

1. はじめに

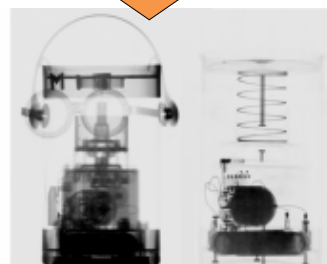
物質を透過する光を利用して物質内部を観察する技術としては X 線 CT が有名ですが、ここで解説する中性子線ラジオグラフィも同様の技術です。中性線には X 線とは違った特徴があり、近年非破壊検査技術としても注目されています。本解説では、中性子線ラジオグラフィ技術の概要とその応用例について記します。

2. 概要

中性子線ラジオグラフィとは、中性子線の持つ物質を通り抜ける性質を利用して、物の内部を観察する方法のことです。この性質はレントゲン撮影に使われる X 線と同じです。中性子線と X 線とでは通り抜けやすい物質が違うので、それぞれの特質に合った観察対象が選ばれます。中性子線は水素や炭素など軽い元素を含んだ物質の観察に適していることから、機械の中を移動する燃料やオイルの様子、生物中の水分の移動の観察などに使われています。JAEA では3号炉（JRR-3）の中性子線を用いています。



見え方の違い



中性子線 X線

図 1 中性子線と X 線による観察結果の違い

3. 中性子線ラジオグラフィの原理

中性子線ラジオグラフィはレントゲン撮影と同じ原理で、物質内部の影絵を見ているのと同じです。中性子線を物質に照射すると中性子線は物質を通り抜け、物質の裏側へと出て行きます。ところが、中性子線の一部は物質内部で吸収されたり反射したりするため、裏側で見ると物質の様子が濃淡を持つ影絵のように映し出されます。これが中性子線ラジオグラフィの原理です。

図 1 に中性子線ラジオグラフィの原理図を示します。試料を透過した中性子線は暗箱の中を通り、レンズを介して CCD カメラや高速ビデオカメラに投影され、画像として撮影されます。

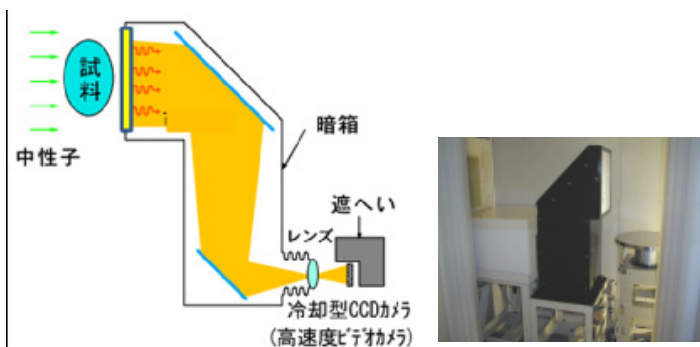


図 2 中性子線ラジオグラフィの原理と装置

4. 技術解説

4. 1 中性子線ラジオグラフィの特徴

中性子線は X 線と同じように物質を透過する性質をもっています。これを利用すれば、X 線がレントゲン撮影に用いられているように、中性子線も透視撮影に用いることができます。

しかし、中性子線と X 線では物質を透過する性質が異なるため、撮像結果には違い

が生じます。物質を光が透過する際の性質を示す指標として吸収係数が用いられる。吸収係数とは光が物質中を透過する時に吸収される割合を示すもので、吸収係数が高いとコントラストの高い明瞭な画像を得やすくなります。

図3に、中性子線とX線の原子番号による物質級数係数の比較を示します。これによると、中性子線は水素（H）やリチウム（Li）、水（H₂O）といった軽い元素の吸収係数が高く、X線は重い元素ほど吸収係数が高いことが分かります。この性質の違いは、撮像対象の違いとして表れ、中性子線ラジオグラフィを利用する上での大きな特徴となっています。

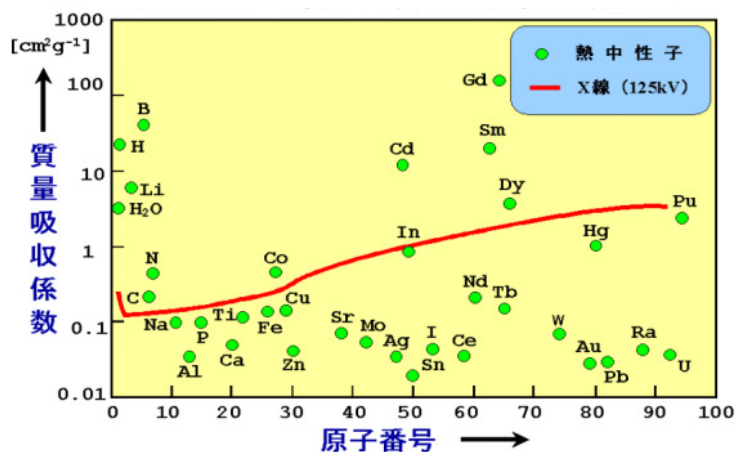


図3 中性子線とX線の透過特性の違い

4. 2 中性子線ラジオグラフィの短所

前節に記したように、X線CTには無い長所を持つ中性子線ラジオグラフィではありますが、短所もあります。

1) 中性子線はビーム径を細くすることが難しいため、X線に比べて測定分解能が低い

表1 観察能力（分解能）の違い

中性子線	50~150 μm
X線	1~10 μm

(日本人の平均的髪の毛の太さは70~100 μm)

2) 中性子線により測定対象が中性子放射化される。

5. 産業応用の事例

中性子線ラジオグラフィが水素や炭素などの軽い元素を含む物質の撮像に適していることを利用した応用例には次の例があります。これらについて簡単に説明します。

- 1) 燃料電池やエンジンなど機械中を流れる燃料や潤滑油の移動状況観察
- 2) コンクリートなどの内部に潜むひび割れ状況の非破壊観察
- 3) 花、農作物など植物中の水分移動状況観察

5. 1 機械中を流れる流体の移動観察

図4に、自動車エンジンの内部を中性子線とX線とで撮影した画像を示します。X線は金属など重い元素の吸収係数が高いため、金属部が明瞭に写っています。それに対し、中性子線は燃料の移動が明瞭に判別できます。ここから、燃料の移動状況を観察する目的などに用いられています。

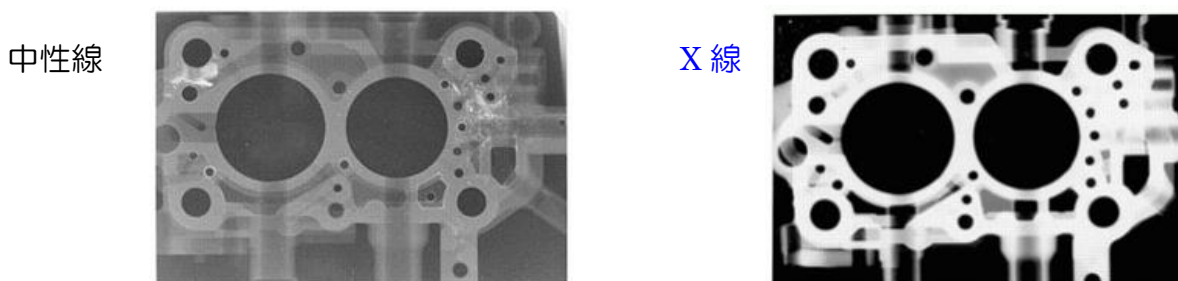


図4 自動車エンジンの内部撮像例

5. 2 コンクリートの内部に潜むひび割れの非破壊検査

コンクリート内部に水分が浸透する様子を中性子線ラジオグラフィにより観察した例を示します。水分含有部を鮮明に観察できる中性子線ラジオグラフィによれば、建築物の健全性確認など非破壊検査に用いることができます。

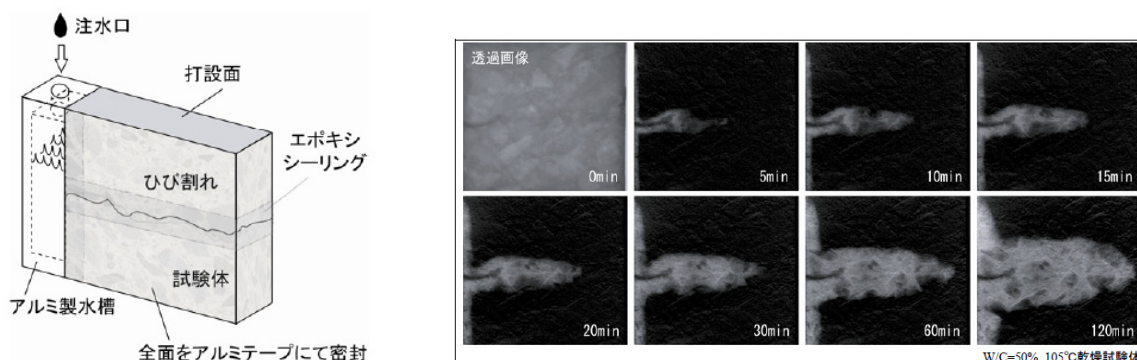


図5 コンクリート内部における水分移動の観察例

5. 3 植物中の水分移動状況観察

中性子線が水素、炭素などの観察に適していることを利用し、植物中を移動する水分の観察にも多く利用されています。

図6に、グラジオラス中に含まれる水分の観察結果を示します。これらの観察によって、経験や勘だけに頼らない花の鮮度管理や生育に関する研究開発が可能になってきました。



図6 グラジオラス中に含まれる水分の観察

6. 今後開発が必要な周辺機器・技術

前節に記したように、中性子線ラジオグラフィは水分移動の観察を目的とすることも多くあります。しかし、中性子線の特徴から観察に際して大気中の水分にも反応してしまうという問題があります。高湿度の雰囲気中で観察を行うと、霧がかかったような鮮明度の低い画像しか得られません。

このことから、周辺機器として温度・湿度を制御可能な恒温槽が求められています。特に、 $-20\sim-30^{\circ}\text{C}$ 程度の低温化においても結露しない恒温槽が研究者などから期待されています。

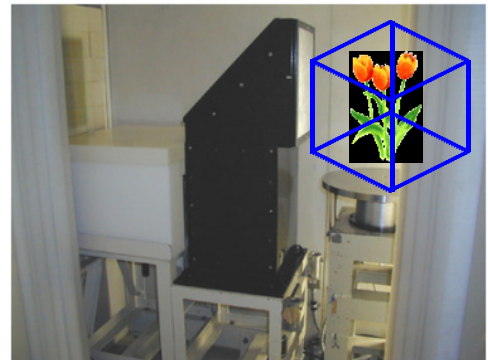


図 7 温度・湿度制御可能な恒温槽

7. まとめ

中性子線ラジオグラフィは水素、水成分などの観察に適していることから、機械のみならず植物や農作物の観察にまで適用範囲を拡大しています。流体の観察という利用分野を考えれば、必ずしも X 線と同等の分解能を必要としない観察対象も多く、本解説で記した以外にも、中性子線ラジオグラフィによる観察によって劣化過程を明らかにできた生花や品質改良に役立った野菜などもあります。これらのことから、中性子線ラジオグラフィを積極的に活用することで様々な分野で大きな飛躍が期待できます。

8. 参考文献

- 1) 兼松学、野口貴文、丸山一平、飯倉寛：中性子ラジオグラフィによるコンクリートのひび割れ部における水分挙動の可視化および定量化に関する研究：コンクリート工学年次論文集 Vol.29 No.1 2007
- 2) 前田正史、磯貝勇児、塩澤方浩、手嶋剛、濱田仁：X 線 CT を用いた燃料電池内部の水挙動解析：センサーテクニカルレビュー Vol.13 No.1 2008
- 3) 住重試験検査株式会社ホームページ URL: <http://www.shiei.co.jp/>
- 4) 三澤雅樹：生体の微小構造を見るマイクロ X 線 CT イメージング：産総研 TODAY Vol.6 No.9(16-17)