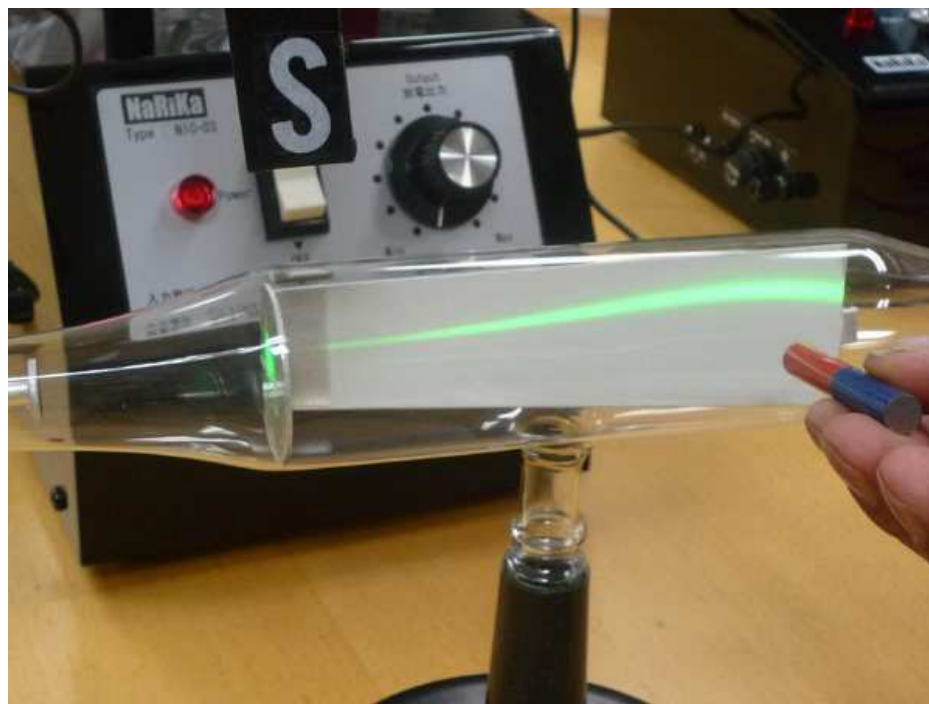


電子線に着目した クルックス管観察の学習展開の考察



田中隆一

NPO法人放射線教育フォーラム

中学校理科

学習指導要領における放射線の扱いの変遷

1951 科学技術の発展を反映

X線写真から始まる生活単元学習

1958 原子力教育スタート

原子の構造から始まる系統学習

1977 基礎重視で放射線削除

30年間の空白

2007 社会科的な脈絡での指導復活

3学年「放射線の性質と利用」

2017 理科本来の脈絡での指導追加

2学年「放射線の性質と利用」

1951年学習指導要領（試案改訂版）

3学年 主題「**科学の恩恵**」

単元Ⅲ **科学によって見える世界はどのように広がったか**

3. 電波や**X線**が光学器械にどのように応用されているかを理解する。

5. **X線**によってどのようなことがわかってきたか。

(1)**X線**にはどのような**はたらき**があるか 話合い **X線写真**を観察し、**X線**についての知識と**X線**に関する**写真撮影**や**透視**の経験などについて話し合う。

研究と発表 **X線の発見**について調べて発表する。実験または研究と話合い **X線の装置**があれば**実験**してみる。また参考書などで研究して**X線の性質**について話し合う。

a. **X線の透過力** b. 写真感板に対する**作用** c. 蛍光物質に対する**作用** d. 人体に与える**作用**(生理作用) e. その他の性質

中学校学習指導要領解説理科編における 真空放電に関わる記述

現行中学校学習指導要領解説理科編(平成20年告示)

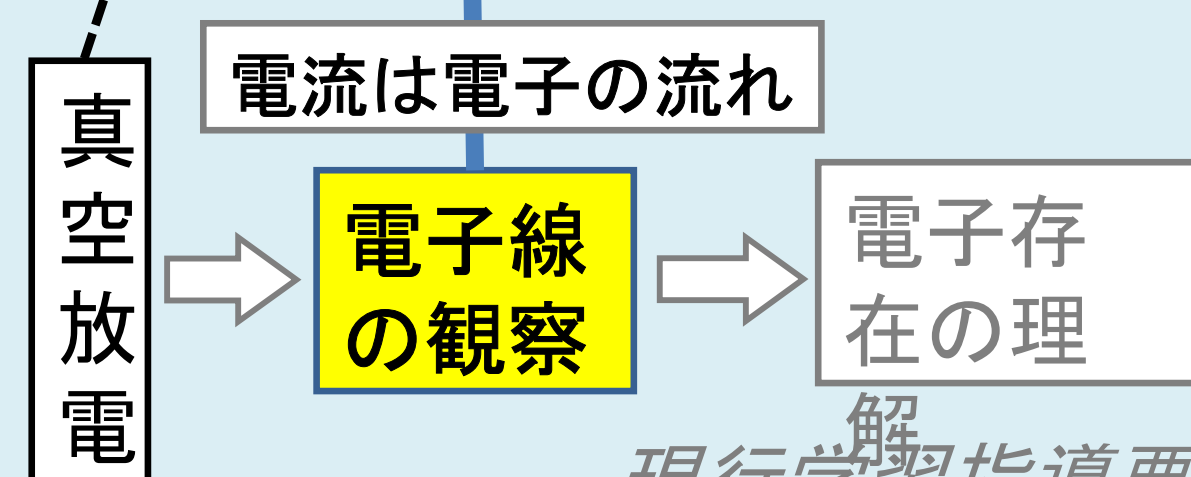
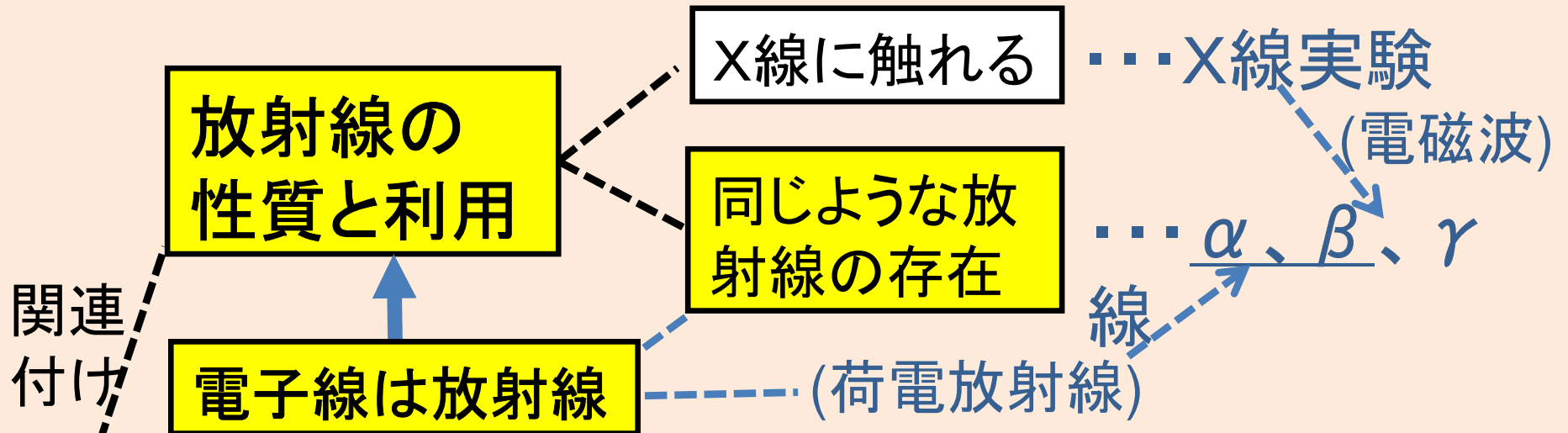
高電圧発生装置(誘導コイルなど)の放電やクルックス管などの真空放電の観察から電子の存在を理解させ、電子の流れが電流であることについて理解させる。

新中学校学習指導要領解説理科編(平成29年告示)

・・・電流が電子の流れに関係していることを扱うこと。また、真空放電と関連付けながら放射線の性質と利用にも触れること。その際、真空放電と関連させてX線にも触れるとともに、X線と同じように透過性などの性質をもつ放射線が存在し、医療や製造業などで利用されていることにも触れる

電子線に着目した クルックス管による放射線学習の展開

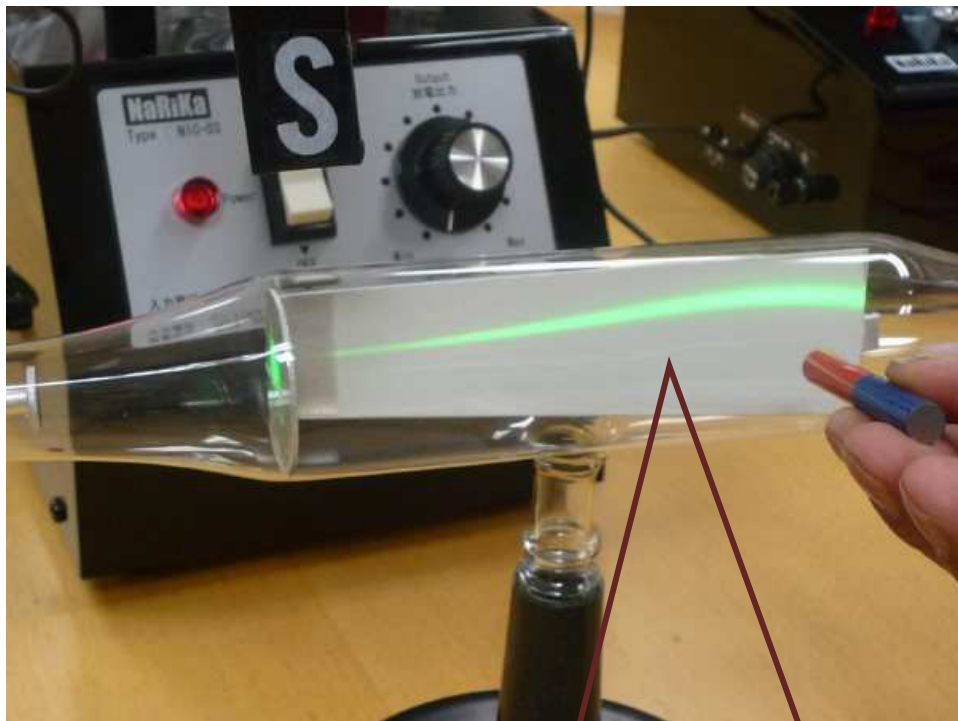
新学習指導要領解説



現行学習指導要領

管内の電子線は放射線である

エネルギーは低いが電離作用や透過性を示す



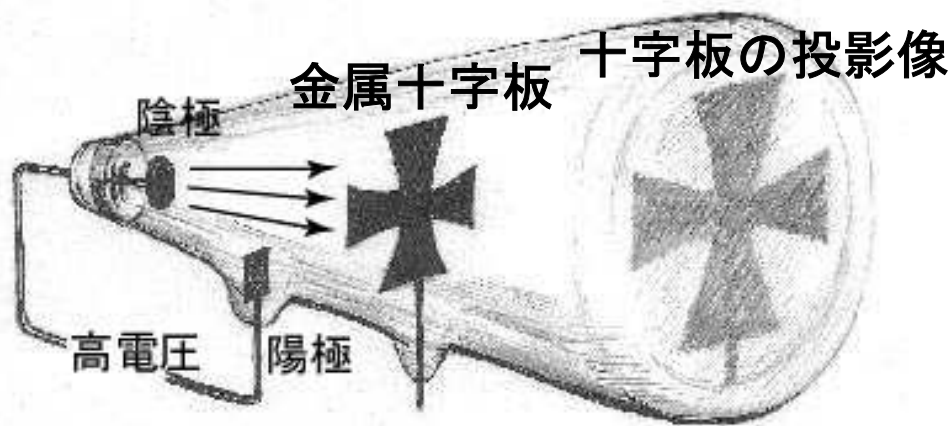
やや斜めにセットされた蛍光板

- 誘導コイルで加速された電子のエネルギー: 5~20keV
- 電子エネルギーは気体物質のW値*よりはるかに大きい
- 蛍光板の発光(蛍光)は電離(・励起)作用の結果
- 光の筋は希薄ガス中の電子の透過を示す

*W値: 放射線が気体を通過する際に電離作用で生成する正イオンと自由電子の1対あたりの平均生成エネルギー < 50eV

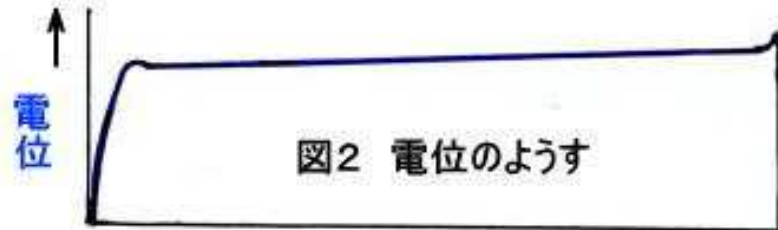
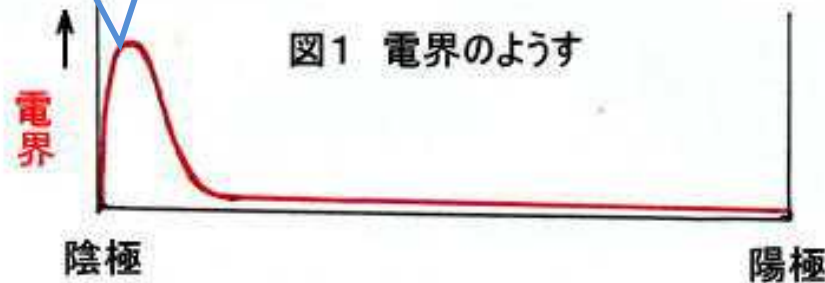
電子線の透過性について

現行の真空放電学習から導かれる内容



管の内側は
蛍光幕塗布 → 蛍光現象
(電離作用)

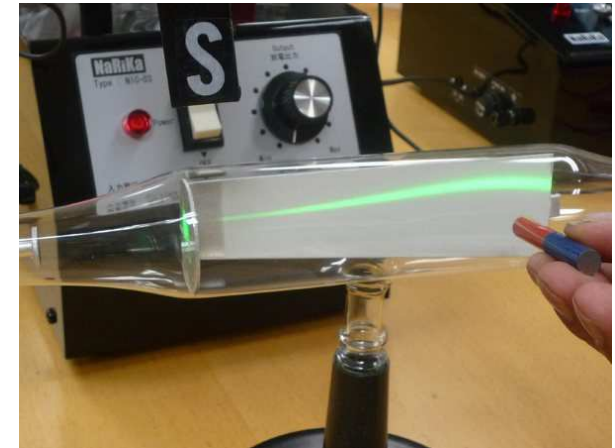
加速域



- 管内の気体物質は希薄だから、電離密度が小さく、通り抜け易い。濃密ならば、電離密度が高く、通り抜けにくい
- 放射線(電子線)は物質に(電離)作用しなければ 慣性運動のように素通りしていく
- 大気のように高密度の物質中では、電離作用を高頻度に繰り返し、エネルギーを失いながら物質中を通過する

荷電放射線は電界と磁界の作用を受ける もう一つの放射線の性質

- 荷電放射線利用における特徴
- 荷電粒子の加速・偏向・集束を可能にする ⇒ 加速器の原理
- この性質の利用事例



クルックス管は加速器の原型

オシロスコープ、電子顕微鏡、ブラウン管

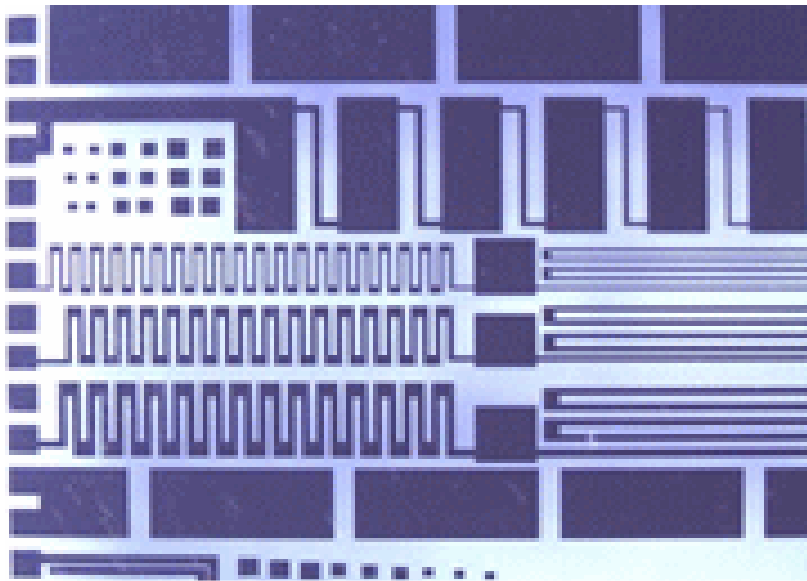
加速器、X線発生装置(診断・治療、製造業、非破壊

検査、年代測定、先端諸科学等)

電子線マスク描画装置(スマートフォン、パソコン)

半導体製造

経済規模最大の放射線利用



- ・21世紀の生活環境を激変させた高機能で小型・軽量の情報通信機器の普及・・・前世紀末に高密度化、微細化が急速に進んだLSI。

- ・高集積性の品質を決定づける要因はLSIのネガフィルムに相当するフォトマスクの解像度。

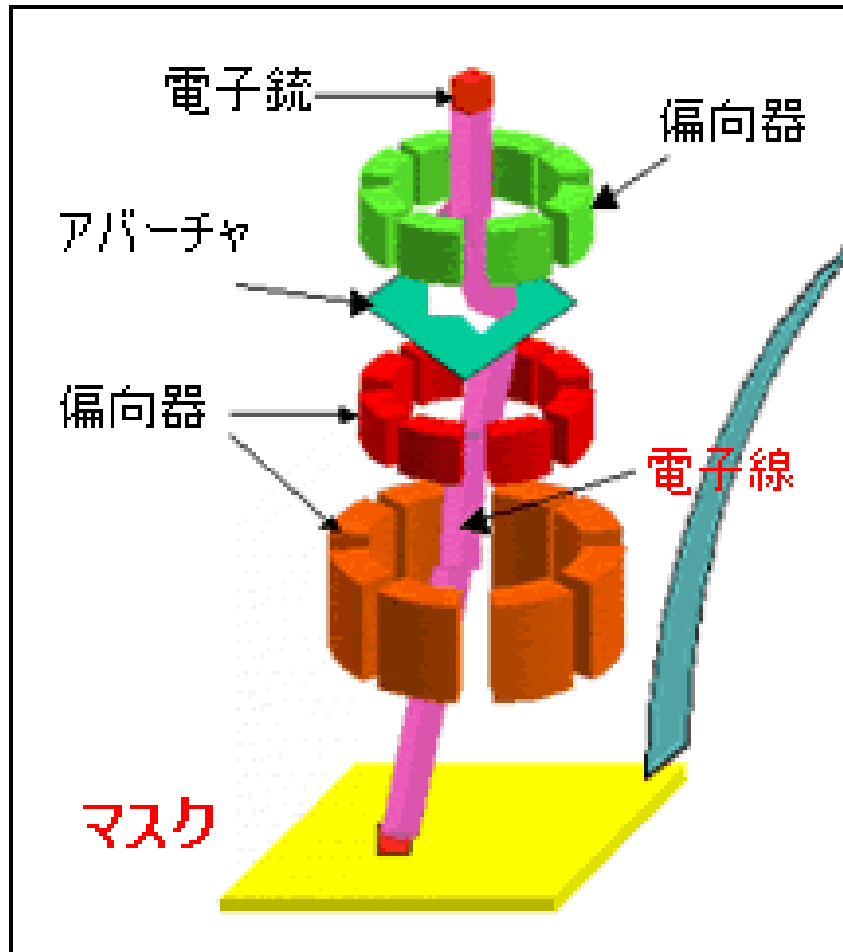


- ・当初、解像度は光の波長で決まり、0.1ミクロンが限界。その解決手段として光よりも波長が何桁も短い電子線が登場。

- ・荷電放射線の性質を最高度に発揮させ、解像度0.1ミクロン以下のマスク描画技術が実現。

電子線マスク描画

電子線マスク描画装置



電界の作用をマスク上のナノメートルレベルの精度で制御

光露光装置



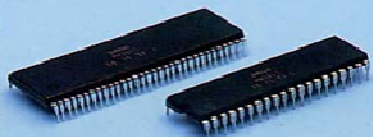
LSIの
大量生
産

シリコンウエハ

放射線利用の三大メリット

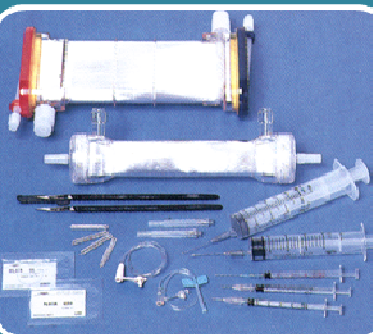
放射線を利用することの科学技術的な理解

写真1：N-MOS、C-MOSの各オリジナルLSI



荷電放射線は精密に制御可能

- ・スマホ、パソコン、ナノテクノロジー
- ・放射線診断・がん治療、高精度年代測定



薬品や熱を使わずに簡単に処理

- ・医療器具滅菌、品種改良、食品照射
- ・タイヤ製造、プラスチック加工



高感度の検知、高精度の測定

- ・非破壊検査、空港手荷物検査、年代測定
- ・製造工程での品質管理(製鉄、製紙など)

平成27年度の放射線利用の経済規模

医療・医学利用

粒子線治療：140億円



画像診断：1兆4,600億円
放射線治療：1,400億円
乳がん検査：200億円 など

PET・CTがん検診
150億円



農業利用

突然変異育種 ジャガイモ芽止め



・食品照射
・放射能分析 など

設備・装置：3,900億円

- 加速器
- 診断用X線装置
- 医療放射線関連装置・製品 など

工業利用

半導体加工
1兆2,300億円



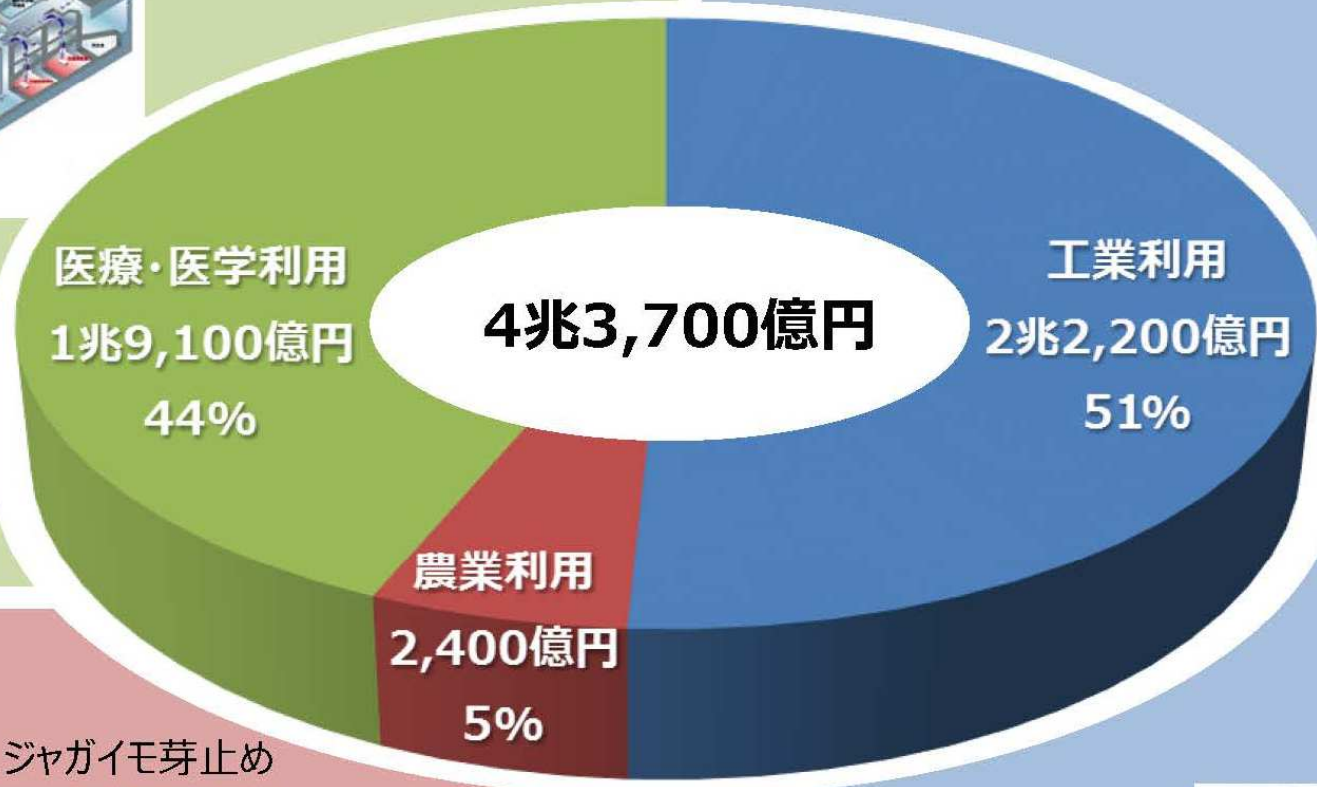
放射線滅菌
3,100億円

- 注射針・注射筒
- 真空採血管
- 人工関節・人工骨 など

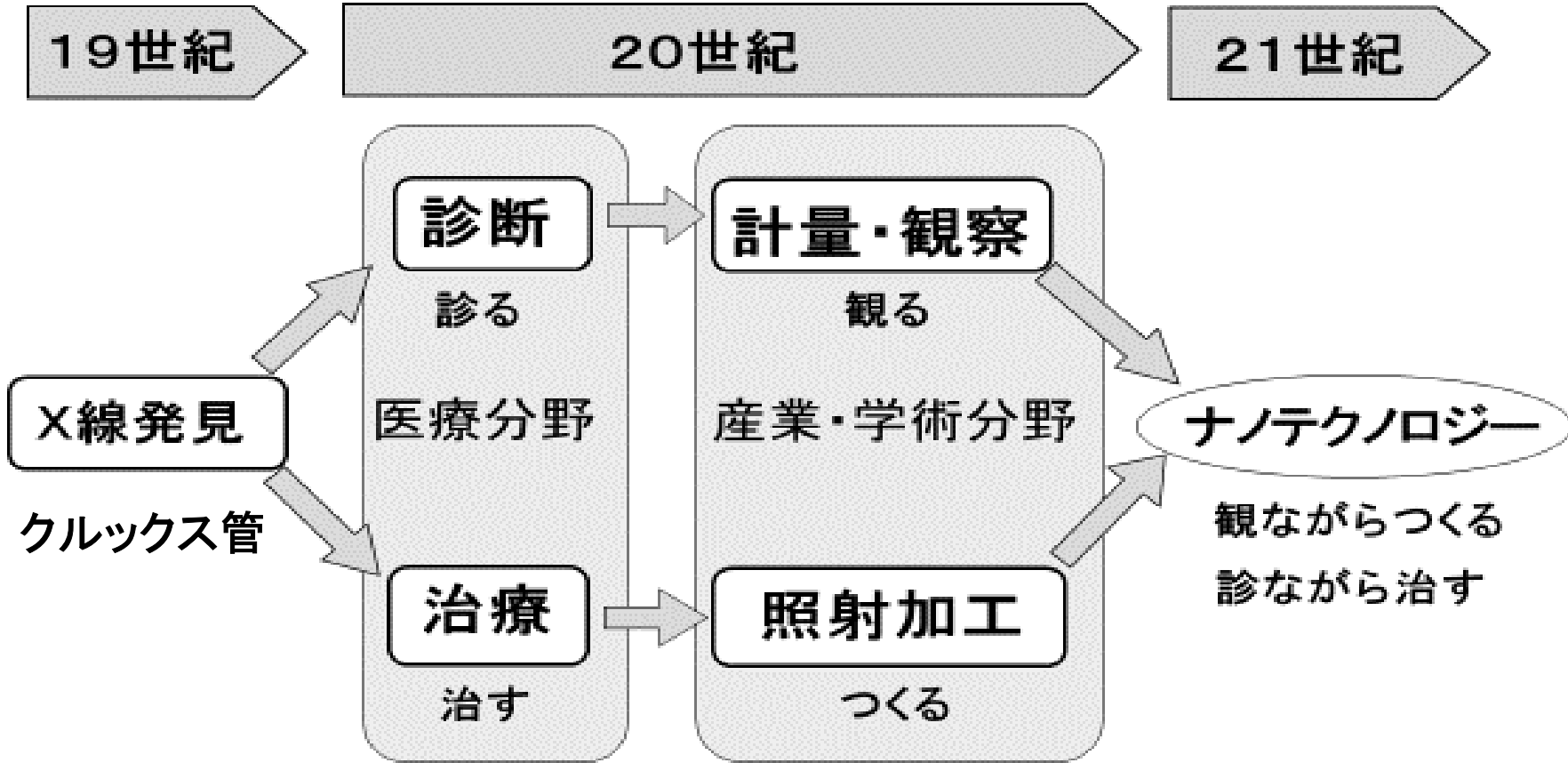
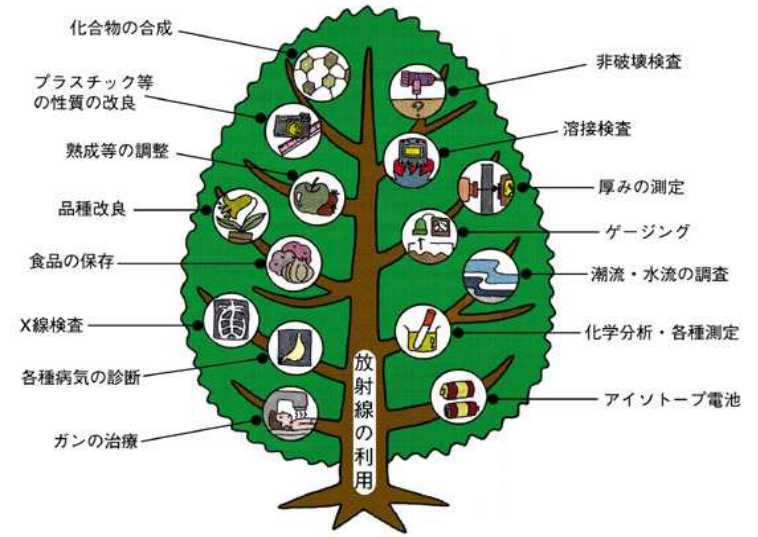
計測・検査
1,800億円

- 放射線測定器
- 非破壊検査 など

ラジアルタイヤの製造などの
高分子加工：1,100億円



X線発見に始まる 放射線利用発展の 大きな流れ



まとめ 1

クルックス管実験の観察が導く電子線学習

- ① クルックス管内の電子線は放射線である
電荷をもつ放射線(荷電放射線)の存在を知る
- ② 電子線観察から電離作用と透過性を理解できる
光の筋は電離作用と透過の結果である
- ③ 荷電放射線は電界と磁界の作用を受ける
もう一つの放射線の性質として学ぼう
- ④ クルックス管は加速器の原型
加速器は放射線利用手段の主役として発展
- ⑤ 放射線授業は人工放射線(X線、管内電子線)から始まる
スイッチオフで止められる放射線の認識

まとめ 1

クルックス管実験の観察が導く電子線学習

- ① クルックス管内の電子線は放射線である
電荷をもつ放射線(荷電放射線)の存在を知る
- ② 電子線観察から電離作用と透過性を理解できる
光の筋は電離作用と透過の結果である
- ③ 荷電放射線は電界と磁界の作用を受ける
もう一つの放射線の性質として学ぼう
- ④ クルックス管は加速器の原型
加速器は放射線利用手段の主役として発展
- ⑤ 放射線授業は人工放射線(X線、管内電子線)から始まる
スイッチオフで止められる放射線の認識

まとめ 2

放射線利用学習の方向性

1. 放射線が役に立つことを知るだけでは、放射線それ自体は依然として“得体が知れない”まま。それを科学的に理解することで、“得体(正体)を知る”。
2. 科学的に理解するには、放射線利用の具体的な事例を通して放射線の性質(透過性、電離作用、電磁界の作用など)を学ぶことである。
3. 利用事例学習で放射線の性質を理解することは、線量、影響、防護の理解にもつながる。
4. 放射線利用施設の見学は放射線の安全確保を身近に学べる貴重な機会。