

# 「X線極限解析装置の研究開発」

## 1. 研究概要

### 研究の概要・目標

#### 1 何を目指しているのか

小型で超高感度・高エネルギー分解能のX線極限解析装置の実現を目指す。

#### 5年後の目標

●X線極限解析装置として蛍光X線吸収端微細構造解析装置および軟X線分析装置の試作と実証実験。

#### 2 何を研究しているのか

X線の集光・単色化・結像の性能を高度化するX線ホログラム光学素子の開発及びX線を超高感度に検出する超伝導接合素子の要素技術開発を行い、両要素技術を統合してX線極限解析装置を設計製作する。

#### 3 何が新しいのか

広範な研究分野における基本的研究手段であるX線解析の応用範囲を極限的に広めるために、必要な入射X線を効率よく選択・集光する高機能型X線ビーム光学系と、高エネルギー分解能を持ちシグナルを効率よくとらえる超伝導検出系を組み合わせて、従来よりも4-300倍の感度を持つ極限的なX線解析を行う装置を開発する。

### 諸外国等の現状

#### 1 現状

国内を含めて諸外国で当課題のような光学素子及び検出素子の両方を開発する取り組みはない。

超伝導接合素子においては、欧米で開発研究が行われているが、いずれも研究レベルにとどまっており、一般的なX線解析への応用には至っていない。

#### 2 我が国の水準

光学素子、超伝導接合素子の要素技術については、本研究グループが世界でも有数のレベルにあるが、X線解析という観点では、諸外国の現状と比較して我が国は出遅れている。

### 研究進展・成果がもたらす利点

#### 1 世界との水準の関係

本課題の光学素子及び超伝導接合素子の製作要素技術については既に世界でも有数のレベルのものを製作可能な技術を有する。従って、両要素技術の高度化を進めるとともに、設計・製作・評価方法の開発も含めて研究開発することにより、世界の最先端レベルに到達することができる。そして、両素子の特長を活かして両者を有機的に結びつけることによって、世界的にも例のないX線解析を実現できる。

#### 2 波及効果

超高感度X線解析を可能とすることから、蛍光吸収端微細構造解析や極微量分析をはじめとして、広範なX線解析技術の高精度化を実現する。

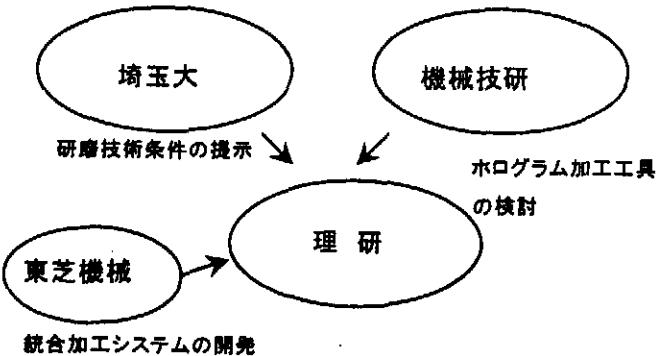
また、本研究開発で開発する各素子は、それぞれ世界レベルのものであり、本研究開発を通じて高性能化・高機能化を図ることによって、波及効果として、材料工学における評価手法、物理学、天文学、医学等の様々な分野での利用が可能となる。

(平成9年度～13年度)

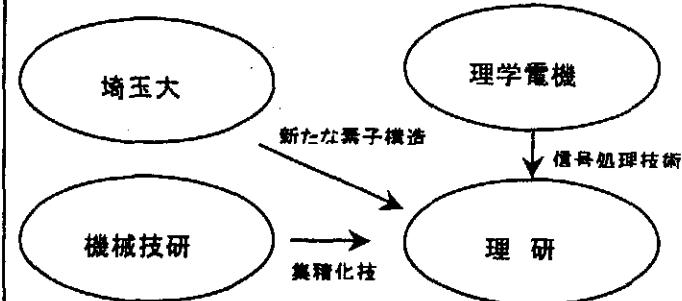
研究体制：理化学研究所他5機関

## 研究体制

### (1) X線ホログラム光学素子の開発



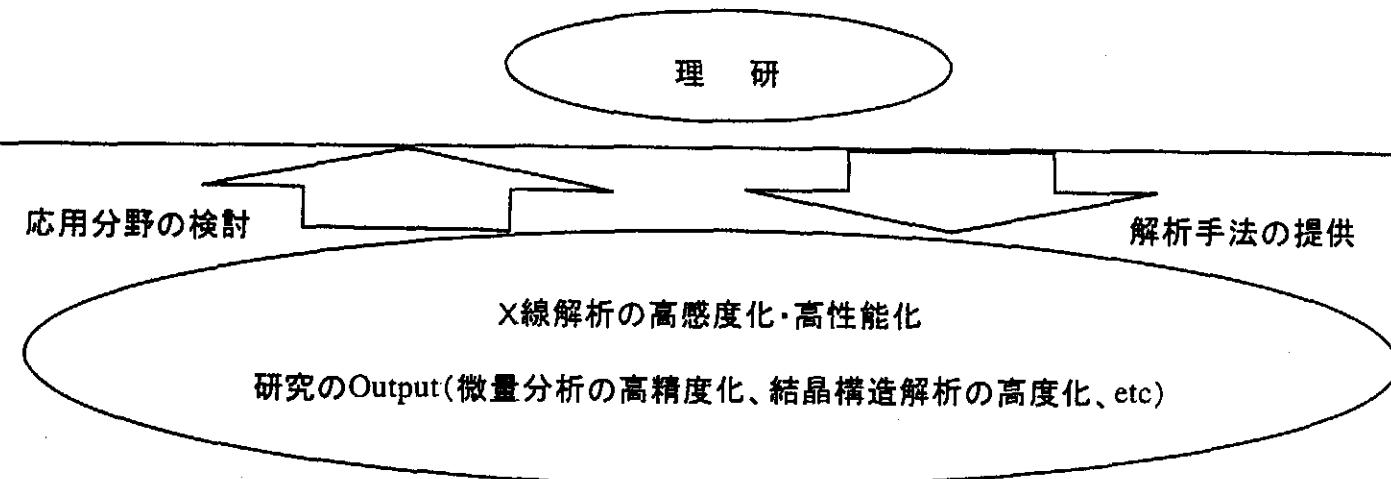
### (2) 超伝導接合素子の開発



詳細仕様の検討 ↑ ↓ X線ホログラム光学素子の提供

詳細仕様の検討 ↑ ↓ 超伝導接合

### (3) X線極限解析装置の応用及び設計・試作に関する研究



## 2. 所要経費

科学技術振興調整費課題「X線極限解析装置の研究開発」の実施体制及び所要経費

| 研究項目                     | 担当機関等                                | 担当者(H13) | (千円)          |                |                |                |                |
|--------------------------|--------------------------------------|----------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                          |                                      |          | 平成9年度<br>所要経費 | 平成10年度<br>所要経費 | 平成11年度<br>所要経費 | 平成12年度<br>所要経費 | 平成13年度<br>所要経費 |
| 1. X線ホログラム光学素子に関する研究     |                                      |          |               |                |                |                |                |
| (1)X線ホログラム光学素子加工技術に関する研究 | 文部科学省 研究振興局<br>理化学研究所(委託)<br>埼玉大学工学部 | 大森 整     | 66,867        | 132,941        | 117,368        | 73,481         | 105,263        |
| (2)非球面の超平滑加工技術に関する研究     |                                      | 河西 敏雄    | 4,512         | 2,993          | 4,360          | 5,009          | 5,112          |
| (3)微細表面形状の加工・計測技術に関する研究  | 経済産業省 産業技術環境局<br>独立行政法人産業技術総合研究所(委託) | 服部 光郎    | 4,097         | 3,751          | 3,920          | 3,924          | 2,745          |
| (4)総合加工システムの開発に関する研究     | 文部科学省 研究振興局<br>理化学研究所(委託)、東芝機械株(再委託) | 田中 克敏    | 5,064         | 2,602          | 3,354          | 2,321          | 5,089          |
| 2. 超伝導接合素子に関する研究         |                                      |          |               |                |                |                |                |
| (1)素子の製作及び評価に関する研究       | 文部科学省 研究振興局<br>理化学研究所(委託)            | 清水 裕彦    | 184,774       | 87,885         | 104,459        | 57,080         | 53,562         |
| (2)素子の高性能化及び配列に関する研究     | 経済産業省 産業技術環境局<br>独立行政法人産業技術総合研究所(委託) | 赤穂 博司    | 29,179        | 34,766         | 34,638         | 21,285         | 26,368         |
| (3)素子構造材料最適化に関する研究       | 埼玉大学工学部                              | 高田 進     | 12,490        | 13,461         | 14,079         | 8,131          | 9,905          |
| (4)信号処理専用回路系に関する研究       | 文部科学省 研究振興局<br>理化学研究所(委託)、理学電気株(再委託) | 木野 幸治    | 10,450        | 10,307         | 11,029         | 8,699          | 9,587          |
| 3. X線極限解析装置の応用に関する総合的研究  | 文部科学省 研究振興局<br>理化学研究所(委託)            | 清水 裕彦    | 3,452         | 15,621         | 16,017         | 129,403        | 69,458         |
| 4. 研究運営                  | 文部科学省 研究振興局<br>理化学研究所(委託)            | 大森 整     | 9,826         | 25,875         | 26,828         | 12,896         | 12,119         |
| 所要経費(合計)                 |                                      |          | 330,511       | 330,202        | 336,052        | 320,229        | 299,208        |

### 3. 研究成果の概要

高機能X線ビーム光学系を実現するために、高精度X線ミラーおよびホログラムの加工ができるメイシンフレームを構築し、X線光学素子の超精密形状加工、スーパースムーズポリシング、ホログラム加工、工具修正・整形、加工面の洗浄評価および各種機上測定などの要素技術の研究と統合化を行い、計画通りの成果を達成していることはもちろん、世界に類のない統合加工・測定システムのための新技術の確立ができた。

一方、エネルギー分解能に優れたX線検出系を実用化するための要素技術の開発では、超伝導トンネル接合素子作製専用プロセスライン、素子性能評価システムを構築し、素子の作製から性能評価を経て結果を次の作製に迅速にフィードバックできる体制を整えた。これは、超伝導X線検出器の作製から評価にいたるまですべて一つの研究所で行えるという意味で、世界的にもほとんど唯一と言ってよいものである。その結果、本研究によって確立した技術を用いることにより、X線解析装置に対して極限的な性能が求められる科学・産業の分野において、現在の主流である半導体検出器の性能をはるかに凌駕する、幅広いエネルギー範囲に適応可能かつ高エネルギー分解能な超伝導検出器が提供可能となる基盤が整ったと言える。

これらの成果を用いて、従来の分光器と検出器を組み合わせたX線解析装置に比較し、高効率なシステムを構築できたことで、従来、放射光施設などの高輝度X線を利用しないと出来なかつた実験を簡便に行えることを実証した。

### 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 | 33件       | 5件        | 130件 | 168件 |
| 国外 | 39件       | 1件        | 35件  | 75件  |
| 合計 | 72件       | 6件        | 165件 | 243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】 21件 (国内 21件、国外 0件)

【受賞等】 2件 (国内 1件、国外 1件)

10<sup>th</sup> ICPE Outstanding Poster Award :

Effect of polishing pads in the process of large optical element finishing  
平成13年7月

林 健民、大森 整、山形 豊、守安 精、劉 長嶺、河西 敏雄

2001年度 日本機械学会生産加工・工作機械専門優秀講演論文表彰：  
超精密6軸加工機による自由曲面ホログラム光学素子のマイクロ切削加工  
平成13年11月

【主要雑誌への研究成果発表】（インパクトファクター評価誌）

| Journal   | Impact Factor | サブテーマ1              | サブテーマ2            | サブテーマ3             | サブテーマ4            | サブテーマ5          | サブテーマ6            | サブテーマ7          | サブテーマ8        | 合計 |
|---|---------------|---------------------|-------------------|--------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|---------------|----|
|   |               | ホログラム光学素子加工技術に関する研究 | 非球面の超平滑加工技術に関する研究 | 微細表面形状の加工・計測に関する研究 | 統合加工システムの開発に関する研究 | 素子の製作及び評価に関する研究 | 素子の高性能化及び配列に関する研究 | 素子構造材料最適化に関する研究 | 信号処理回路系に関する研究 |    |
| Sensors and Materials                               | 0467          |                     |                   | 1                  |                   |                 |                   |                 |               | 1  |
| The IEICE Transaction on Electronics                | 0529          |                     |                   |                    |                   | 2               |                   | 1               |               | 3  |
| IEEE Transactions on Applied Superconductivity      | 1278          |                     |                   |                    |                   | 7               | 1                 |                 |               | 8  |
| Nuclear Instruments and Methods in Physics Research | 1041          |                     |                   |                    |                   | 3               |                   |                 |               | 3  |
| Nuclear Physics B                                   | 6226          |                     |                   |                    |                   |                 | 1                 |                 |               | 1  |
| Applied Physics Letters                             | 3849          |                     |                   |                    |                   | 1               |                   | 1               |               | 2  |
| Journal of Vacuum Science and Technology            | 1549          |                     |                   |                    |                   |                 | 1                 |                 |               | 1  |
| Surface Review and Letters                          | 0986          |                     |                   |                    |                   | 1               |                   |                 |               | 1  |
| Physica C   | 0806          |                     |                   |                    |                   |                 | 1                 | 1               |               | 2  |
| 主要雑誌小計  | 9誌            |                     |                   |                    |                   |                 |                   |                 |               |    |
| 発表論文合計  |               |                     |                   | 1                  |                   | 14              | 4                 | 3               |               | 22 |