

# 乾電池駆動超小型電子加速器・ 高エネルギーX線源の開発とその応用

産業技術総合研究所  
鈴木良一

2009.03.29

# 産総研電子加速器の小型化

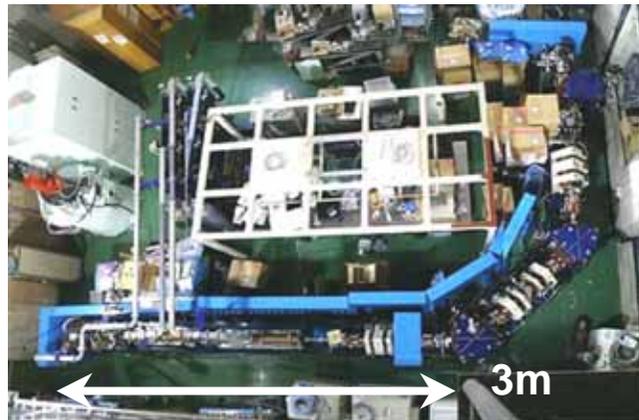
従来の加速器



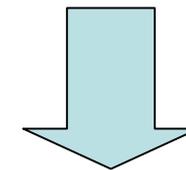
Sバンド(2856 MHz)電子加速器  
70 m, 350 MeV



Cバンド(5712 MHz)小型電子  
加速器 35 cm, 3 MeV



Sバンド 30MeV



**超小型**

**Xバンド(9.4 ~ 11.4GHz)**

# Sバンド大型電子リニアックの省エネ化

必要な量だけ(効率的に)

必要な時間だけ

必要な場所(部分)だけ

実際の省エネ化改修

80MWクライストロン+インバータ電源 1台  
老朽化した冷温水系を更新

蓄積リングへの入射 (従来の消費電力~300kW)

2pps 350MeV

160MW マイクロ波(80MWクライストロン2台)

400MW 4 $\mu$ s クライストロン(効率40%)

集束コイル・ヒーター: 数 kW

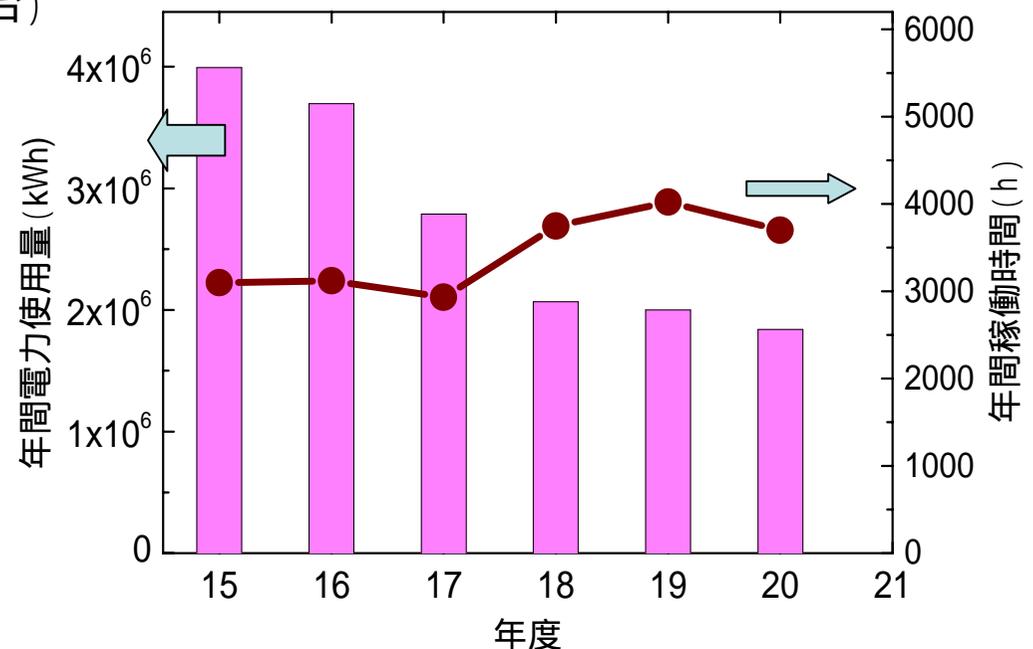
400Mx4 $\mu$  x2=3.2kWの高電圧パルス

入力電力: ~5 kW

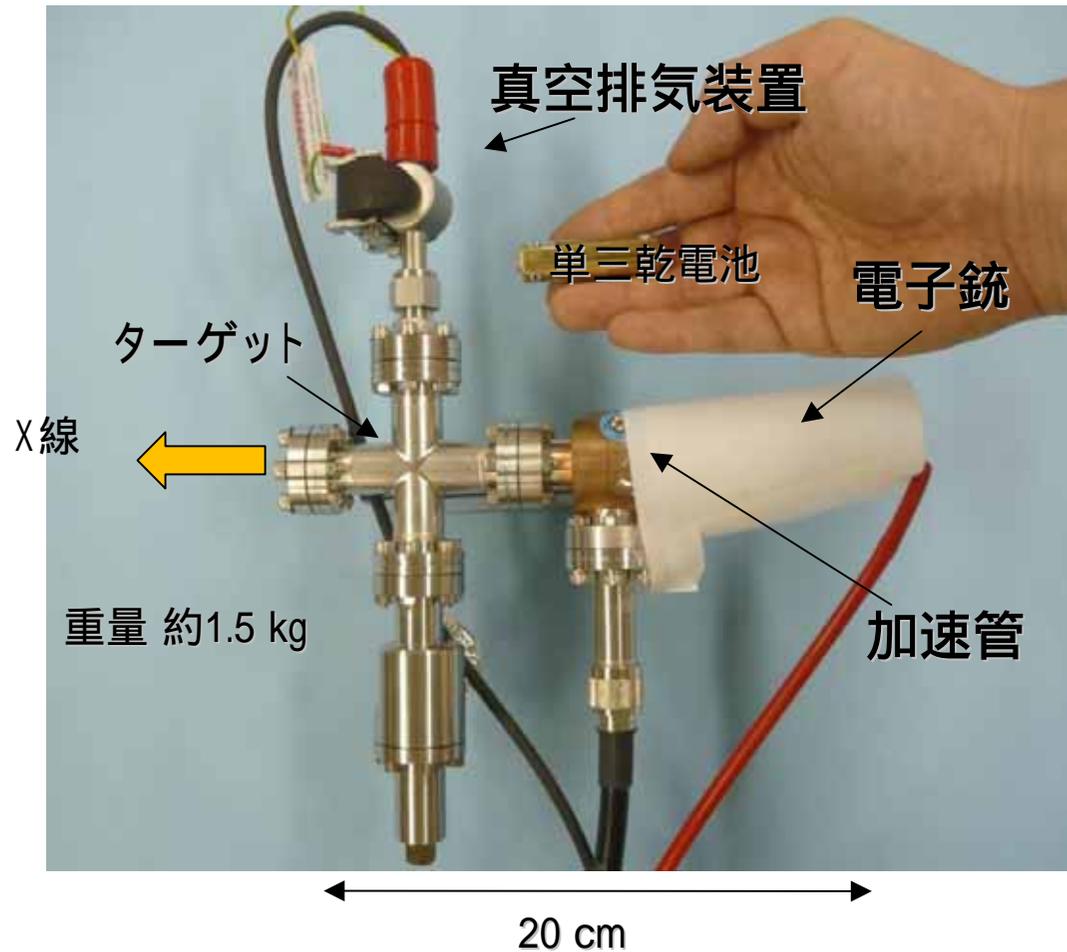
冷却 計~5kW チラー: ~2 kW

温度コントロールの負荷: 数百W

十数kWで350MeVの加速が可能



# 超小型電子加速器・X線源



マイクロ波周波数  
9.4 GHz

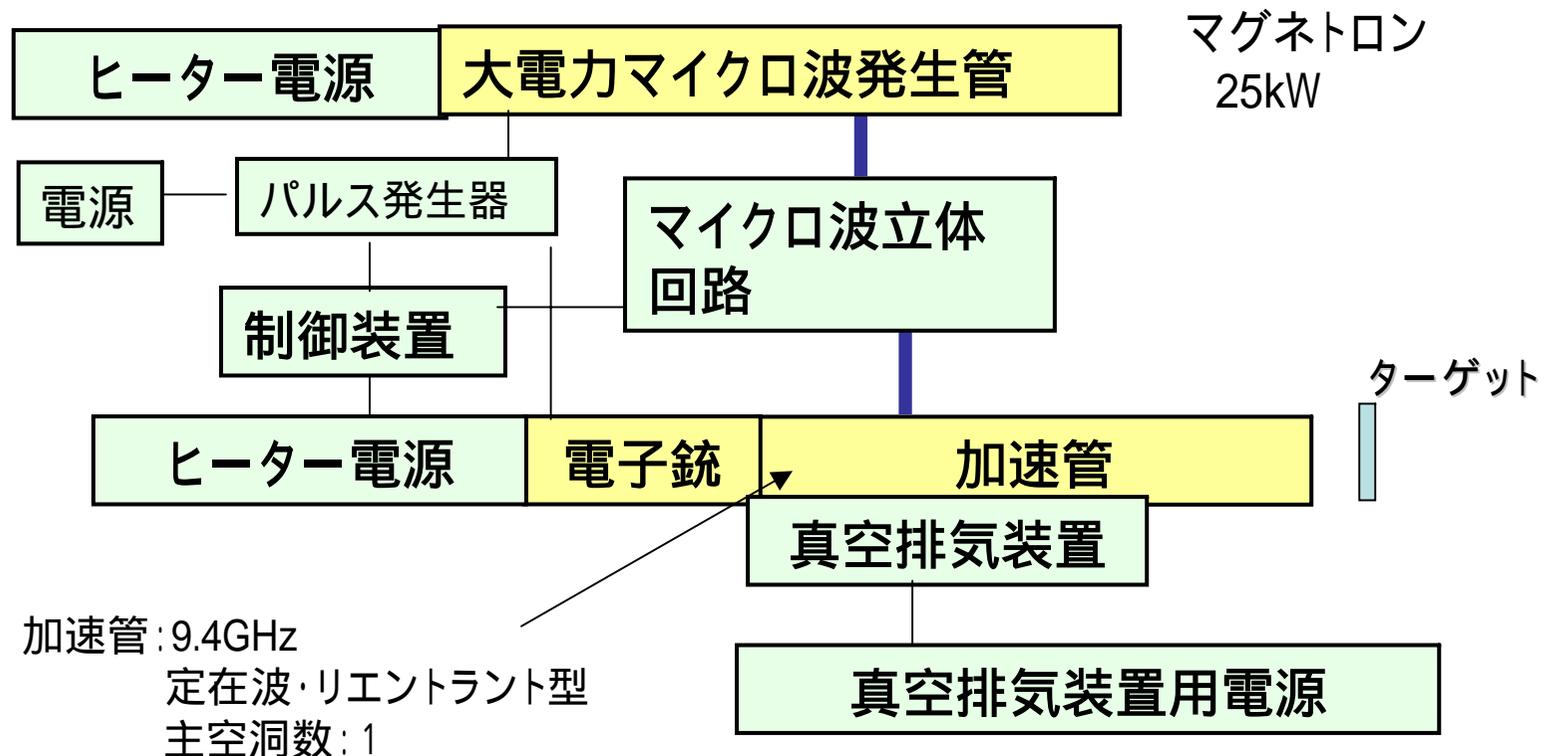
電子線(X線) エネルギー  
100 keV以上

入力電源電圧  
10 ~ 18 ボルト

消費電力  
20 ワット以下  
(単三乾電池10本で駆動  
可能)

# 電子加速器の構成

大型電子加速器と基本構成は同じ



# システム一式

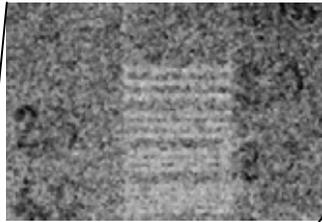


重量 約 8 kg

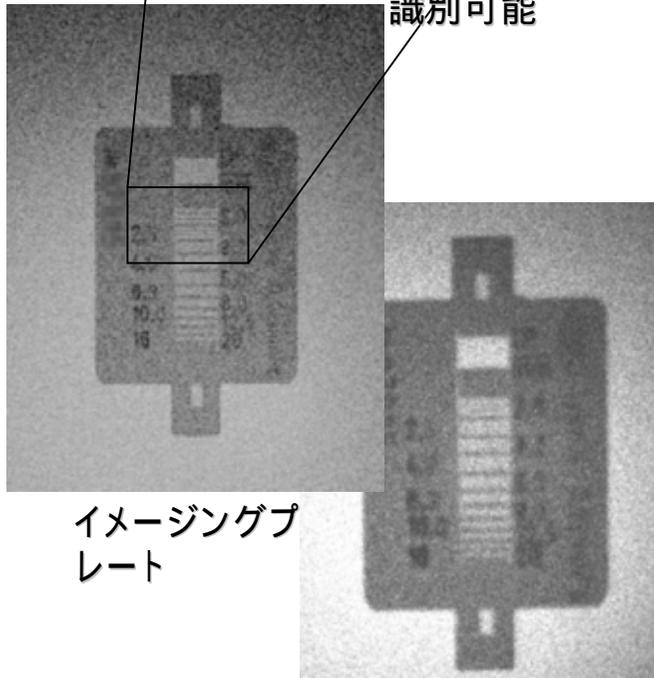
小型のカメラケース (内容積  
22 x 30 x 39 cm<sup>3</sup>) に収納し持  
ち運び可能



# X線テストチャート



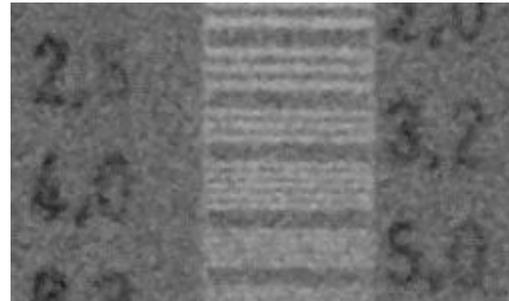
2本/mmを  
識別可能



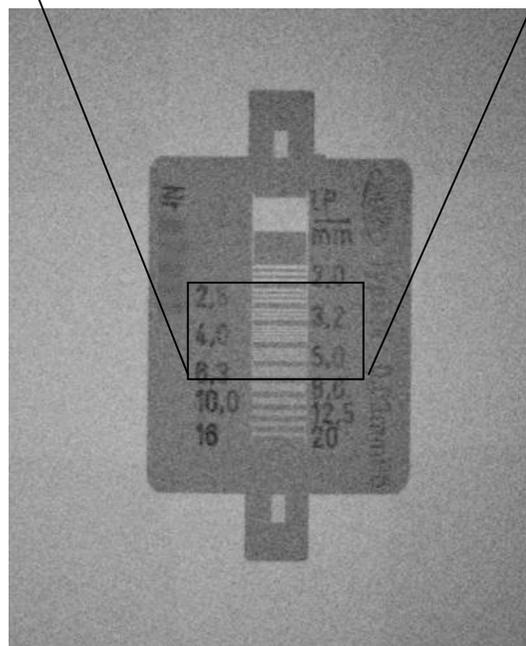
イメージングプレート

X線CCDカメラ

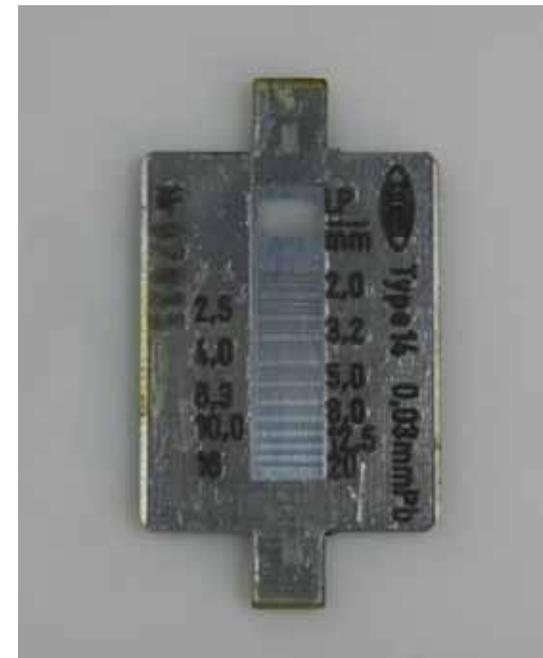
露光時間 1分



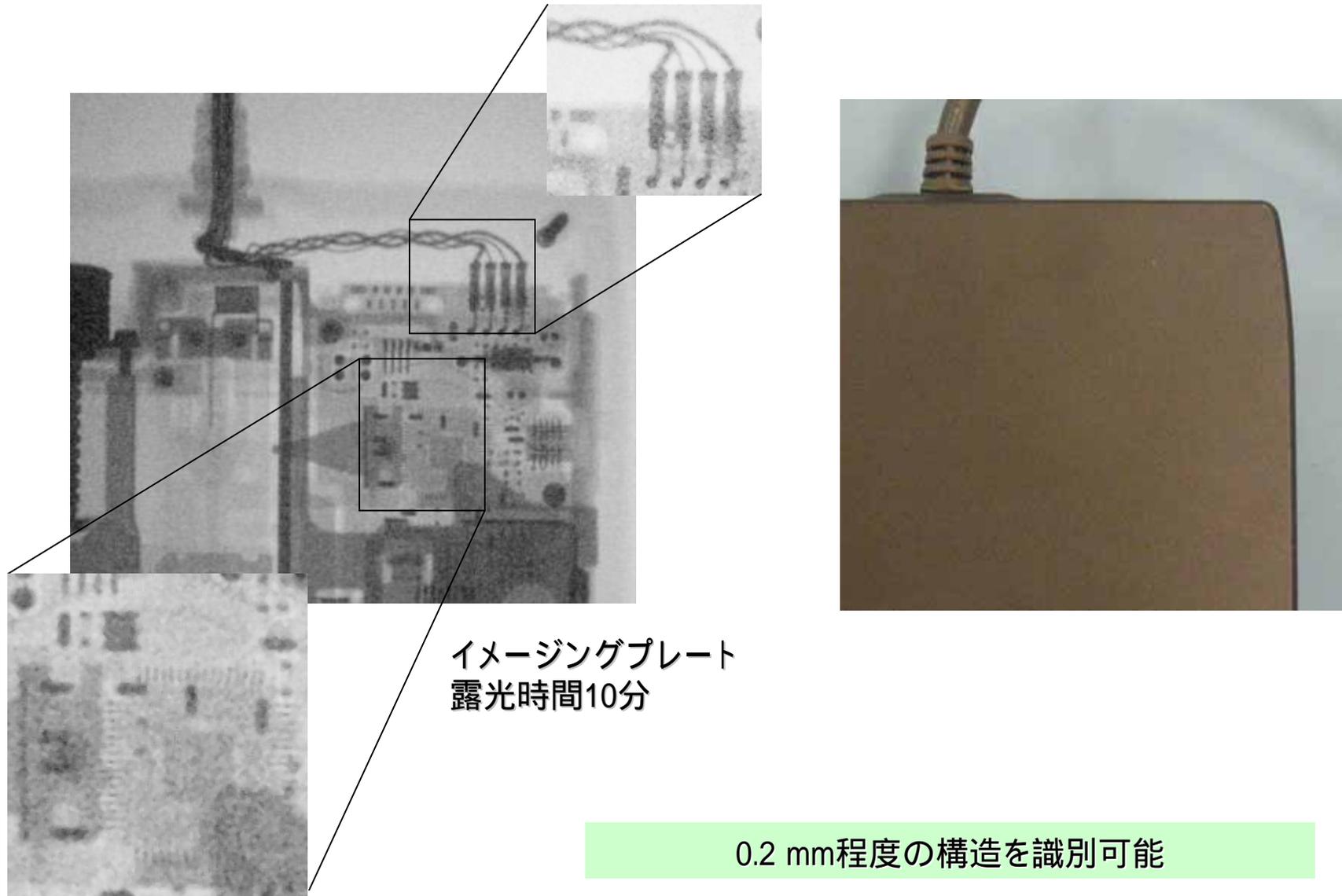
4本/mm (0.125mm幅の線、  
0.25mm間隔)を識別可能



露光時間 5分  
イメージングプレート



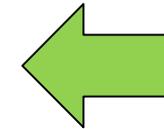
# パソコン周辺機器の透過像



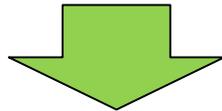
# 乾電池駆動超小型電子加速器・X線源の問題点

## 熱電子放出

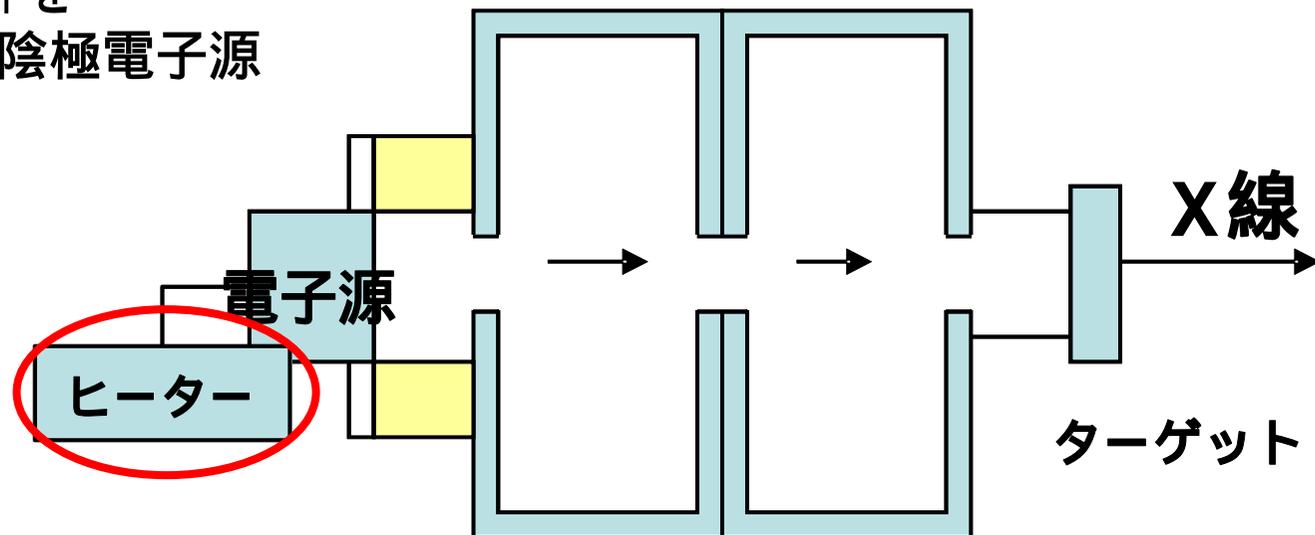
X線を発生していない時でもヒーターで電力を消費: 電池がすぐ消耗する  
予熱のため起動時間がかかる



従来のX線源でも同様の問題



ヒーター・フィラメントを使わない高性能冷陰極電子源



# カーボンナノ構造体を用いた電子源

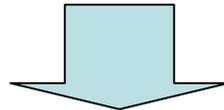
- **カーボンナノチューブ**

ナノ構造の先端から電界電子放出

平面ディスプレイ・照明等に期待されている

X線源に用いる場合の問題点

**高電界下で用いると特性が劣化**



**カーボンナノ構造体 (CNX)**

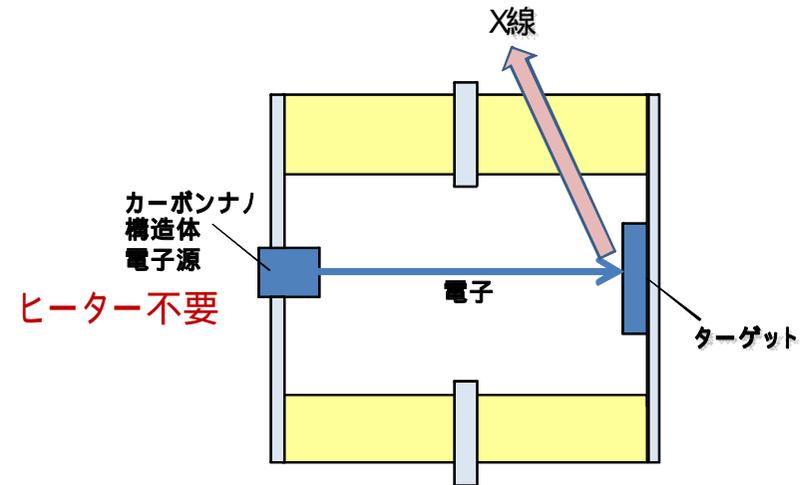
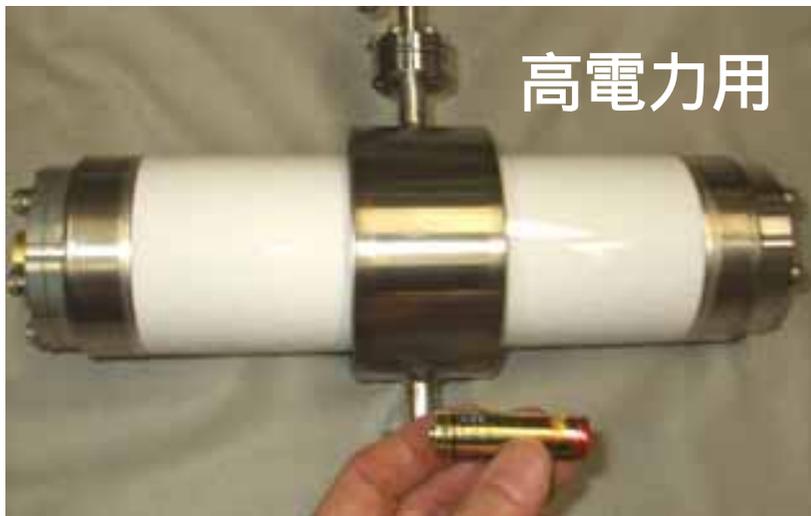
炭素の針葉樹森

- カーボンナノウォール、カーボンナノチューブ、ナノダイヤモンドの複合体
- 先端はカーボンナノチューブと同じ曲率
- 構造は針葉樹型で安定性に優れている
- 適度にランダム 高電子放出特性、高安定性

# CNX冷陰極X線管の開発

- 電子加速器の設計方法を利用
- カーボンナノ構造体電子源の形状、成膜条件をX線管用に最適化
- 電子ビームの出力を安定化する処理法を確立

# CNX冷陰極X線管

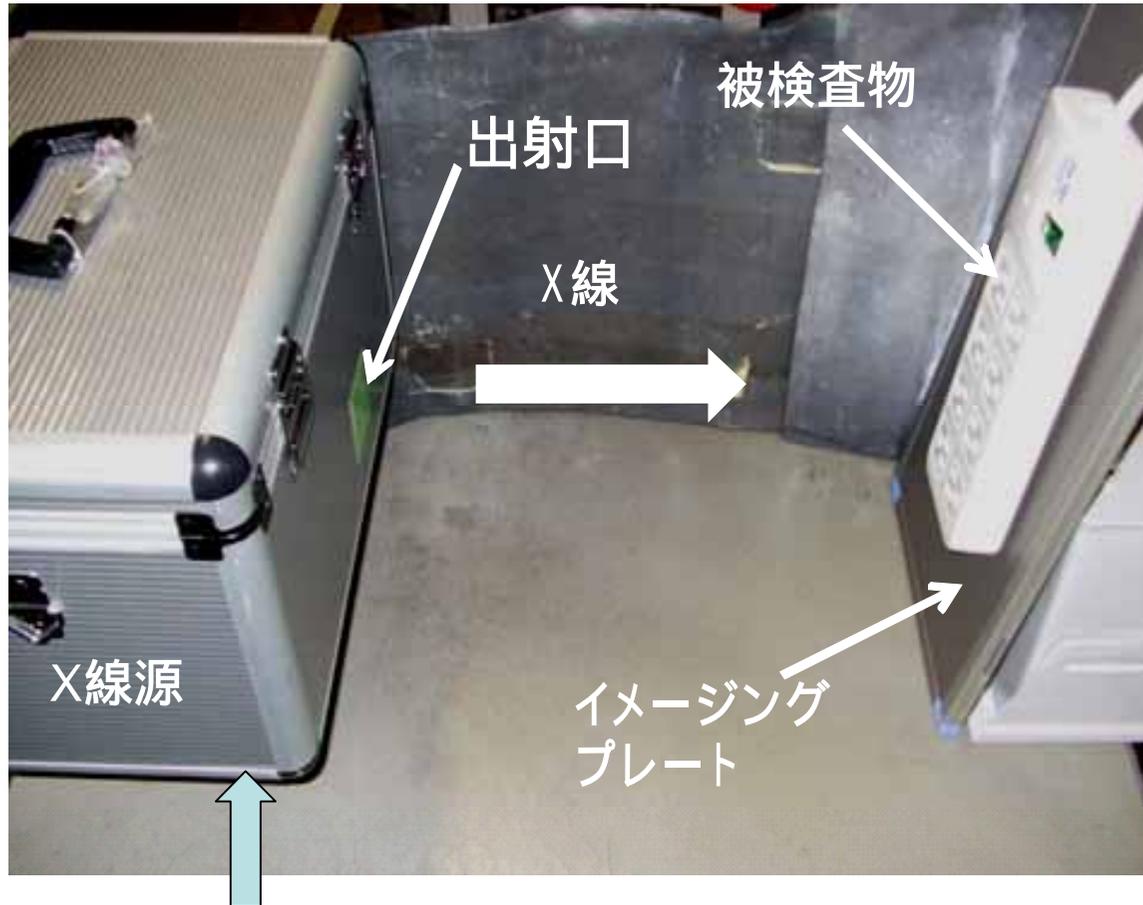


どちらも100キロ電子ボルト以上のX線の発生が可能

# CNX-X線管の特徴

- ヒーター・フィラメント不要  
エネルギー消費はX線発生時のみ  
乾電池でも駆動できる
- 高エネルギーX線(100キロ電子ボルト前後)を発生  
医療診断や非破壊検査に利用可能
- 大電流の電子ビームの発生が可能  
 $100 \text{ mA} \times 100 \text{ kV} = 10 \text{ kW}$   
高速撮影が可能

# 省エネ型電源・制御システムを組み合わせた可搬型X線源



37cm x 13cm x 35cm

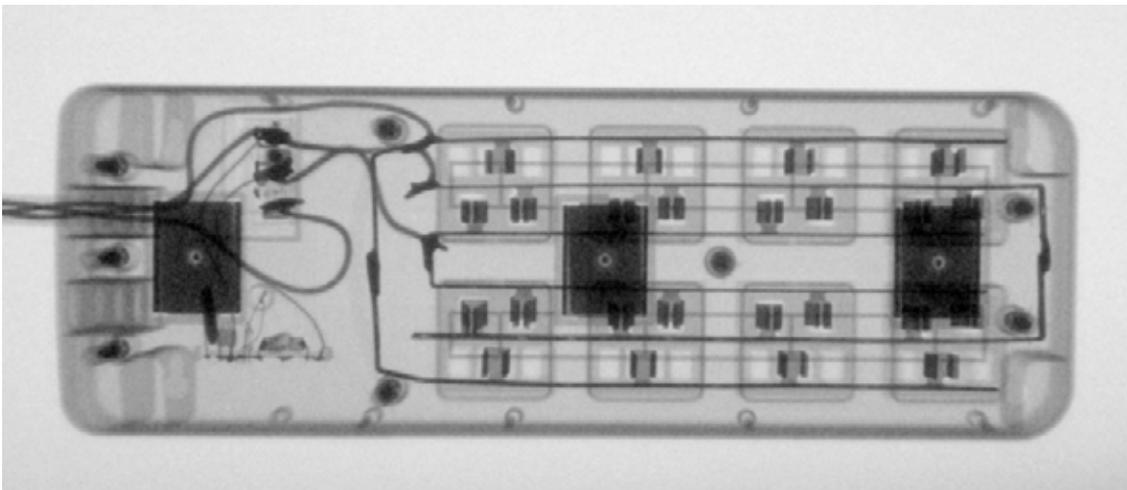
## 使用電源

- ・単三乾電池2本から
- または
- ・ノートPCのUSB電源

# 短時間露光の撮影例1 (1 / 1000秒)

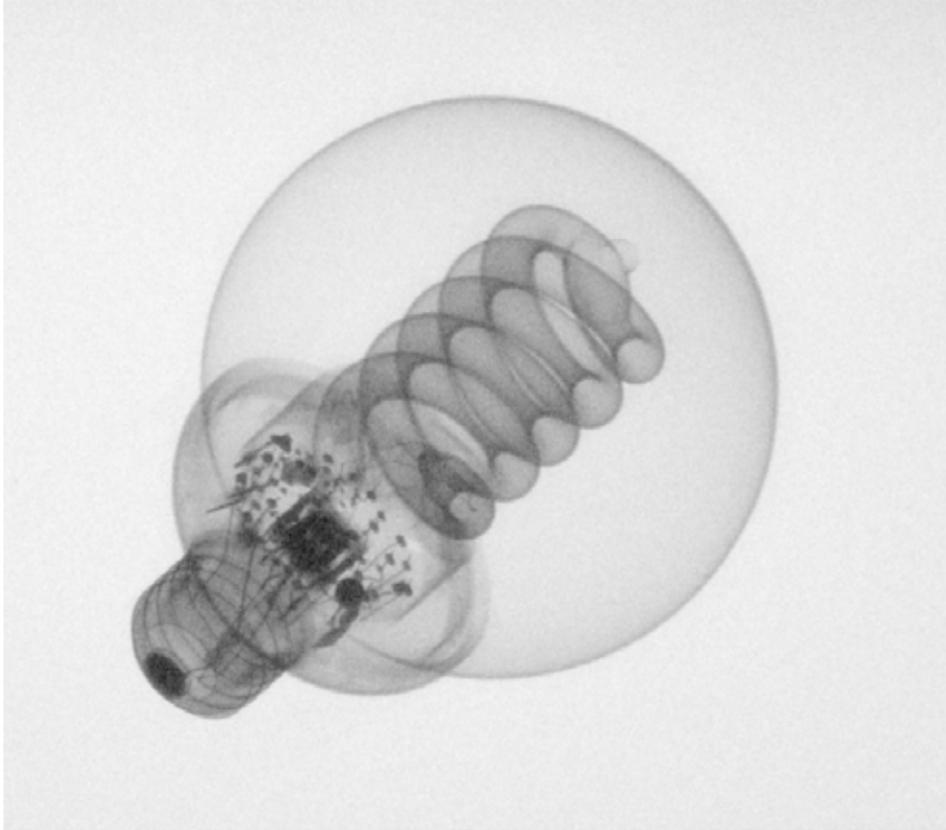


テーブルタップ



高電力管(120kV)

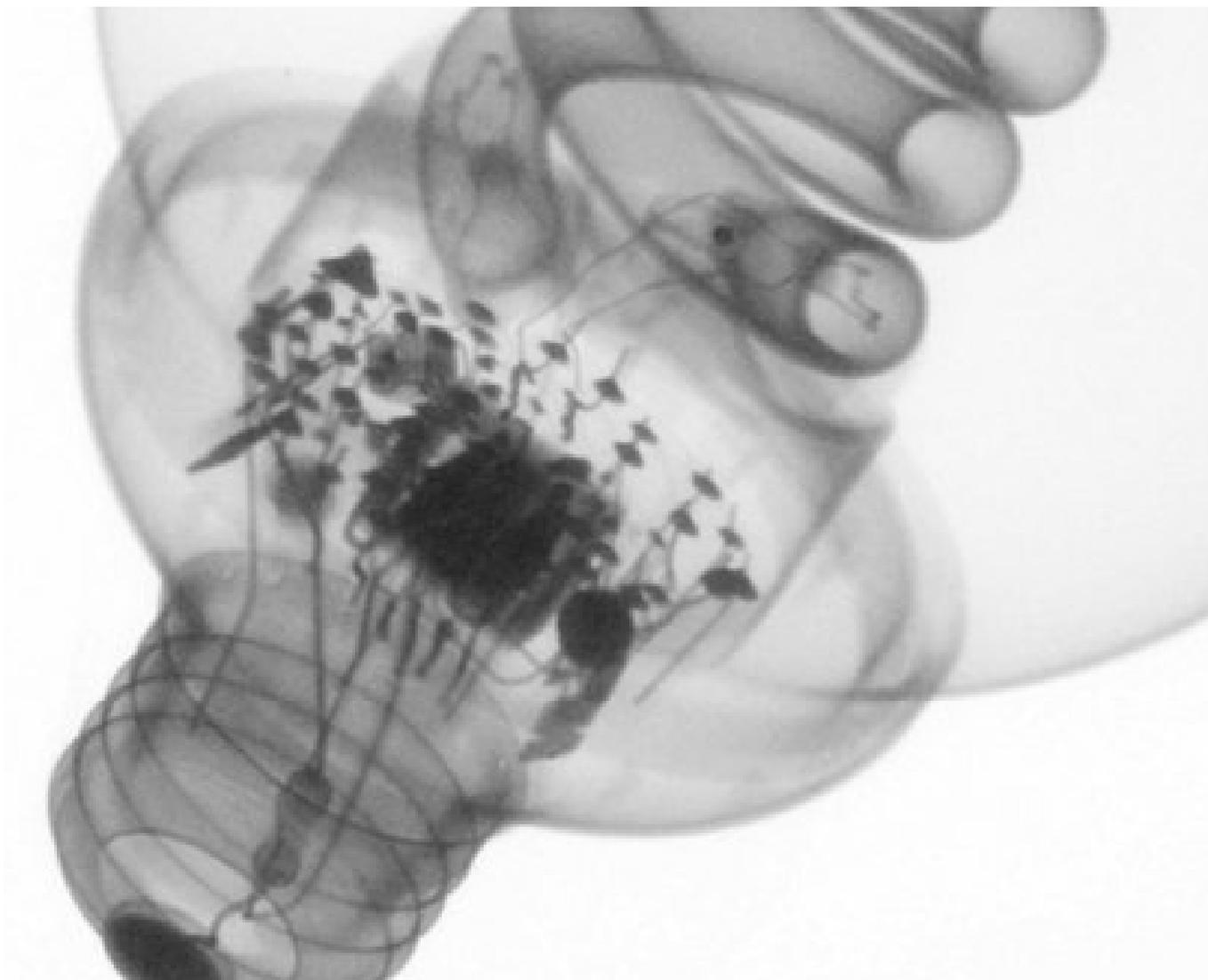
## 短時間露光の撮影例2 (1 / 1000秒)



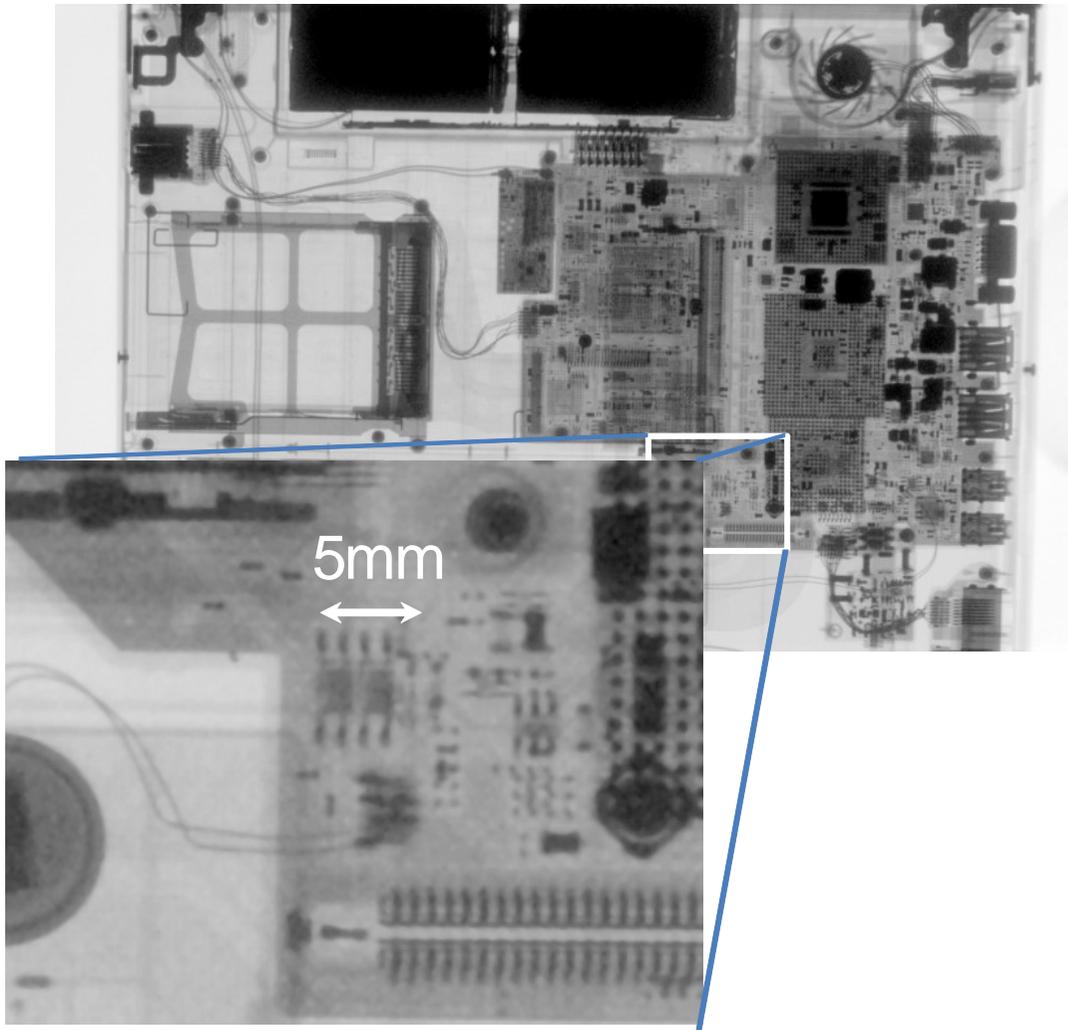
高電力管(120kV)



電球型蛍光灯



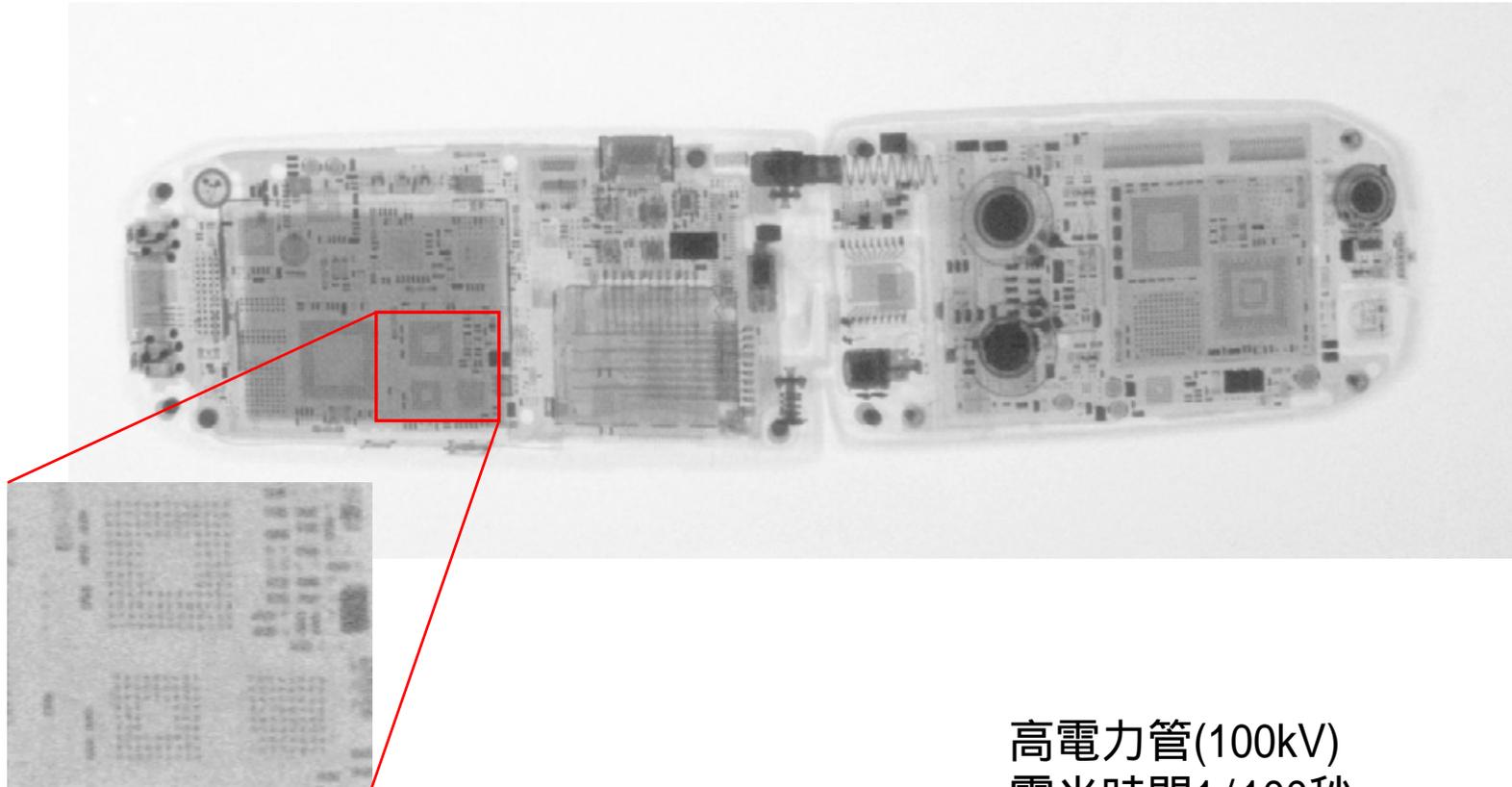
# ノートパソコンの透過像



低電力管(70kV)

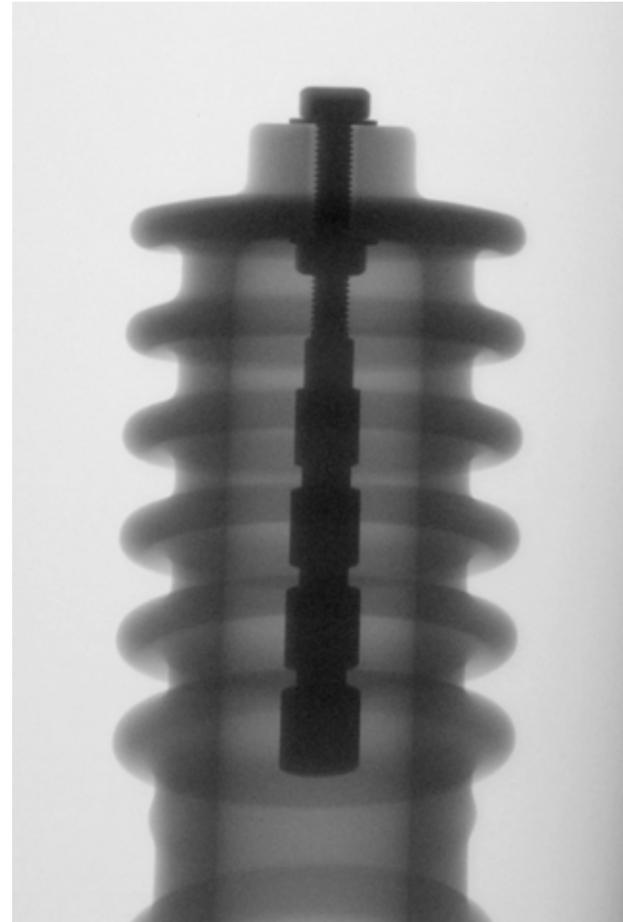
露光時間0.5秒

# 携帯電話の透過像



高電力管(100kV)  
露光時間1/100秒

## 碍子( ~ 10cm径)と内部電極

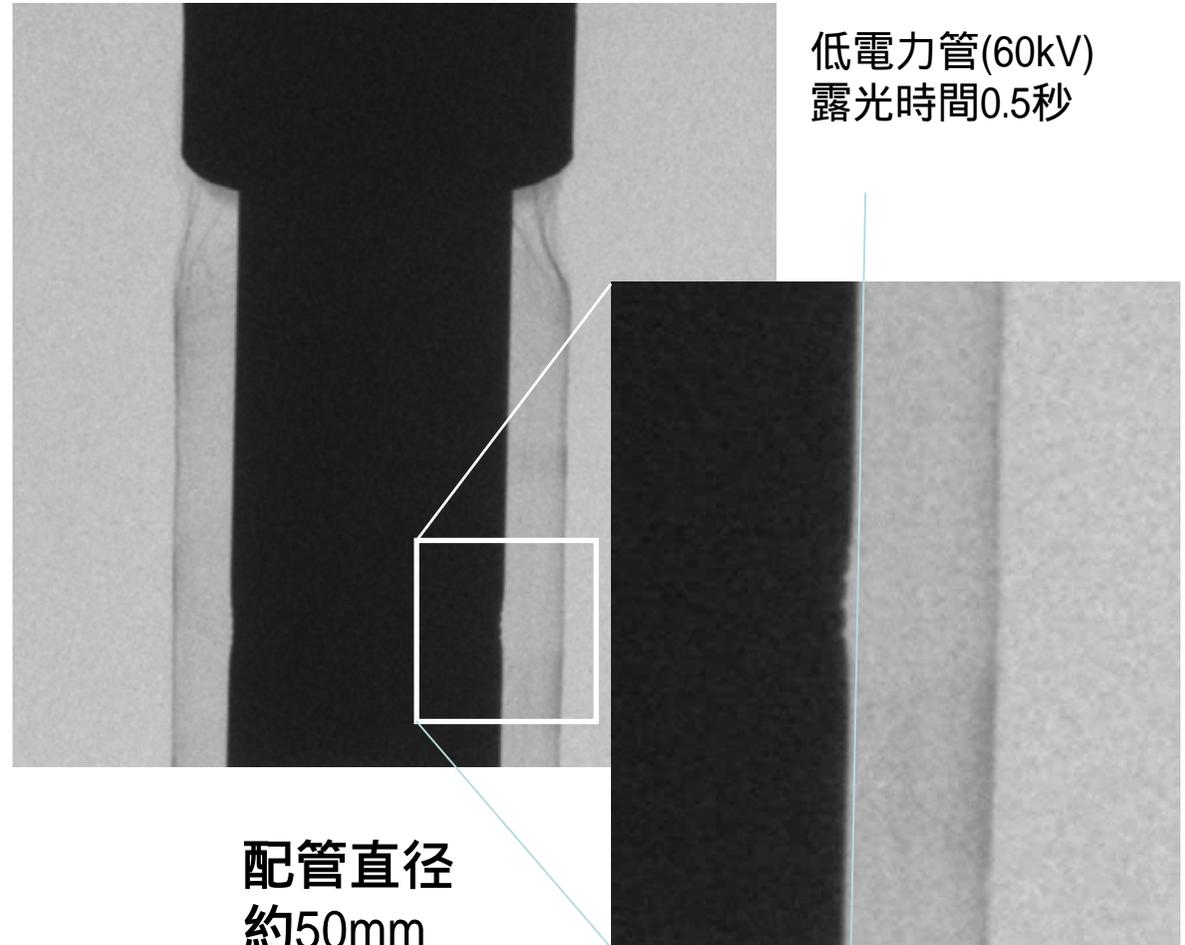


高電力管(120kV)  
露光時間1/100秒

碍子の径が異なっても、内部の電極の径を  
0.3mm以下の精度で計測できる。

**住宅の壁や鉄筋コンクリートの検査にも有効**

# 保温材付き配管の透過像



低電力管(60kV)  
露光時間0.5秒

配管直径  
約50mm

配管の外面腐食の  
検査に有効

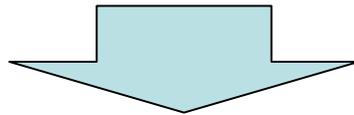
## 電池の容量と撮影枚数

X線撮影の投入エネルギー (1枚当たり)

50 J 以下 (X線管は25J以下)

### 電池の容量

単三乾電池2本 17,000 J 以上  
(ニッケル水素電池)



最大撮影枚数 (単三乾電池2本使用)

300枚以上の撮影が可能

寿命: 50 J で  $10^6$  ショット以上

## まとめ

- 100keV以上の高エネルギーX線：  
乾電池駆動超小型電子加速器  
CNX電子源－単三乾電池2本で発生  
高精細X線透過像を撮影できる。
- CNX－X線源は10kW以上の出力が可能で、短時間撮影もできる。

**必要時に即時に短時間でX線検査が可能に**

- 電子加速器の電子源としても利用可能。