

【大阪ニュークリアサイエンス協会賞 受賞論文概要】

## 超電導小型SR装置を用いた

### 軟X線SR-CT法の開発

住友電気工業株式会社 播磨研究所 片山 誠  
高田 博史

#### 1. 緒言

X線CT（コンピュータトモグラフィ）は、医療用のCTスキャンに代表される検査技術であり、検査試料の複数のX線透過像から断面の像を再生するものである。

工業材料のCT装置としては、X線管球や中型SR装置から得られる10keV以上のエネルギーの硬X線を光源としたものが使用されている。これにより、コンデンサ等の製品検査や合金基複合材料の応力破断メカニズム解明など、内部状態の観察が可能になっている。

近年の材料開発の進展に伴い、このX線CTの手法を用いてポリエチレン等軽元素材料中の異物やポイド、添加物の拡散・偏析の様子など、従来の硬X線ではコントラストが不足し、観察できない対象の検査が必要となってきた。コントラスト向上には、よりエネルギーの低い軟X線（1～10keV）の単色光源を用いる必要がある。

小型SRは、軟X線領域で強い放射特性をもつ白色の光源であり、光線の広がり十分小さく、X線像のぼけが小さい、空間・時間的にも強度が安定している等、CT光源としてふさわしい性能を有している。

このような背景により、当社では自社開発・社内設置の小型SR装置「NIJI™-Ⅲ」（図1）を光源として用い、各種軽元素材料検査が可能な軟X線CTシステムの開発を行なった。

#### 2. システムに要求される性能

軽元素材料検査に必要な軟X線CT検査システムの性能は以下の3つにまとめられる。

- (A) 20 $\mu$ mの解像度が得られること。
- (B) 1回のX線像撮影に要する時間が2秒以内であること。
- (C) 5%以下のコントラスト分解能を有すること。

(A) はSR光の広がりや撮像装置の時間分解能により決まる。ビームエミッタンスと角度広がりからの計算される画像のぼけは「NIJI™-Ⅲ」の場合5 $\mu$ m以下と小さいため、解像度は撮影装置の性能によって決まる。(B) は撮影画像数を200とした場合に10分程度で撮影を終了するために必要な性能であり、本システムの場合にはビームライン長を2mにまで短尺化し、光強度を上げる必要がある。(C) は、分光器の単色性と取り出せる軟X線のエネルギーによって決まる。

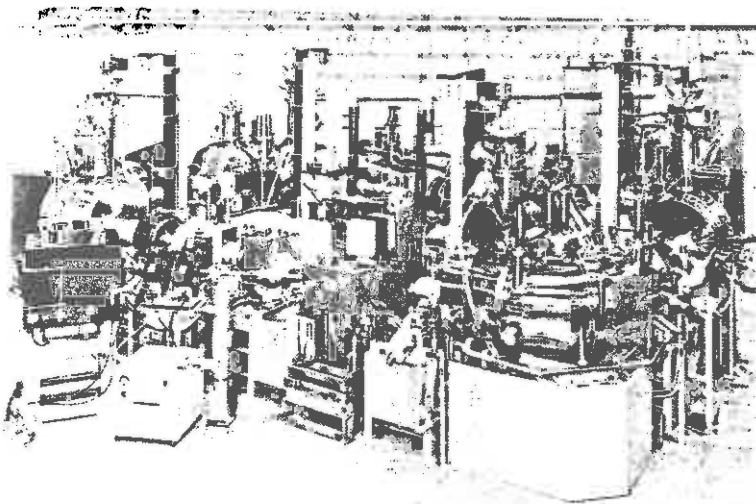


図1. 小型SR装置「NIJI™-Ⅲ」概観

単色性が悪いとCT像に濃度むらが発生するため  $\lambda/\Delta\lambda = 500$  程度の波長分解能が必要となる。また、造影に必要なX線のエネルギーは試料の組成によって異なり、軽元素材料の場合、3~8 keV の領域が自由に取り出せる分光器が必要となる。

### 3. 開発概要

#### 3-1 撮像装置

軟X線領域の画像を高感度、低ノイズ、低歪みで撮像でき、かつデジタルデータとして高速に取得できる撮像装置としては、MCP (マイクロチャンネルプレート) を用いた近接型光電子増倍素子で軟X線を可視光に変換し、これをCCDで読み取る方式が優れている。市販品の場合には約50  $\mu\text{m}$  の空間分解能しか得られないが、この空間分解能は近接型光電子増倍素子内での電子の空間拡がりによって決まっており、主にMCPのディメンジョンを最適化することで向上が図れる。

撮像装置の断面模式図を図2に示す。近接型光電子増倍管内部での電子や光のふるまいを計算するモンテカルロモデルを作成し、各部の最適化を行なった結果、計算では17  $\mu\text{m}$ 、実測では15  $\mu\text{m}$  の空間分解能が得られた。

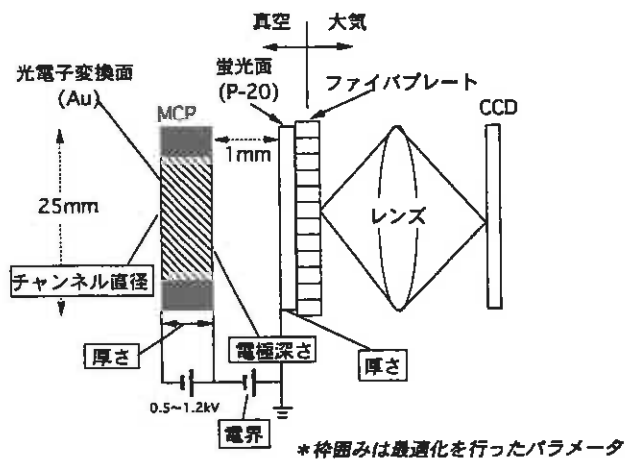


図2. 撮像装置模式図

#### 3-2 ビームライン

通常のビームラインでは、差圧維持のため上流部にBe等による圧力隔壁を設置する。しか

し、本ビームラインでは全長が短く、設置したBeがSR照射による熱で破壊する恐れがあるため、隔壁のない構造としている。SR装置と分光器の間に生じる圧力差は、真空容器とイオンポンプからなる差圧維持機構により保持している。差圧排気特性計算に基づく真空容器形状の設計を行ない、2桁の差圧維持を可能にしている。

#### 3-3 分光器

分光器は駆動方式をゴロブチェンコ方式とし、結晶保持部、微調機構の簡素化、クリアランスの見直し等をはかり容量を従来の約1/2とし、回転機構部への磁性流体シールの採用、駆動部のオイルフリー化により、 $10^{-9}$ Torr台の超高真空を達成している。波長分解能に関しては、金属薄膜の吸収端測定により5 keV 近傍で700、9 keV 近傍で1000を得ている。

### 4. 開発したシステムと測定例

ビームラインおよび撮像装置の全体を図3に示す。

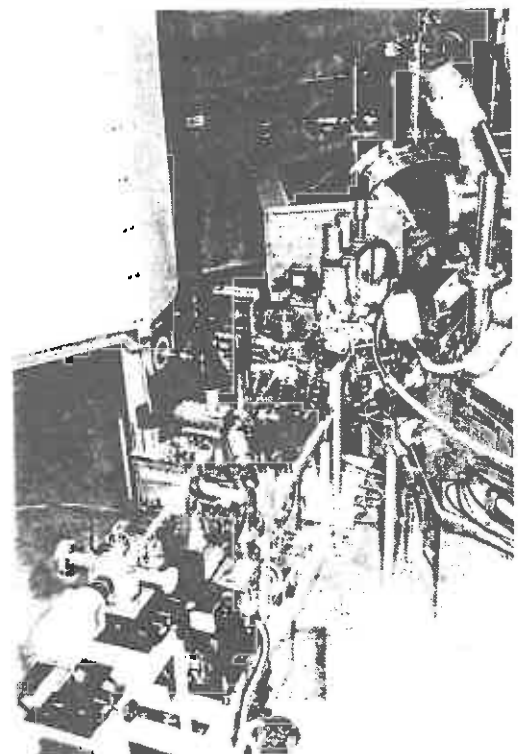


図3. ビームライン

ボイドの混入したポリエチレンサンプルを用いて微小ボイドのCT造影テストを行なった。

ポリエチレンは円筒形状のものを用いた。図4は直径10 $\mu$ m、球形微小ボイドのCT造影結果である。中央付近の黒い部分がボイドであり、良好な再生が行なわれているのがわかる。

## 5. 結 言

軽元素材料の非破壊検査を目的として、軟X線SR-CTシステムの開発を行なった。これを用いたポリエチレン中のボイド再生試験では、直径10 $\mu$ mのボイドのCT造影に成功するとともに、3次元CTも行なえることを確認した。

今後は、光学系の改良による空間分解能の向上、撮像系の高性能化によるより高コントラスト化、より長い波長での適用検討などをはかり、この技術がより広い分野で利用されるよう努力して行く所存である。

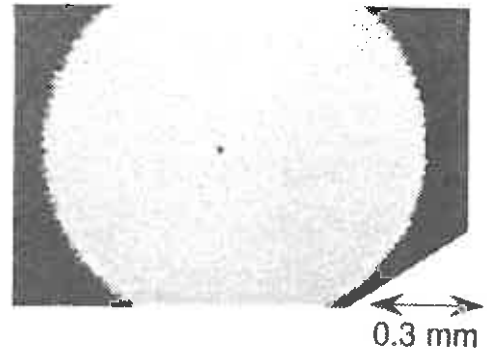


図4. ポリエチレン中のボイド (10 $\mu$ m)



## 【トピックス】

### 高校生の「エネルギーと環境」に関する意識

日本原子力文化振興財団では昨年9月に実施した高校生に対するアンケートの結果をまとめた。2671名から回答があり、今後の学校教育内容の改善等にも反映させるのが目的である。

調査の結果を概観すると

- ① エネルギーや環境問題に関する情報源はテレビ、新聞であり、学校の授業と答えたのは39.6%に過ぎなかった。
- ② エネルギーや環境問題について授業を受けたものは56.1%と欧米諸国に比して低い。また、印象に残っている授業は「地理」「現在社会」「保健体育」と深刻な「理科」離れがみられる。
- ③ 94年度から取入れられた「環境」教育は、廃棄物問題や自然環境保全が中心で、エネルギー問題が切り放されている。
- ④ 今後望ましいエネルギー源として「太陽光」と答えたのが68.4%、「原子力」と答えたものは10.0%にとどまった。
- ⑤ 最近問題となった環境問題について不安を感じ

ているのは「地球温暖化」と答えたのが20.6%、「オゾン層の破壊」が17.0%、「森林破壊・砂漠化」が14.1%、「遺伝子組換による生態系変化」が13.7%、「原子力施設の事故による放射能汚染」が10.3%であった。

- ⑥ 今後の原子力発電について「減らしていく」と答えたのが40.1%、「現状維持」が23.2%、「増やしていく」が16.1%であった。
- ⑦ 減らす理由としては「安全でない気がする」49.7%、「十分な安全対策が取られていない」が26.1%と不安を訴え、増やす理由は「石油・石炭が不足するから」が60.8%、「原子力は炭酸ガスを出さないから」が22.0%となっている。
- ⑧ 原子力発電のメカニズムについては「核分裂して熱を出す」と正解したのが35.9%、「水素と反応して熱を出す」が21.5%、「電子にぶつかって熱を出す」が19.9%と理解が低い。

(日刊工業新聞社発行「原子力Eye」による)