

図4.X線顕微鏡の種類.(左)結像型顕微鏡,(右)走査型顕微鏡.

結像型では高い位置分解能を持つ二次元 X 線画像検出器(通常 X 線 CCD カメラ )が必要なのに対し, 走査型では検出器に位置分解能が不要である。各々特徴があるので,目的により使い分けられている。

#### 2-4. 軟 X 線顕微鏡による生体構造観察

軟 X 線顕微鏡の例として,米国ローレンスバークレー国立研究所の放射光施設 ALS (Advanced Light Source)に設置されている,世界最高性能の結像型軟 X 線顕微鏡 XM- $1^{5}$ )を紹介する。XM-1 はニッケル製の FZP を用いて 25 nm という高い空間分解能を実現している。図 5 にウエットな比較的厚みのある試料をそのまま急速凍結させて観察した例を示す 7)。試料は 3T3 繊維芽細胞である。細胞の境界がはっきりと見え,細胞中の核や核膜,核小体等が観察できている。また,露光を 40 回繰り返しても全く構造に変化が無いことも確認されており,急速凍結法により X 線顕微鏡観察における放射線被爆の問題はほぼ乗り越えられたと考えられている。軟 X 線顕微鏡が生体観察に非常に有効であることがおわかりいただけると思う。マラリアに感染した,無染色で自然な状態の赤血球の経時変化の様子などがインターネット上に公開されている 8)。

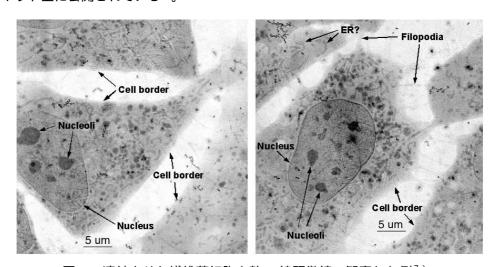


図 5 . 凍結させた繊維芽細胞を軟 X 線顕微鏡で観察した例<sup>7 )</sup>.

Courtesy of Carolyn Larabell and Werner Meyer-Ilse, Lawrence Berkeley National Laboratory.

### 2-5. 走査型硬 X 線顕微鏡によるいもち病に感染した稲の葉の観察例

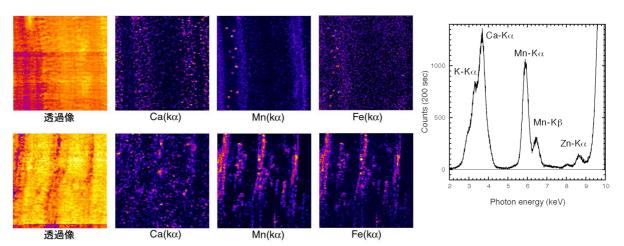
試料に X 線が入射すると,その励起過程として光電吸収が起こり,脱励起過程として蛍光 X 線が発生する。蛍光 X 線は元素固有のエネルギーを持つので,発生した蛍光 X 線のエネルギーを分析すれば,

試料を構成する元素の種類と量(濃度)を知ることができる。走査型の硬 X 線顕微鏡を用いれば,生体内微量元素の空間分布測定や定量分析が可能であり,生きたままの分析ができるので生命現象に対応した微量元素の挙動を調べることができる。硬 X 線顕微鏡の特徴としては, 試料の前処理が簡便,

非破壊的測定が可能, 多元素同時分析が可能,等が挙げられる。ここでは,SPring-8 の兵庫県専用ビームライン(BL24XU)の実験ハッチ C において我々が開発した硬 X 線顕微鏡 S を用いて,いもち病に感染した稲の葉を観察した例を示す(図 G )。これは兵庫県立中央農業技術センターとの共同研究である。健康な葉(図 G 上段)では G と G と G が葉脈に沿った周辺の細胞に均一に分布しているのに対し,感染葉(図 G 下段)では G を G が局所的に集積し,G でも集積現象が起きている。病原菌に感染した農作物は,菌の増殖を抑える物質を出す「誘導抵抗性現象」を起す。現象には様々な元素が関与しているとされてきたが,この観察で裏付けられた。図 G (右)は試料からの蛍光 G 線スペクトルの一例である。生体中の微量元素が高感度で取得できていることがわかる。

## イネ健全葉(上段)及び罹病葉(下段)のX線像

(1.875 µm/pixel, 130 x 130 pixels, 0.1 s/pixel)



試料:兵庫県立中央農業技術センター

図 6 . (左) いもち病に感染したイネの葉の X 線顕微鏡像 . 上段が健康な葉 , 下段が罹病葉である . 画像サイズは約 240 ミクロン四方である . (右) イネの葉からの蛍光 X 線スペクトル . カリウム ,カルシウム ,マンガン ,亜鉛等の元素の存在が確認できる .入射 X 線のエネルギーは X X X

# 2-6. 結像型硬 X 線顕微鏡 CT による微小試料内部の微細構造観察への発展

医学診断に広く利用されている CT 法 (Computed Tomography ) と結像型 X 線顕微鏡を組み合わせれば,極めて空間分解能の高い顕微 CT (Microtomography ) が可能となり,微小試料の三次元内部構造を非破壊で調べることができる。 SPring-8 においても FZP を結像素子に用いた Microtomography が開発されており,再構成像において珪藻土の  $0.6~\mu m$  ピッチの周期構造の解像に成功している  $^{10}$ 。 再構成像における空間分解能については,顕微鏡自体の空間分解能は十分に高く,試料の回転ステージの偏心精度が支配的となっている。

#### 1. 屈折コントラストイメージング法

従来のレントゲン写真は、被写体のX線吸収像、すなわち被写体がX線に対して作る影絵をフィルムに感光させて観測するものである。この影絵という言葉にはX線は直進するものという暗黙の了解があるが、X線も電磁波であるので実際には被写体内の密度分布の境界で屈折を起こしている。この屈折の大きさが極めて小さいために、今までは検出されていなかった。この微小な屈折角を検出して