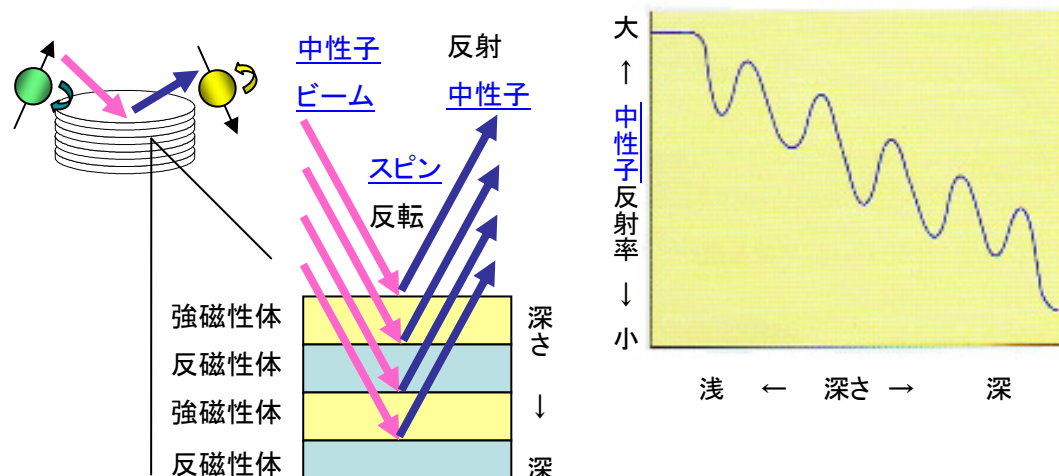
表2 磁性材料の分析に関連する中性子を使った散乱、回折、反射率測定装置

ビームライン	装置名	原理
BL1	<a href="#">4次元空間中性子探査装置</a> (四季)	<a href="#">非弾性散乱</a>
BL2	<a href="#">ダイナミクス解析装置 (DNA)</a>	<a href="#">非弾性散乱</a>
BL8	<a href="#">超高分解能粉末中性子回折装置 (SuperHRPD)</a>	粉末 <a href="#">中性子回折</a>
BL9	<a href="#">特殊環境中性子回折装置 (SPIA)</a> (建設中)	<a href="#">弾性散乱 (回折)</a>
BL12	<a href="#">高分解能チョッパー分光器 (HRC)</a>	<a href="#">非弾性散乱</a>
BL14	<a href="#">冷中性子ディスクチョッパー型分光器 (アマテラス)</a>	<a href="#">非弾性散乱</a>
BL15	<a href="#">大強度型中性子小中角散乱装置 (大観)</a>	小角 <a href="#">散乱</a>
BL16	<a href="#">高性能試料水平型中性子反射率計 (ARISA-II)</a>	反射率測定
BL17	<a href="#">試料垂直型偏極中性子反射率計 (写楽)</a>	反射率測定
BL18	<a href="#">特殊環境微小単結晶中性子構造解析装置 (千手)</a> (建設中)	<a href="#">弾性散乱 (回折)</a>
BL20	<a href="#">茨城県材料構造解析装置 (iMATERIA)</a>	<a href="#">弾性散乱 (回折)</a>

この内、BL17の試料垂直型偏極中性子反射率計(写楽)は偏極中性子を用いた反射率測定と偏極解析が可能な中性子反射率計です。偏極中性子を用いた中性子反射率測定は磁気メモリやハードディスクといった多層構造を有する磁気材料分析に特に有用です。

中性子は磁気モーメント(スピン)を持ちます。磁石のN極とS極のようなもので、磁石の向きとも言えます。通常、中性子のスピンはバラバラな方向を向いていますが、偏極子というデバイスを使うことで、この向きを揃える事ができます。スピンの向きが揃った中性子を偏極中性子と言います。この偏極中性子をハードディスク等の多層構造を有する磁気材料に斜めに照射すると、磁気材料の多層構造の中で中性子は反射・干渉されます。また、材料の磁性の影響を受けて偏極中性子のスピンの向きが反転します。反射干渉の様子を解析し、さらに、スピンの反転の度合いを調べる事で、ハードディスク等の磁気材料の内部構造や磁気構造の情報を非破壊で得ることが出来ます。

中性子ビームの磁気材料界面での反射



## 5. 産業応用の事例

超伝導体の開発と評価、[磁性薄膜](#)の開発と評価、ハードディスク・磁気メモリの設計開発と評価、巨大磁気抵抗の解析、磁性体の構造解析と性能評価、など

## 6. 今後開発が必要な周辺機器・技術

集光装置、集光デバイス、[スピン](#)フィルター、磁気コイル、ガラスセル（ガス用容器）、自動測定用サンプル交換装置、超高真空装置、超低温装置、等

## 7. まとめ

[中性子](#)を使った磁気材料分析について、原理および [J-PARC](#) で整備されている測定装置、産業応用について、技術的な説明を行いました。[中性子](#)を使った磁気材料分析は材料の[結晶構造](#)から薄膜構造のものまで多岐に渡ります。目的に応じて、それぞれの特徴を活かした装置の利活用が重要です。特に、[偏極中性子](#)を使った[中性子反射率計](#)は、ハードディスクや磁気メモリの開発や評価に力を発揮します。[J-PARC](#) のいずれの装置も世界最先端ですので、これらの装置を磁気材料分析に積極的に利活用されることが期待されます。

## 参考文献

- ・ [中性子](#)産業応用事例集 2010、平成22年3月 茨城県
- ・ [大強度陽子加速器施設 J-PARC](#) 物質・生命科学実験施設カタログ、[J-PARC](#) センター
- ・ 「[中性子](#)利用技術移転推進プログラム」における[中性子](#)利用の事例集 財団法人放射線利用振興協会（平成21年3月）
- ・ [中性子回折](#)（星埜禎男責任編集、星埜禎男，国富信彦，浜口由和，渋谷 巖 分担執筆）、共立出版、実験物理学講座 22（1976）

以上