

新しいX線の創生と応用

近年開発した「擬似X線レーザー装置」と「微細血管造影用X線装置」を紹介します。擬似X線レーザー装置からは、レーザーのように強くシャープなK系列特性線が発生します。また、微細血管造影用X線装置にはセリウムターゲットのX線管が組み込まれ、再生医療時に形成される微細血管などの高コントラスト造影が可能になりました。



はじめに

フォトンエネルギーが10keVあるいはそれ以上のハードX線レーザーの発振はノーベル賞に値するといわれていますが、まだそれらの発振は報告されていません。X線レーザーはパルスレーザーの線状照射により形成される線状プラズマの軸方向から出力しますが、フォトンエネルギーは1keV以下です。キャピラリーを用いたガス放電によるX線レーザーの発振も確認されましたが、コヒーレンスは低く、フォトンエネルギーも低いようです。

近年、再生医療が各方面で行われるようになり、組織再生中に形成される微細血管の造影がシンクロトロンを用いて行われるようになりました。撮影には、主にヨウ素系造影剤が採用されるので、造影剤に効率良く吸収される単色X線が必要となります。したがってシンクロトロンを使わない場合には、セリウムターゲットから出力するK系列特性X線が有効です。

本稿では、新しい性質のX線の発

生とそれらの応用に関する研究の中から、(財)いわて産業振興センターのRSP事業などの支援を受けて開発した擬似X線レーザー装置と造影用X線装置について簡単に解説します。

擬似X線レーザー装置

擬似X線レーザー装置【写真1】は、高電圧コンデンサーを充電し、蓄積された電荷を冷陰極X線管に放電し、X線を得ます。パルスレーザー法では電子を外側から外して裸の原子を作り、電子が再結合する際にX線が発生させます。ここでは高エネルギー放電により弱電離プラズマを成長させ、これを線状に形成することにより、制動X線を吸収し、蛍光X線(特性X線)に変換します【図1】。吸収係数が不連続なことから特性線はプラズマを容易に透過します。また、電子が加速されるのと逆の方向には制動X線が出力しないこともあり、単色化フィルターを挿入しなくとも高線量率の準単色X線が発生します。加えて、単色化フィルター

によりKβ線を除去すれば、Kα線が得られます。

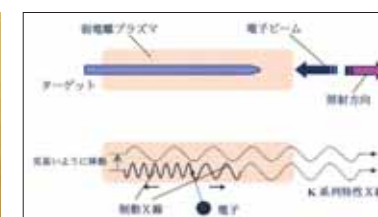
湾曲単結晶付きの透過式分光器を用いたスペクトルの測定では、レーザーのようにシャープな単色X線が得られ、特性線をシグナル(S)、制動線をノイズ(N)とした場合のSN比は1000:1以上でした【図2】。またX線照射時間は1μs程度であることから試験管から流れ出る水の完全静止画像が得られました【写真2】。

微細血管造影用X線装置

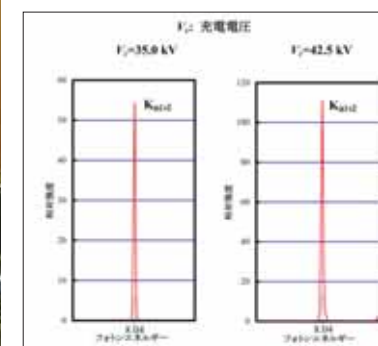
セリウムKα線のフォトンエネルギーはヨウ素のK吸収端より少しだけ高いので、ヨウ素系造影剤に効率よく吸収されます。したがって、微細血管の造影にはたいへん有用です。開発したセリウムターゲットのX線管を有するポータブルX線装置は、X線管ユニット(コッククロフト回路、X線管、冷却器付き)、コントローラー【写真3】、そしてパソコンなどより構成されています。一般に、管電圧、管電流、X線照射時間、



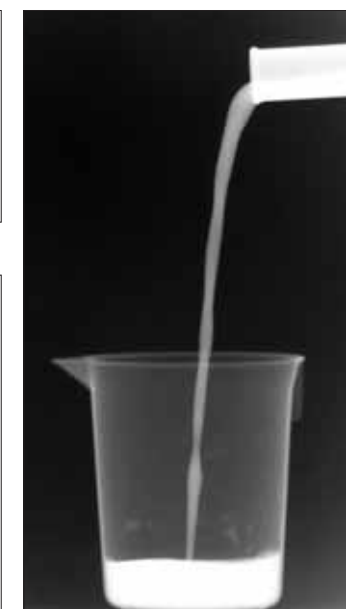
【写真1】 擬似X線レーザー装置



【図1】 K系列特性X線の発生



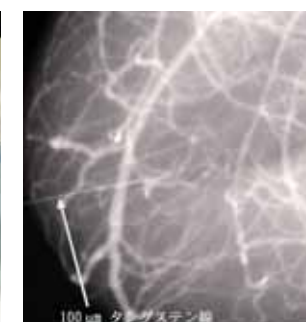
【図2】 X線スペクトル



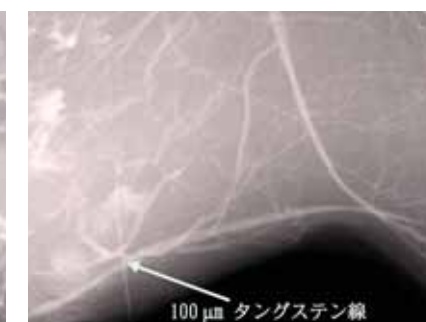
【写真2】 試験管から流れ出る水



【写真3】 コントローラー



【写真4】 犬の心臓



【写真5】 ウサギの太腿

焦点の大きさは、コントローラーで調整されますが、パソコンによっても遠隔から制御できます。

【写真4】と【写真5】は造影した犬の心臓とウサギの太腿です。これらの写真では100μm程度の微細血管が鮮明に観察できましたが、50μm以下の血管も認識できます。

おわりに

X線は、約100年前にレントゲンにより発見され、医療診断や治療に有効に利用されてきました。したがって、古

い線源と思われるがちですが、アメリカなどでは先端の研究分野です。X線位相イメージングなど、シンクロトロンから発生するX線の医学への応用などに関するさまざまな研究に加えて、人類は、まだハードX線レーザーの発振に成功していないからです。本研究で出力できた単色X線のSN比は、最短波長の軟X線(XUV)レーザーと比較して桁違いに高く、吸収係数、直進性、発散性などでは、インコヒーレントなX線とは異なっているようです。線ビーム化に加えて、コヒーレンスを高める工夫をしたいと思っています。

シンクロトロンと単結晶を用いて新生血管や心臓の診断が行われるようになりましたが、ここで紹介したセリウムX線管付きポータブルX線装置を用いた場合にも、シンクロトロンと同等の画像を得ることができました。また、シンクロトロンを用いた平行X線撮影では照射野を広くすることは難しいが、この装置のようなコーンビームを用いた場合、照射野の拡大が可能であることから、微細血管造影用X線管として抜群の威力を発揮すると思われます。