

あいち SR の先端可視化技術

岡島 敏浩

あいちシンクロトロン光センター

W. C. Röntgen が放電管を用いて「陰極線」の研究をしている時に X 線を発見したのは 1895 年の年末のことです[1]。この発見は瞬く間に世界中に広がり、日本でも翌年の 1896 年に島津製作所の村岡範為と 2 代目島津源蔵（島津梅治郎、1 代目島津源蔵の長男）によって X 線写真の撮影に成功しました[2]。物質に対する X 線の透過力が強く体の中にある骨の映る X 線写真は、骨折や、弾丸など体内異物の診断に利用されました。このような X 線イメージングは医療分野で瞬く間に広がりました。この X 線写真（撮影）は、X 線を発見した Röntgen 博士にちなみ、広くレントゲン写真（撮影）と呼ばれています。一方、透過像のような 2 次元画像ではなく、3 次元で物質内部を観察する技術も開発されました。いわゆる X 線 CT (X-ray Computed Tomography) です。X 線 CT は、X 線を物質の周りから照射し、得られた画像をコンピュータで処理し、物質内部の 3 次元構造を可視化する技術です。X 線 CT 装置は、1973 年に英国 EMI 社の技術者であった G. N. Housenfield によって開発され[3]、最初に医療分野で普及しました。1980 年代から 1990 年代にかけてマイクロフォーカス X 線管が開発され、数 μm の微小領域から発生する X 線と第 3 世代コーンビーム CT とを組み合わせると高拡大投影を可能にすることで、数 μm の空間分解能を持つ CT 画像が得られるようになりました。これにより工業用 X 線 CT 装置の実用化が進むようになりました。X 線管の場合、管電圧 (V , keV) と連続（制動）X 線の最短波長 (λ_{\min} , Å) との関係は、 $\lambda_{\min} = 12.4/V$ のように与えられ、X 線管電圧が高い場合は短波長の X 線を、低い場合は長波長の X 線を発生させることができ、放出される連続 X 線の中心波長を管電圧によって変えることができます。現在、工業用 X 線 CT 装置は電子部品、二次電池、半導体パッケージ、PC ボードなどの比較的小型の金属構造体やハードなプラスチック構造体など、様々な工業材料・製品の観察に用いられています。最近では、文化財への適用も盛んで、例えば仏像の中に納められた金属性の五臓が見つかる[4]など、新しい発見が相次いでいます。また、得られた立体データから 3D プリンタを使って立体模型を作ることも可能です。

一方、シンクロトロン放射光 (SR) を利用した X 線 CT 観察も盛んに行われています。SR には X 線管球には無い、波長選択、高輝度、高強度、平行光、…といった特徴があります。高強度の X 線を利用することで、測定時間を大幅に短縮することができます。波長選択は特定の元素の分布を調べたり、また化合物の結合状態の 3 次元分布を明らかにすることができます。あいち SR においてもこのような SR の特徴を活かした X 線 CT 技術の開発を行ってきました。X 線トポグラフィ、イメージング用のビームラインとして BL8S2 が 2017 年に愛知県により建設されました (2024 年 4 月に財団に移管されました)。また、愛知県が実施する「知の拠点あいち重点研究プロジェクト」の第 III 期 (2019 年度～2021 年度) において、「地域先端計測基盤と AI の結合により機能性材料探索の新展開」(名大、田淵教授)、「革新的シンクロトロン光 CT 技術による次世代モノづくり産業創生」(名大、砂口准教授) の 2 つの研究テーマが実施され、また、第 4 期 (2022 年 8 月～) において「カーボンニュートラル社会実現に向けた先端可視化計測基盤の構築」(あいち SR・岡島) が採択され、SR の特徴を活かした X 線 CT 技術の開発がそれぞれ行われています。当日は、あいち SR で利用できる可視化技術を中心に利用例などについて紹介します。

[1] W. C. Röntgen, Sitzungber. Phys.-med. Ges. Würzburg, **137**, 1985, 132-141.

[2] ピエール＝イヴ・ドンゼ, 経営史学, **53(1)**, 2018, 22-42.

[3] G.N. Housfield, British Journal of Radiation, **46**, 1973, 1016-23.

[4] https://www.jsps.go.jp/file/storage/grants/j-grantsinaid/32_case/data/jinsya/05_kusunoi.pdf