

産業用 X 線 CT による三次元非破壊計測

株式会社ニコン
産業機器事業部 開発部　坂口直史
研究開発本部 光技術研究所　山田篤志

１．はじめに

産業用 X 線 CT とは，X 線によるコンピュータ断層撮影を産業用途の撮像対象物に適用したものである。従来，産業用 X 線 CT 装置は内部欠陥の観察を行う非破壊検査装置として広く用いられていた。

近年，環境問題の対策として自動車業界は燃費向上を背景にエンジンの小型化，薄肉化が進む傾向にある。また，航空機産業では燃費向上，騒音低減，軽量化等を背景にジェットエンジンのタービンブレードに対して内部計測による厳しい品質管理要求が高まっている。これらを解決する一つの手段として注目されているのがマイクロフォーカス線源を有する産業用 X 線 CT 装置である。

高加速マイクロフォーカスによる X 線 CT の実現により，金属部品等，これまで透過の難しかった撮像対象物の複雑な内部形状の把握が可能であり，最近では，この X 線 CT 装置を内部欠陥の検出のみでなく，CT 画像を用いた三次元計測用途での活用が始まっている。特に，部品の内部に複雑な形状を作る事ができる金属 AM（アディティブマニュファクチャリング）の品質管理においては，X 線 CT による内部計測が主流となりつつある。本稿では，これら産業用 X 線 CT の構成や特徴について解説するとともに，実際のサンプルによる測定事例を紹介する。

２．X 線発生原理・X 線源

X 線とは，原子核の核外部分から発生する電磁波をさす。一方で原子核内部の反応に起因して放出される電磁波はγ線と呼ばれ，両者は波長ではなく発生のメカニズムで区別される。X 線は，さらに 2 通りに分類することができる。1 つは特性線，もう 1 つは制動放射線である。軌道電子の束縛エネルギー以上の電子が入射することで軌道電子は殻外に叩き出され，そこに空席が生じる。その空席に外殻軌道の電子が遷移する際に放出する X 線を特性線と呼ぶ。また運動エネルギーをもった荷電粒子が電磁場との相互作用により減速したり，進路を曲げられたりした際に放射される電磁波を制動放射線とよぶ。模式図を図 1 に示した。特性線は軌道エネルギー差に由来し，エネルギーが特定されるが，制動放射線は，連続的なスペクトル分布を示す。X 線は電磁波であるため，波長を定義することができるが，この界隈では X 線を表記するために eV を単位とした光子エネルギーを用いることが多い。波長と光子エネルギーの換算式は，

$$E[eV] = \frac{hc}{e\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \cdot 3.00 \times 10^{8}}{1.60 \times 10^{-19} \cdot \lambda[m]} = \frac{1.24 \times 10^{-6}}{\lambda[m]} = \frac{1240}{\lambda[nm]} \quad (1)$$

となる。ここで h はプランク定数，c は光速，e は電荷素量，λ は波長，E は光子エネルギーである。

医療用途，産業用途で幅広く用いられている X 線源は，X 線管と呼ばれる電子線を重金属に照射し，特性線と制動放射線を取り出す装置である。この場合の制動放射線は，照射された電子が，重金属を構成する物質の原子核とのクーロン相互作用により，減速・方向変換されることにより生じる。電子線と相互作用して X 線を放出させるために配置した重金属をターゲットと呼ぶ。X 線管によって得ら