

「中性子光学素子の開発と応用」

(平成12年度～16年度)

1. 研究概要

研究の概要・目標

1. 何を目指しているのか

中性子光学素子の開発を行うことによって中性子の利用効率を飛躍的に増大させ、X線では解析不可能な物質研究領域を開拓する。とくに中性子が不得手とする数ミリ以下の微小試料、微小領域の解析を実現することを目指す。

3年後の目標：

- 屈折光学素子の開発
- 反射光学素子の開発
- 中性子光学がもたらす性能の向上の定式化
- 5年後の目標
- 屈折・反射複合光学系の開発
- 新概念に基づく解析手法の開拓と実証

2. 何を研究しているのか

- 中性子磁気屈折光学
- 中性子物質界面屈折光学
- 中性子反射光学
- 中性子ビーム屈折・反射の複合
- 中性子光学に基づく新実験手法

3. 何が新しいのか

中性子光学という発想自体が世界的にも新規性の高いものである。中性子はX線では解析が困難な生体物質等の軽元素系、とくに水素などの解析では不可欠な観測手段であるが、中性子ビームはX線に比べて極端に弱いために現状では実用的な手段ではない。これを解決するために中性子源を増強するのが世界的な趨勢である。中性子光学による中性子利用効率の向上は中性子源の増強と独立な新しい解決手法である。

諸外国の現状等

1. 現状

中性子光学の研究は個別的に行われている。総合的研究及び応用分野の総合的な開拓などの研究は皆無。

磁気屈折光学素子の研究は皆無。

物質界面屈折光学は米国では基礎研究段階に入ったが、実用段階には至っていない。

反射光学は欧米において実用に供されているが、高性能の素子はきわめて高価である。

複合光学の研究は皆無。

2. 我が国の水準

磁気屈折光学は日本独自の着想で実証され、依然日本の独走態勢にある。

物質界面屈折光学は、日本の精密加工技術の導入により実用化の目途が立ちつつある。

反射光学は以前より日本国内でも開発能力が存在したものの、まとまった投資がなかったため立ち遅れている。

最近、国内の研究者間において重要性が認識され、関係研究者が中性子光学等を駆使した次世代型の中性子解析手法の開発に協力して当たるという流れが出来ている。

研究進展・成果がもたらす利点

1. 世界との水準の関係

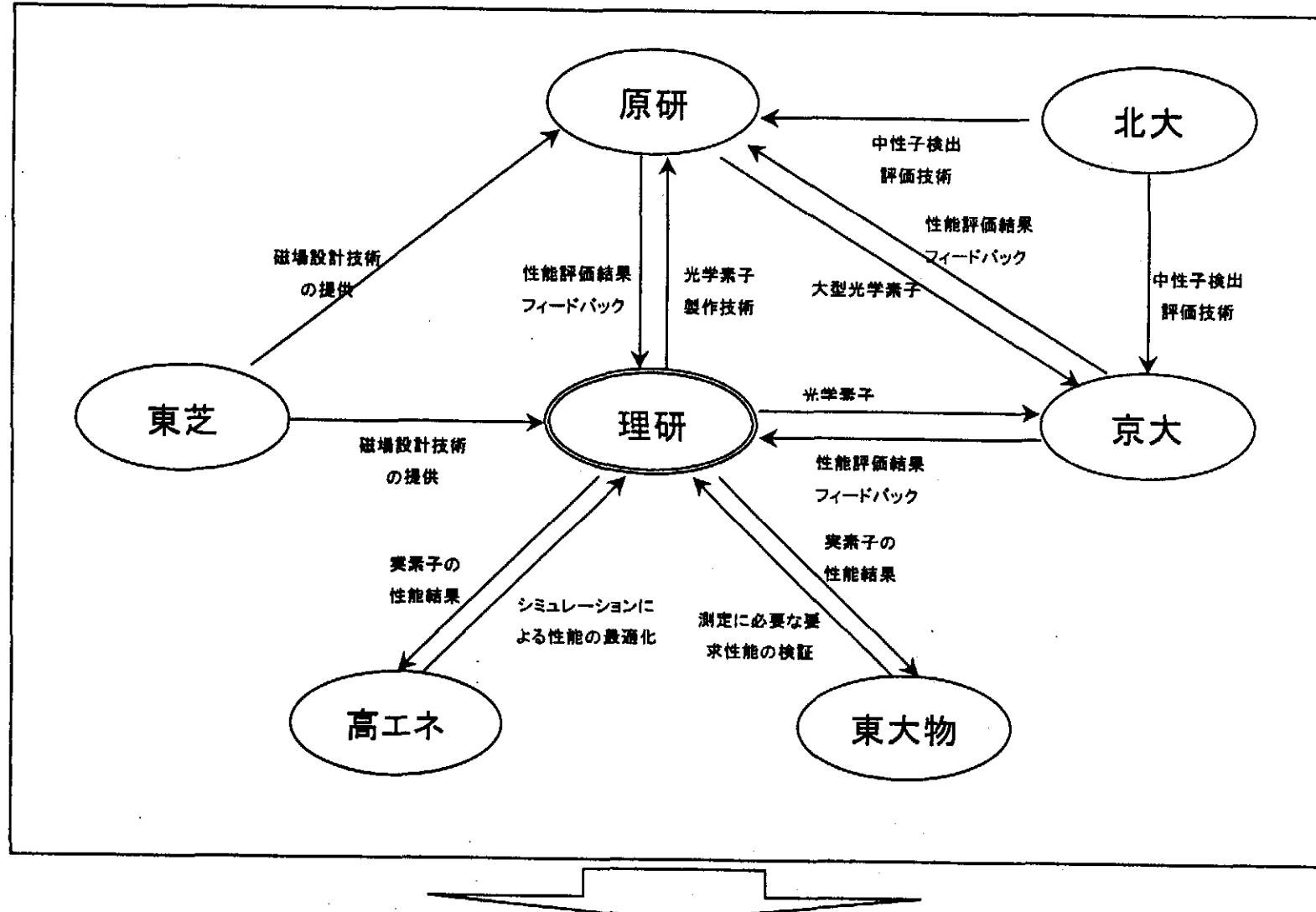
磁気屈折光学は着想及び実現方法が日本独自で、日本の独走状態である。物質界面屈折光学は日本の精密加工技術の導入により、高効率化に目途がたちつつある。このような高効率化は日本独自のもので、実用レベルではまもなく日本が先端に躍り出るものと思われる。これらに支えられ、総合的な研究を遂行する日本の潜在的能力は極めて高い。今、国内の研究能力を結集すれば、世界をリードする技術に発展する可能性が極めて高い。

2. 波及効果

高効率中性子解析技術は、X線では解析が困難な生体物質などの軽元素系、とくに水素などの解析に不可欠なものとなると考えられる。タンパク質分子の形状や変形など、タンパク質の機能に關係する動的性質の理解に必要な励起状態の解析が可能になる。

中性子は極めて透過力が高いため、バルク上の試料全体についての情報を引き出すことが出来、微小領域をスキャンして、材料内の応力分布の3次元的マップを詳細に取得することが可能になる。また、工業製品をそのまま透視したり、考古学的試料の内部を透視したりすることが容易に行えるようになる。

また微量元素分析、あるいは微量同位体分析に有効な即発ガンマ線分析では、中性子光学による中性子強度増加が分析精度の向上に直結する。



実用レベルの中性子光学素子の製作技術及び最適化設計技術の確立

2. 所要経費

科学技術振興調整費課題「中性子光学素子の開発と応用」の実施体制及び所要経費(第Ⅰ期)

研究項目	担当機関等	担当者(H13)	(千円)		
			平成12年度 所要経費	平成13年度 所要経費	平成14年度 所要経費
1. 中性子光学素子製作技術に関する研究	文部科学省 研究振興局 理化学研究所(委託)	清水 裕彦	180,497	100,092	190,087
2. 中性子光学素子単体性能評価に関する研究	京都大学原子炉実験所	川端 祐司	47,489	164,308	69,938
3. 中性子光学システム性能評価に関する研究	文部科学省 研究振興局 理化学研究所(委託)、日本原子力研究所(再委託)	鈴木 淳市	53,564	105,433	48,382
4. 中性子光学素子評価手法の開発に関する研究	北海道大学工学研究所	鬼柳 善明	22,179	29,171	30,419
5. 中性子光学最適化シミュレーションに関する研究	高エネルギー加速器研究機構	古坂 道弘	9,115	9,864	12,982
6. 中性子光学実験用性能の理論的定式化に関する研究	東京大学物性研究所	藤井 保彦	8,297	8,466	4,136
7. 中性子超伝導磁気光学素子製作の基礎に関する研究	文部科学省 研究振興局 理化学研究所(委託)、(株)東芝(再委託)	蛭町 多美子	22,666	4,577	83,340
8. 研究運営	文部科学省 研究振興局 理化学研究所(委託)	清水 裕彦	7,088	10,707	10,644
所要経費(合計)			350,895	432,618	449,928

3. 研究成果の概要

光学素子の評価作業は光学素子の性能を向上させるために不可欠であるが、極めて時間のかかる作業であり、研究上有用な装置は研究機関の枠組みを越えて互いに使用できる体制を組む必要がある。したがって複数の機関において素子評価作業を行っているか、互いに重複しているわけではなく、互いに補いあって素子開発の迅速化を図るものである。

当初目標に沿った成果を以下に示す。なお、番号は個別項目ごとに設定した目標と対応している。

- (1) 多層膜中性子反射ミラーの開発及び評価のための装置を導入し、優れた全反射臨界角の多層膜中性子ミラーの製作を行った。また、屈折光学素子を設計し、評価実験を行った。
- (2) 京都大学研究炉に中性子光学素子単体評価装置を導入した。これにより、素子の単体性能評価活動を行い、各機関の効率的研究推進に寄与した。また、従来の蒸着法やマグネットロンスパッタ法に比して精密な膜圧制御を行える成膜装置を導入し、優れた特性を持つ多層膜構造の作成を可能とした。
- (3) 各機関と協力して素子の評価を行った。また、ビームラインを構成するために必要な機器を導入し、中性子光学システムの評価が行えるビームラインを整備した。
- (4) 時間分解能を持ったリアルタイム中性子画像取得システムとして飛行時間法用ファイバー型高位置分解能中性子検出器を開発した。これを用いたデモンストレーションとして、ラジオグラフィー測定を行い、高分解能を示す良好な画像が得られた。また、ガス型の2次元位置敏感型検出器を飛行時間法で使うための開発も行った。
- (5) あらゆる光学素子を組み合わせたシミュレーションのためのプログラムをサイバーフレームワークを用いて開発した。また、その結果を表示するために、あらゆる位相空間で表示できるモジュールを開発した。
- (6) 各種光学素子の性能総合評価指標の定式化に関して、実用化に向けて各種中性子左案蘭装置が要請する中性子ビームの品質度を評価する方法を確立することが重要である。そのためには各種中性子散乱装置の性能調査研究を行った。
- (7) 超伝導磁気光学素子のコイルとして、入手可能な超伝導線材の調査結果および超伝導磁石の概略磁場解析結果から鞍型NiTiコイルを提案した。模擬コイルを製作し、性能を評価した。その結果を踏まえて、超伝導6極電磁石の設計を行った。

4. 研究成果公表等の状況

【研究成果発表等】

	原著論文による発表	左記以外の誌上発表	口頭発表	合計
国内	0 件	12 件	74 件	86 件
国外	28(16) 件	11(1) 件	26 件	65(17) 件
合計	28(16) 件	23(1) 件	100 件	151(17) 件

(注：既発表論文について記載し、投稿中の論文については括弧書きで記載のこと)

【特許出願等】 0 件

【受賞等】 0 件

【主要雑誌への研究成果発表】

Journal	Impact Factor	合計
Phys. Rev. B	3.070	1
J. Appl. Crys.	2.583	3
Appl. Phys. B	1.722	5
J. Phys. Soc. Jpn	1.268	1
Nucl. Instr. and Meth. A	1.026	2
Physica B	0.663	3
主要雑誌小計		15
発表論文合計		44