

平成20年6月6日

駒場総合科目「環境・エネルギー問題を考える」

## 放射線と環境

1. 放射線とは？
2. 環境応用
3. 安全・セキュリティ応用
4. 品種改良

東京大学工学部システム創成学科

環境エネルギーシステムコース

上坂 充

レポート課題：講義の中から興味ある課題を選び(複数可)、A4 3ページ以上のレポート作成して提出のこと。

## 単位の説明

小さい方		大きい方	
m (ミリ)	$10^{-3}$	k (キロ)	$10^3$
$\mu$ (マイクロ)	$10^{-6}$	M (メガ)	$10^6$
n (ナノ)	$10^{-9}$	G (ギガ)	$10^9$
p (ピコ)	$10^{-12}$	T (テラ)	$10^{12}$
f (フェムト)	$10^{-15}$	P (ペタ)	$10^{15}$
a (アト)	$10^{-18}$		

### エネルギーの単位

電子に1Vかけたときの運動エネルギー

$$1\text{eV (電子ボルト)} = 1.6 \times 10^{-19}\text{J}$$

# 放射線とは？

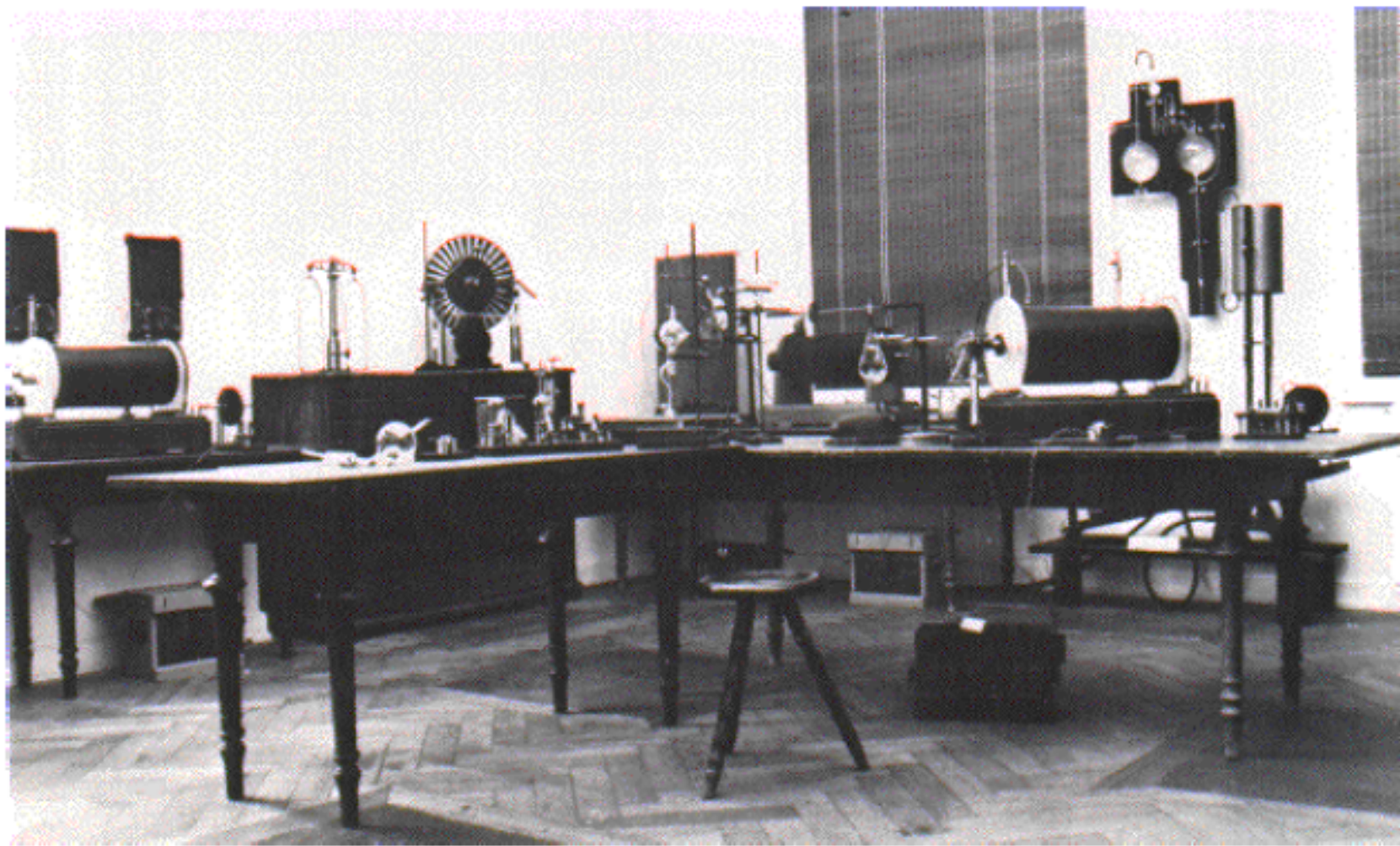
- 1 . 電子が発生する光・電磁波 . . . . 低エネルギー (eV以下)
- 2 . 原子が発生する電子・X線 . . . . 中エネルギー (keV程度)
- 3 . 原子核から発生する放射線- . . . 線-  
. . . . 高エネルギー (MeV以上)

相対性理論より

$$E \text{ (エネルギー)} = m \text{ (質量)} c \text{ (光速)}^2$$

電子の質量	$9.1095 \times 10^{-31} \text{ kg}$	0.511 MeV
陽子の質量	$1.6727 \times 10^{-27} \text{ kg}$	938 MeV

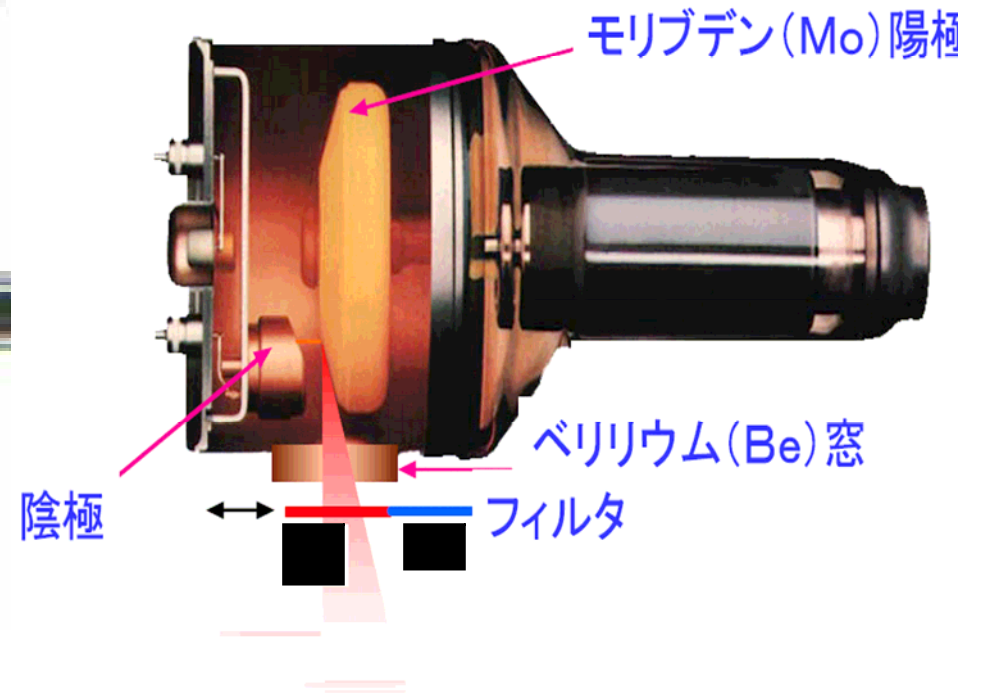
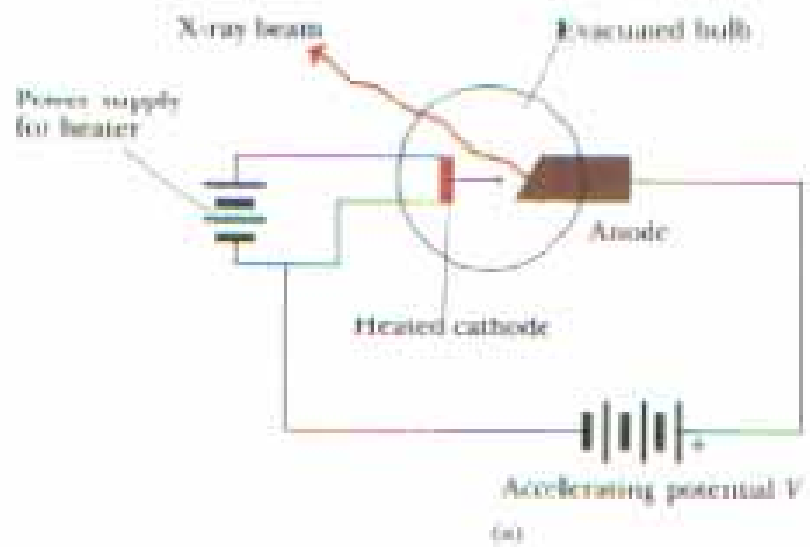
1895年



1895年



# 電子管X線源



# 光は電磁波である

マクスウェル方程式

電場  $\vec{E}$  に関する法則

$$\text{クーロンの法則 } \nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

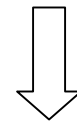
$$\text{電磁誘導の法則 } \nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

磁場  $\vec{B}$  に関する法則

アンペール・マクスウェルの法則

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

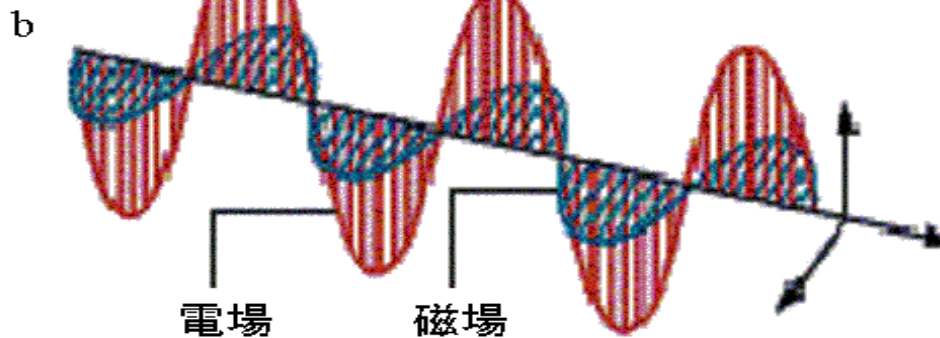
磁力線の湧き出し無しの法則  $\nabla \cdot \vec{B} = 0$



電磁波の方程式

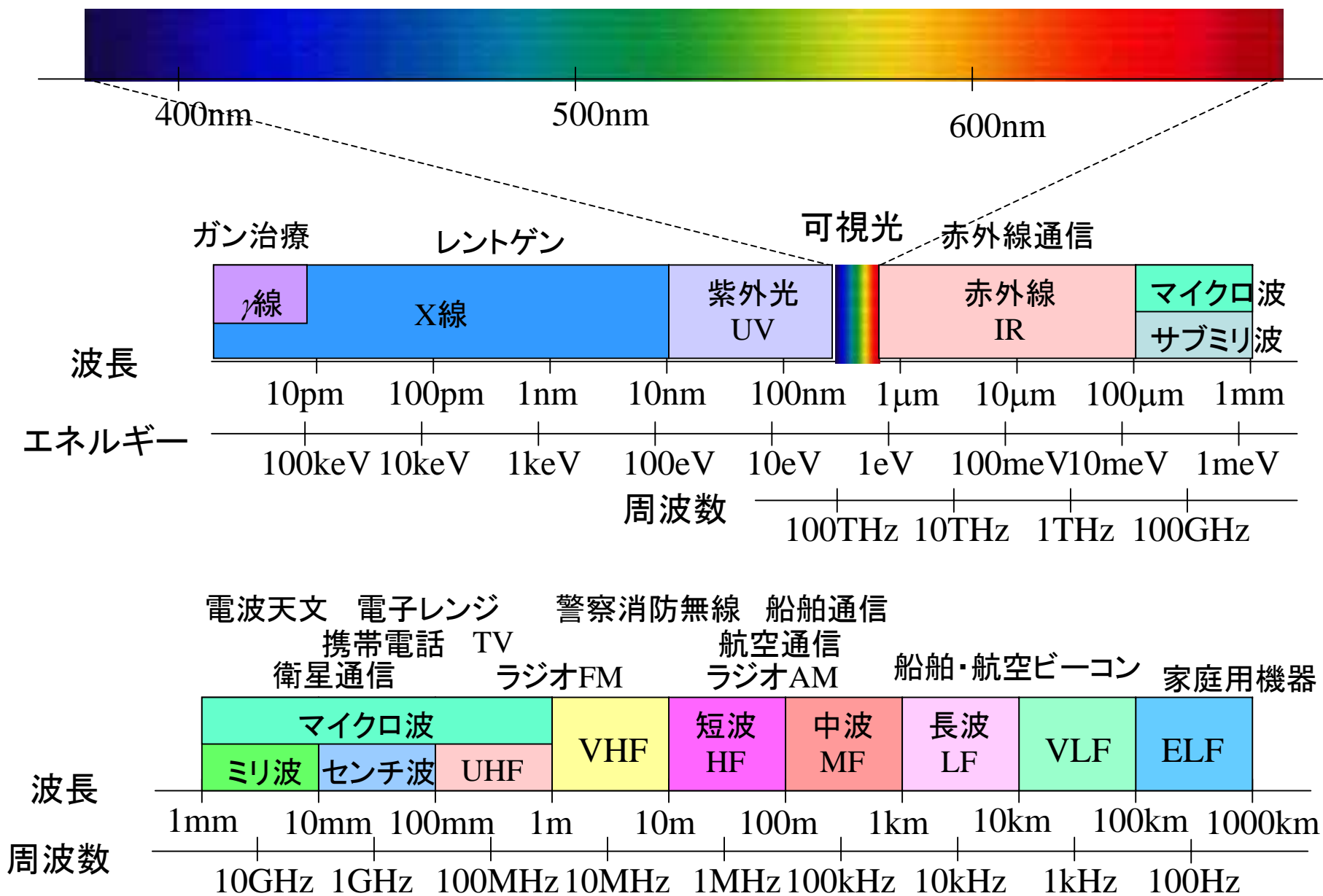
$$\left( \nabla^2 - \frac{\partial^2}{c^2 \partial t^2} \right) \begin{pmatrix} \vec{E} \\ \vec{B} \end{pmatrix} = \vec{f}(\rho, \vec{J})$$

$$\begin{pmatrix} \vec{E} \\ \vec{B} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \vec{E}_0 \\ B_0 \end{pmatrix} e^{i(k; \vec{x} - \omega; t)}, \quad k_i = \frac{2\pi}{\lambda_i}$$



いろいろな波長の重ね合わせ

# 電磁波の波長と呼称





radio continuum (408 MHz)

atomic hydrogen

radio continuum (2.5 GHz)

molecular hydrogen

infrared

mid-infrared

near infrared

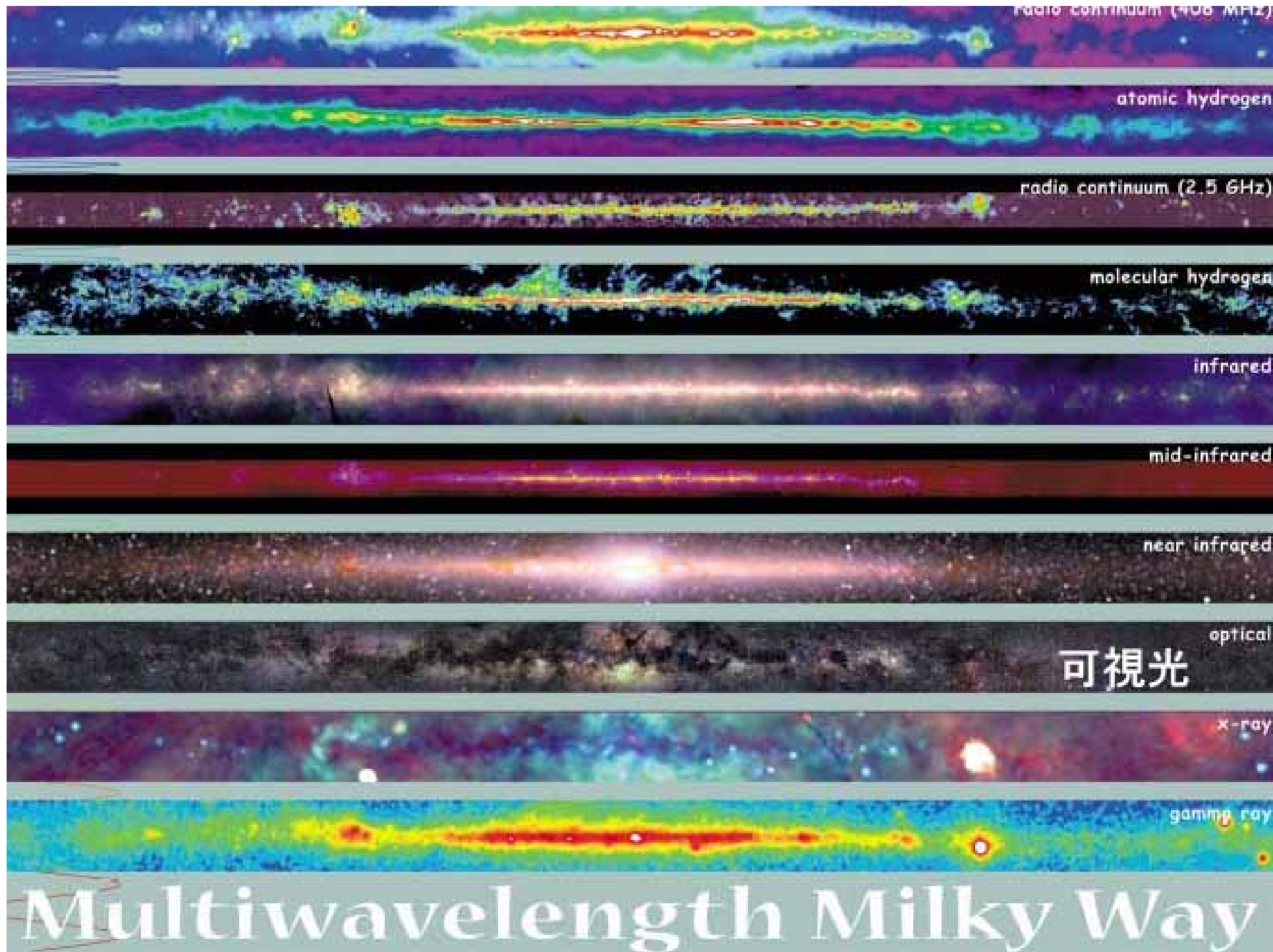
optical

可視光

x-ray

gamma ray

# Multiwavelength Milky Way



# 放射線はどれだけ危ないか

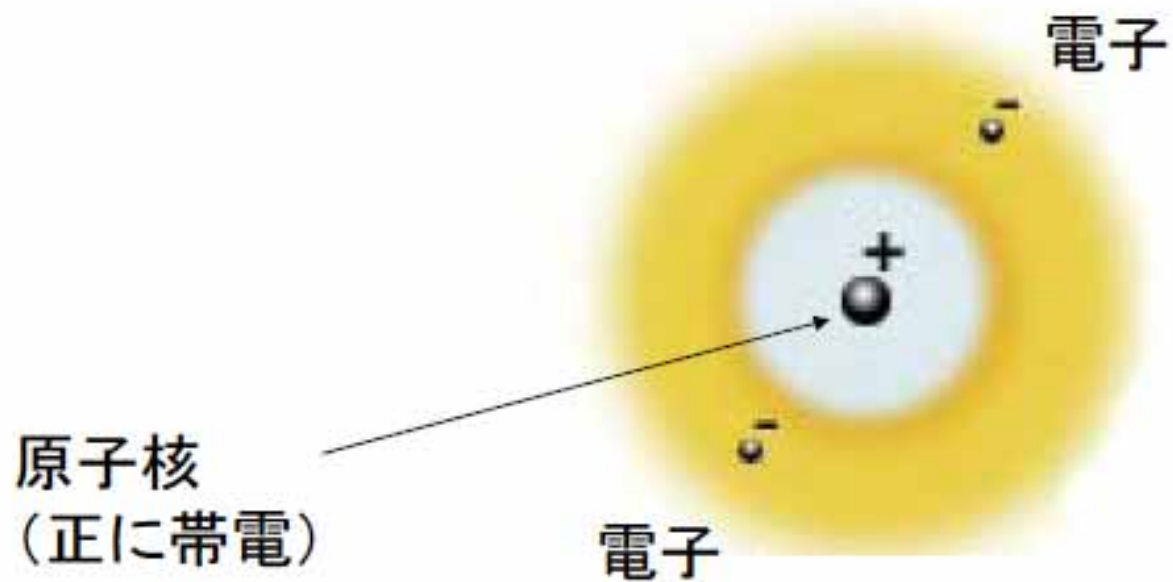
- 量
  - 線量
- 質
  - 線質
  - 放射線の種類
  - 単位長さを与えるエネルギーの大きさ

# 原子のモデル



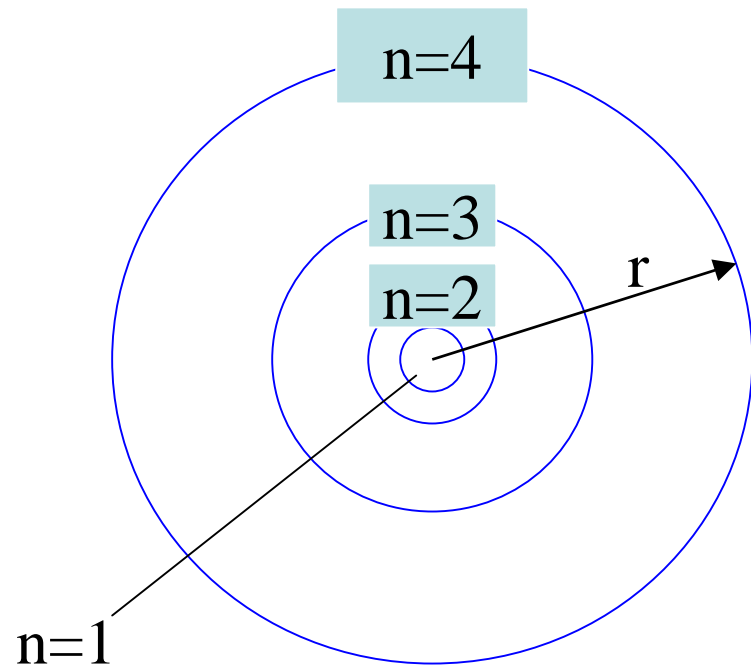
とにかく小さな粒

1900

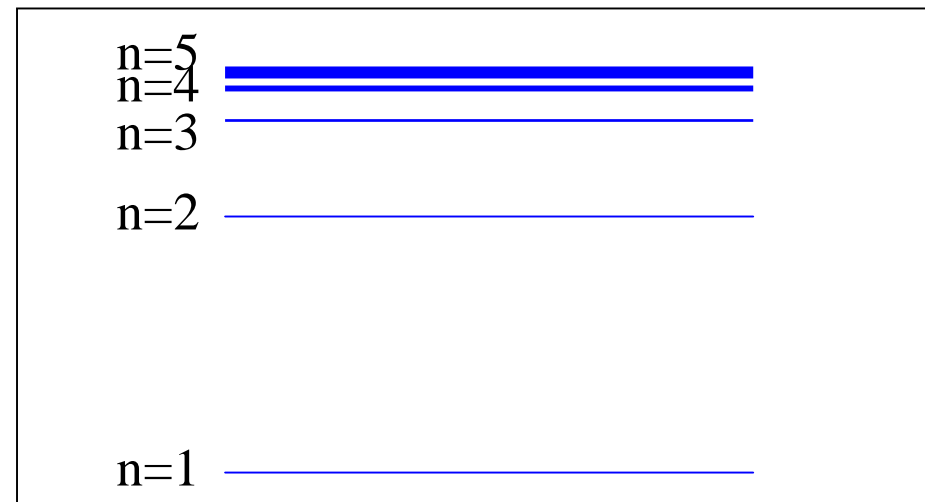


# エネルギー準位と遷移

円軌道の場合、電子は半径 $r$ をとる。実際は角運動量が $h/2\pi$ の整数倍( $n$ 倍, $n$ :主量子数)をとる(量子化条件)から、軌道半径 $r$ は $n^2$ に比例する離散的な値のみをとる。原子もこれと同じく $-1/n^2$ に比例する離散的な値をとる。(エネルギー準位)



通常、原子は基底状態に存在するが光を吸収することで励起準位に遷移する。励起準位からは光を放出しながら下の準位に戻る。

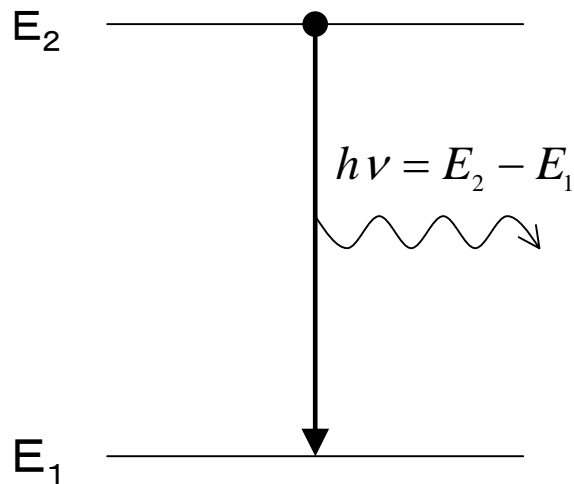


# 自然放出と誘導放出

Laser : **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation

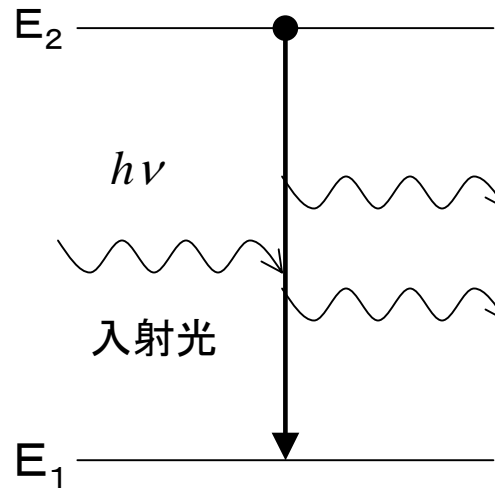
粒子(電子)のエネルギー準位 $E_1, E_2$ を考える。

自然放出



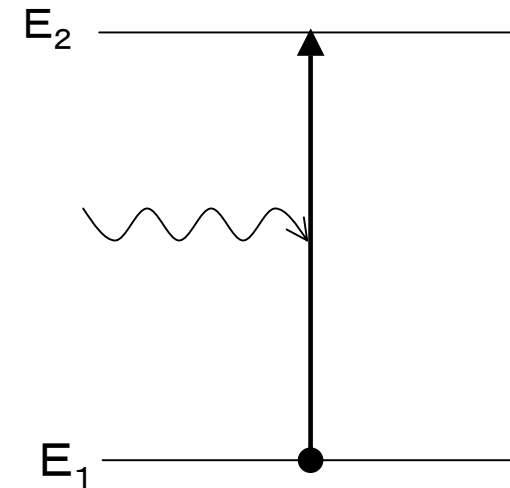
自然放出は $E_2$ から $E_1$ へ自発的な遷移によって起こる。

誘導放出



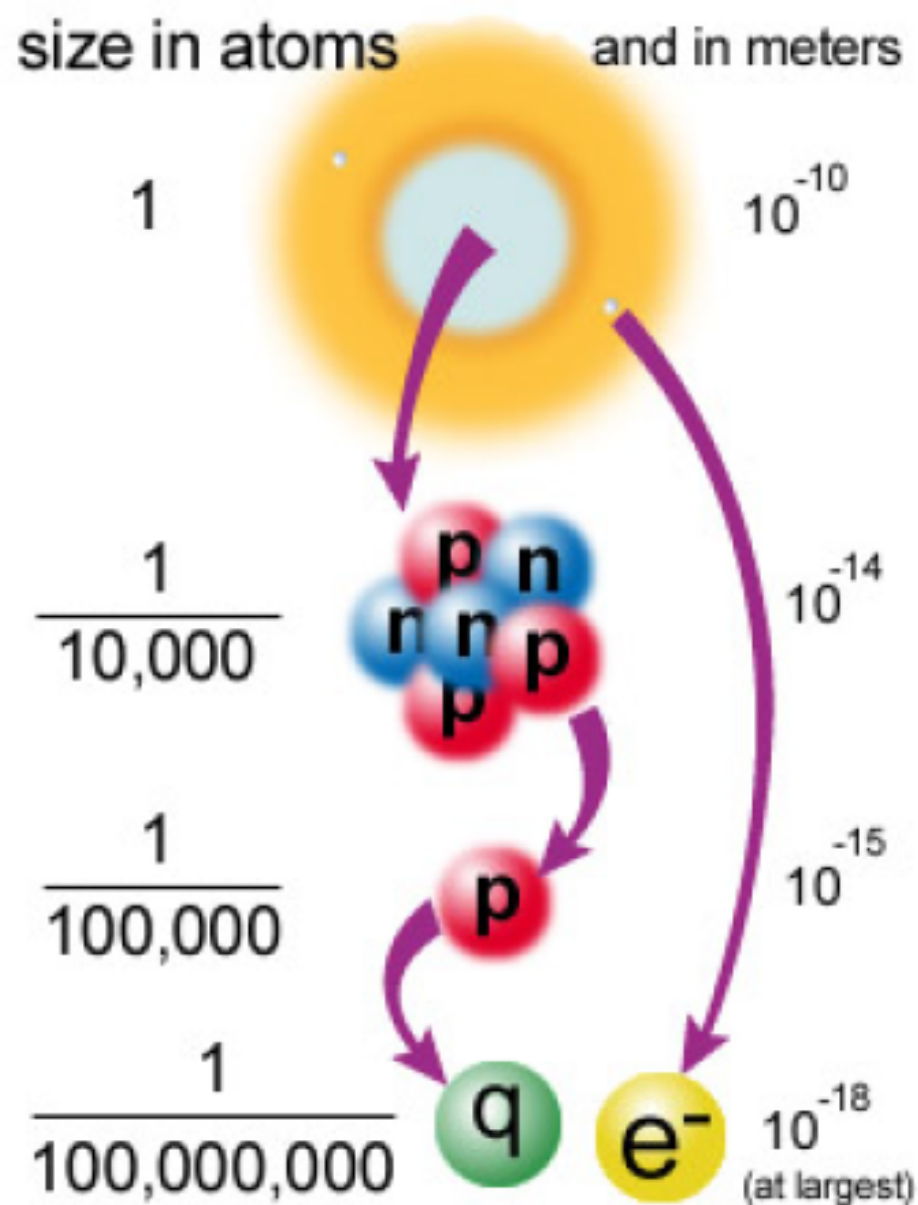
誘導放出は入射光からの刺激によって起こり、光増幅として利用される。

励起



吸収は入射光の刺激によって $E_1$ から $E_2$ への遷移が誘発されることによって起こる。

原子核を更に拡大して見ると。。。



# 原子核の崩壊(壊変)

- 放射性同位元素 (radioisotope: RI、  
アイソトープ)
  - 原子核は中性子と陽子からできている。
  - が、中性子と陽子の数のバランスが悪いと壊れてしまう。
  - 壊れるときに核の中身～粒子を放出する
- 崩壊はランダム
  - 一つ一つの崩壊がいつ起こるかはわからない

# 崩壊定数と半減期

- 崩壊定数  $\lambda$ 
  - 一個の原子核が単位時間あたりに崩壊する確率
  - いつも一定の割合で壊れていく
- 半減期  $T_{1/2}$ 
  - もとに存在した量が半分になるまでの時間



# $\alpha$ 崩壊

- $\alpha$  崩壊
  - $\alpha$  粒子 ( ${}^4\text{He}$ 原子核) が放出される (原子核が軽くなる)。
  - 放出される  $\alpha$  線のエネルギーは決まっている。

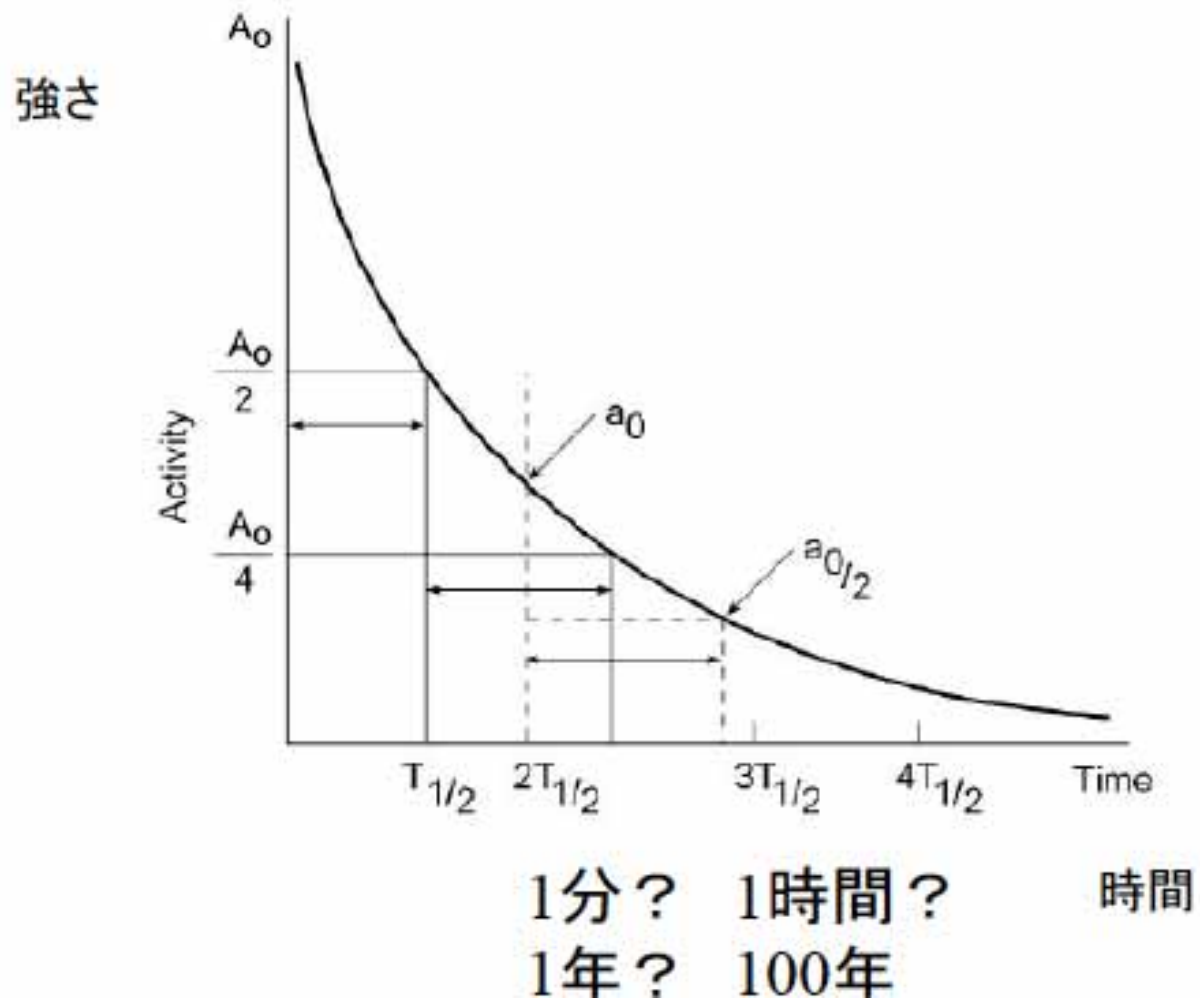
## $\beta$ 崩壊

- $\beta^-$ 崩壊(電子を出す)と $\beta^+$ 崩壊(陽電子を出す)
  - ニュートリノも放出

## $\gamma$ 崩壊

- 崩壊に伴い原子核が励起状態から安定する際に  $\gamma$  線が放出される。

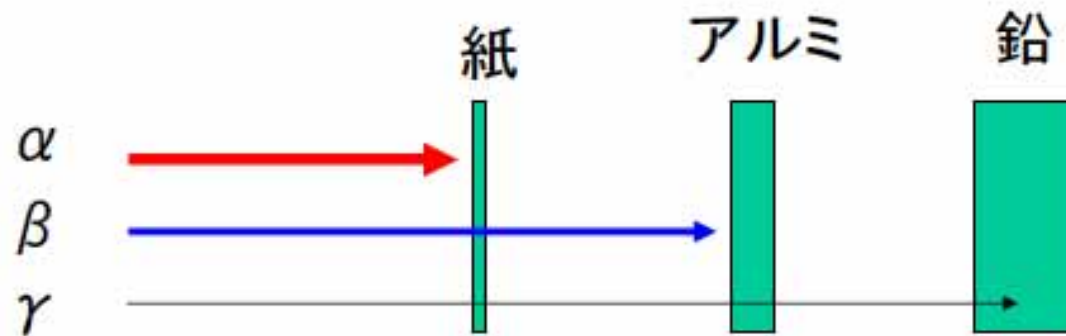
# 放射能



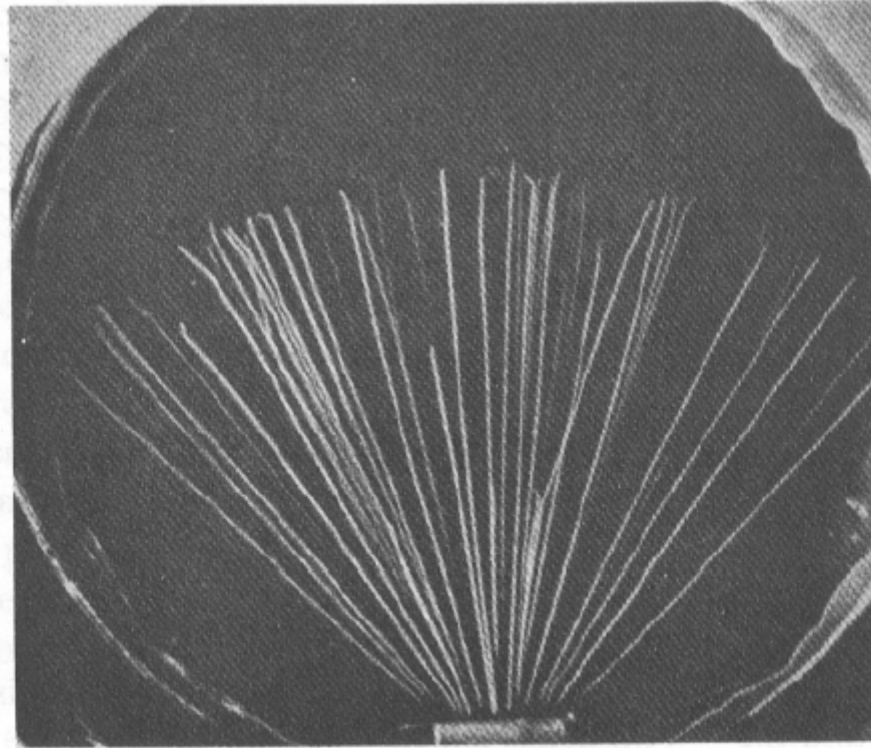
# $\alpha$ 線・ $\beta$ 線・ $\gamma$ 線

どう違うのか？

- 透過力が異なる。
  - $\alpha$ 線は、紙1枚でとまる。 $\beta$ 線は、アルミ板でとまる。 $\gamma$ 線は鉛でないととまらない。

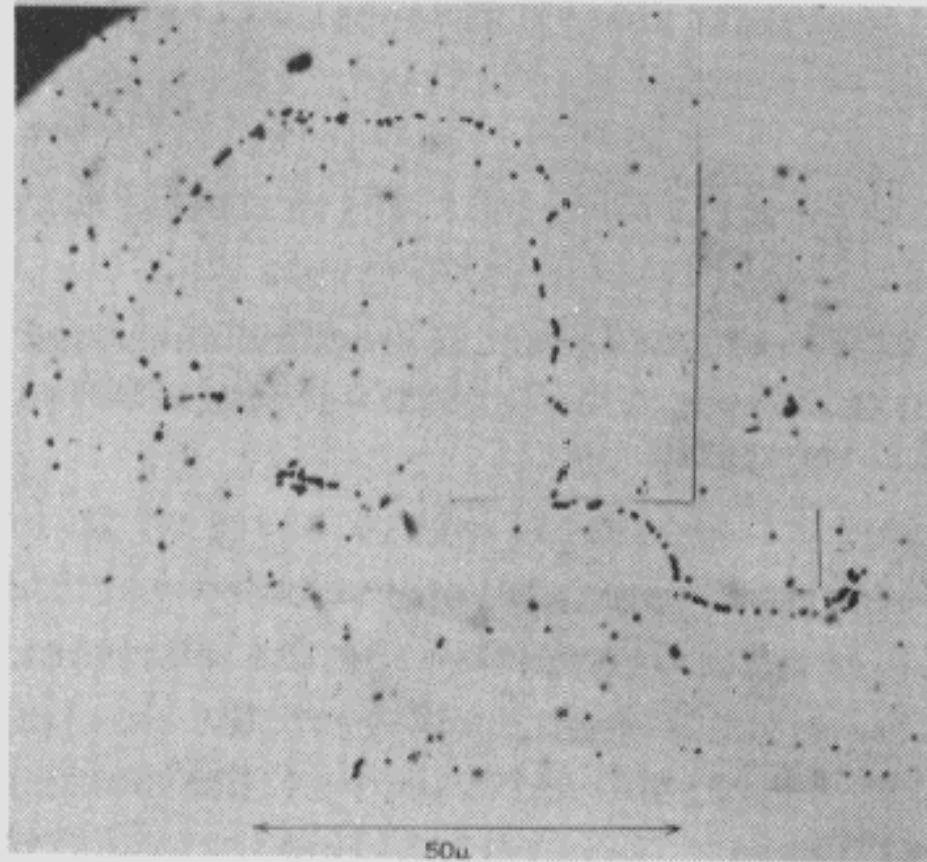


# $\alpha$ 線



**Figure 10-3.** Cloud chamber photograph of alpha-particle tracks from  $^{210}\text{Po}$ . (From F. Rasetti, *Elements of Nuclear Physics*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N. J., 1947.)

# $\beta$ 線

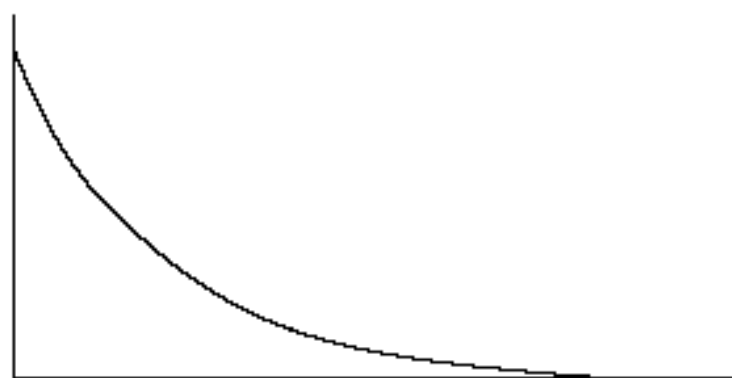


**Figure 13-6.** The tortuous path of an electron leads to an average range much shorter than the path length.

# $\gamma$ 線は物質を等価する際に少しずつ減ってくる

- 進む距離ごとにその数が一定の割合で減る。

ガンマ線の数

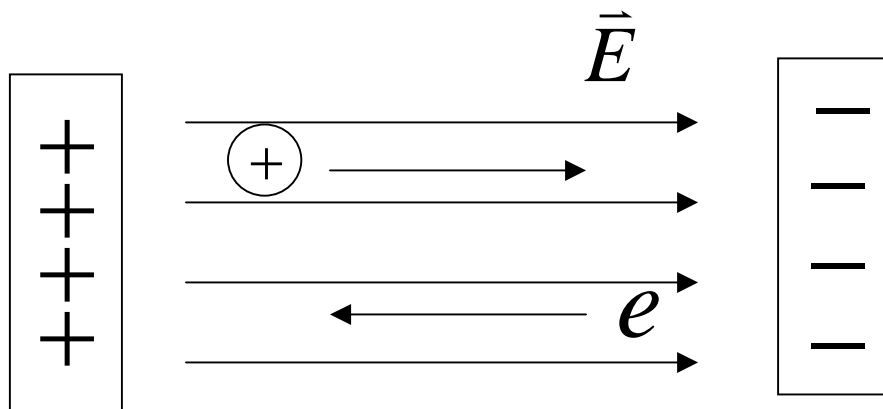


距離



# ビームの加速と制御

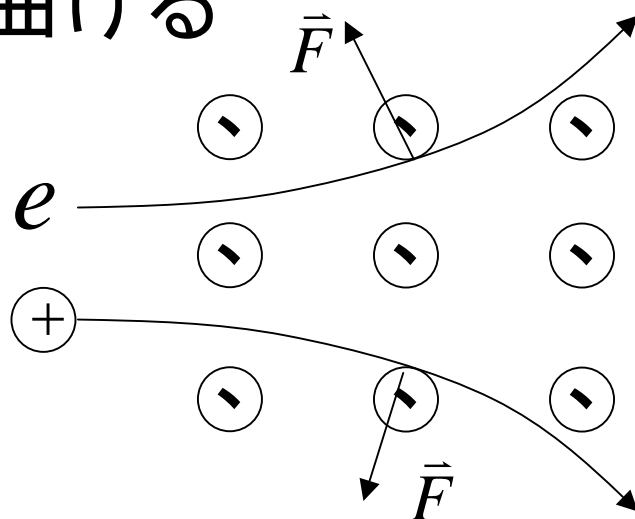
## 電場で加速する



連続に高い電圧をかけると放電してしまふ。真空ポンプを使っても数MVが限界。

そこで高周波を使うと100MV/m程度可能。放電する前に電場が変わるから。

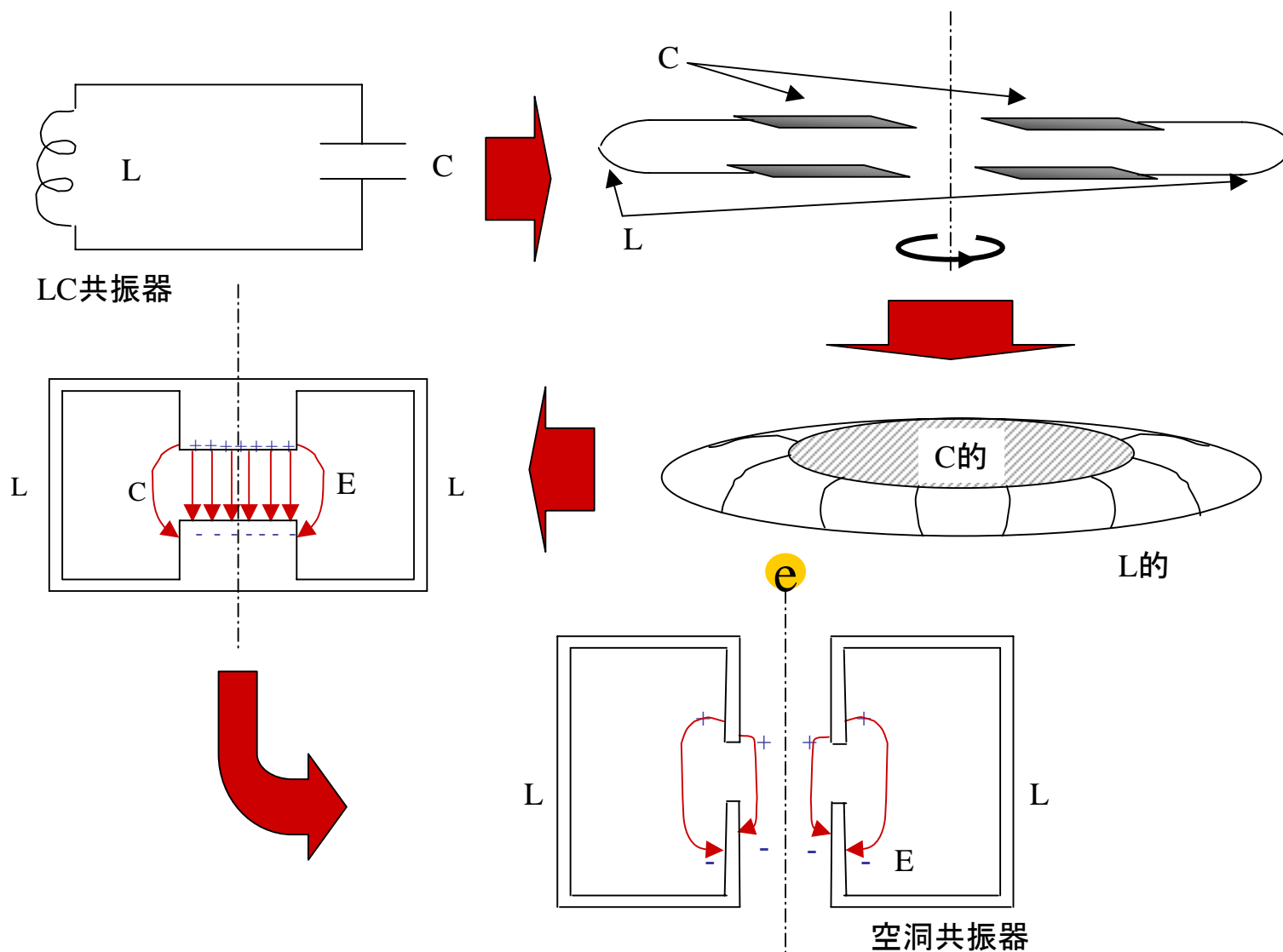
## 磁場で曲げる



## フレミング左手の法則

磁場

# 空洞共振器(立体回路)の電場で電子を加速



# 線形加速器ライナック

Linear Accelerator

東京大学原子力専攻

Sバンド・ツインライナック

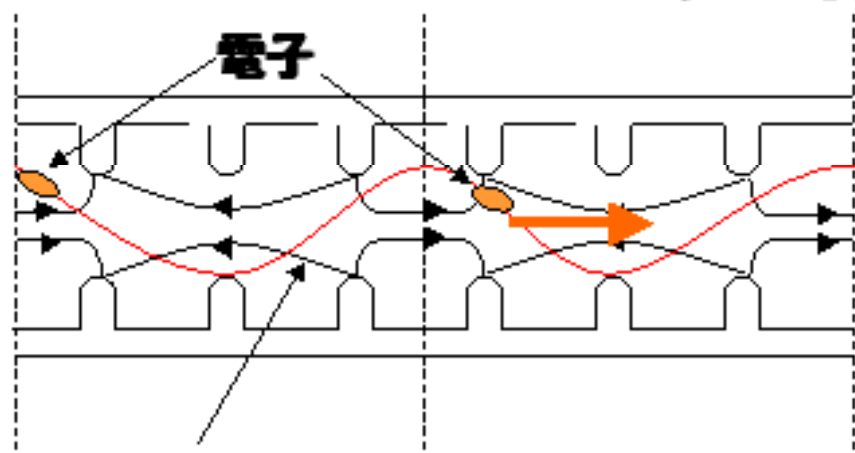


35MeV, 18MeVのフェムト秒電子ビームの生成。

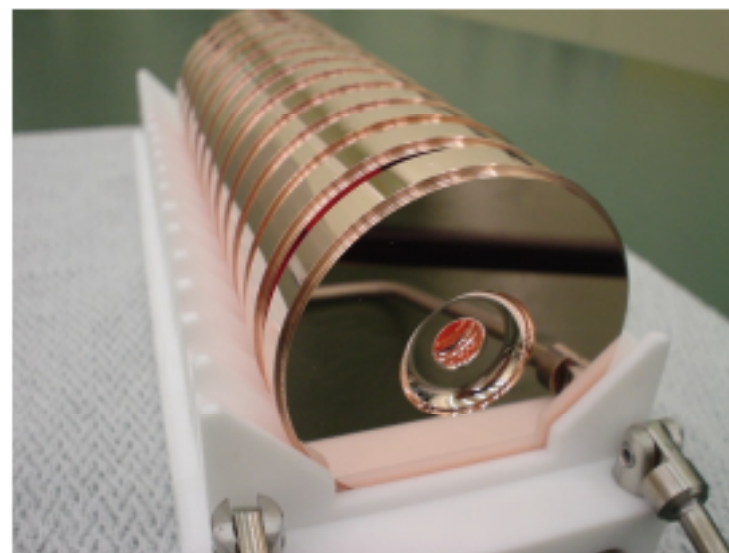


▲新15MWクライストロンと導波管立体回路  
位相安定性・同期の向上

# 加速器の原理



加速管内を光速で走る電磁波



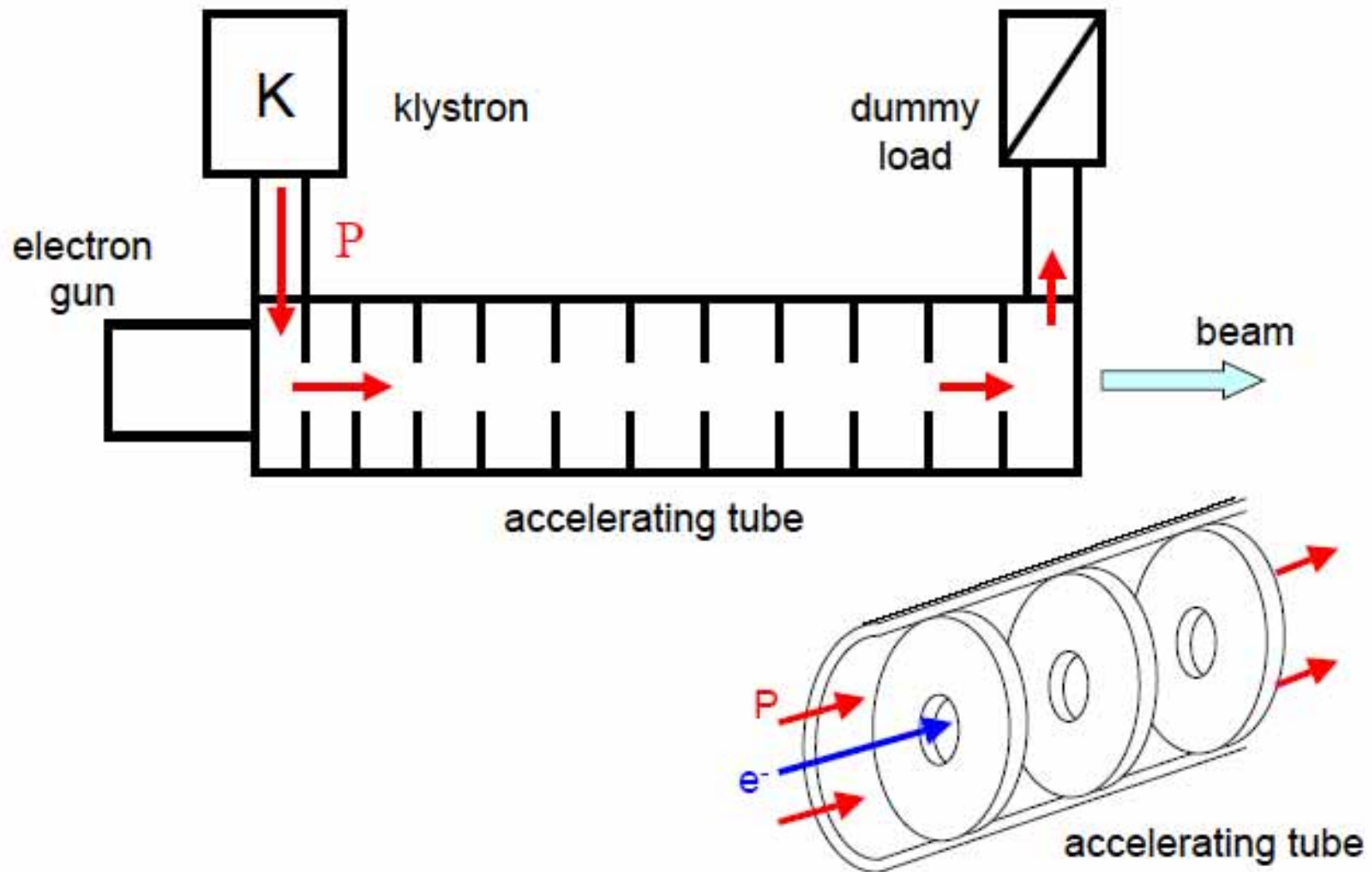
光速の電磁波で電子を加速する加速管  
(ダイヤモンド加工)

電子ビームは光速の電磁波に  
波乗りし加速される

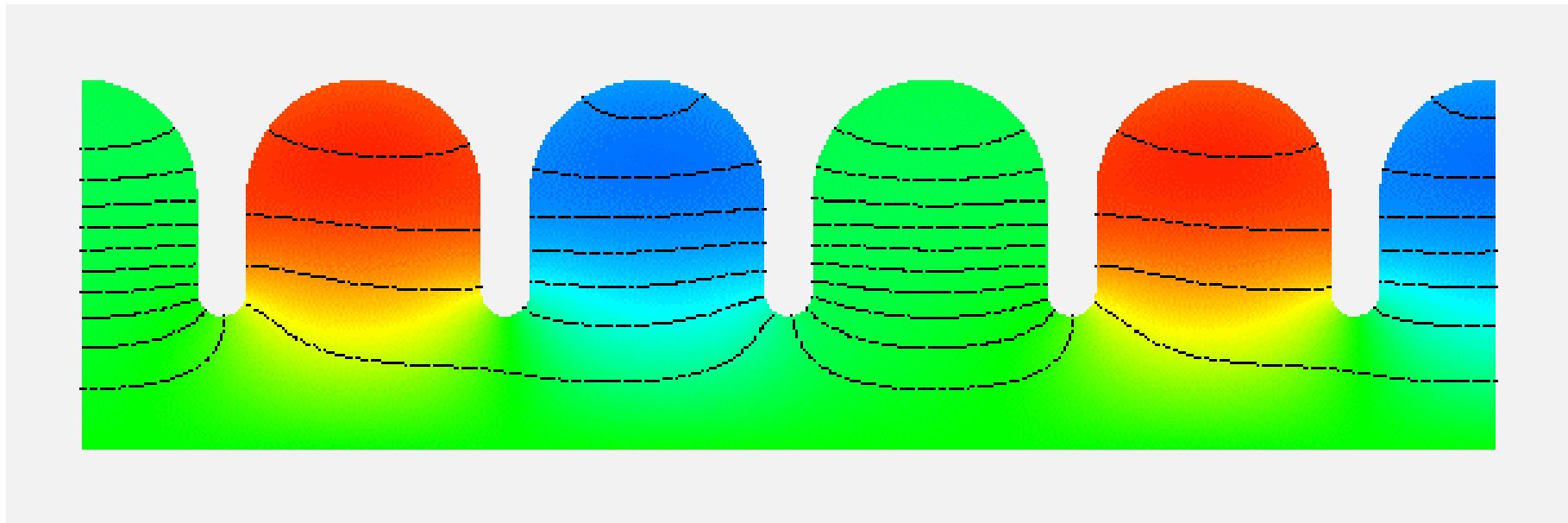


高波で浜に向かい進行するサーファー達

# 進行波型Linac

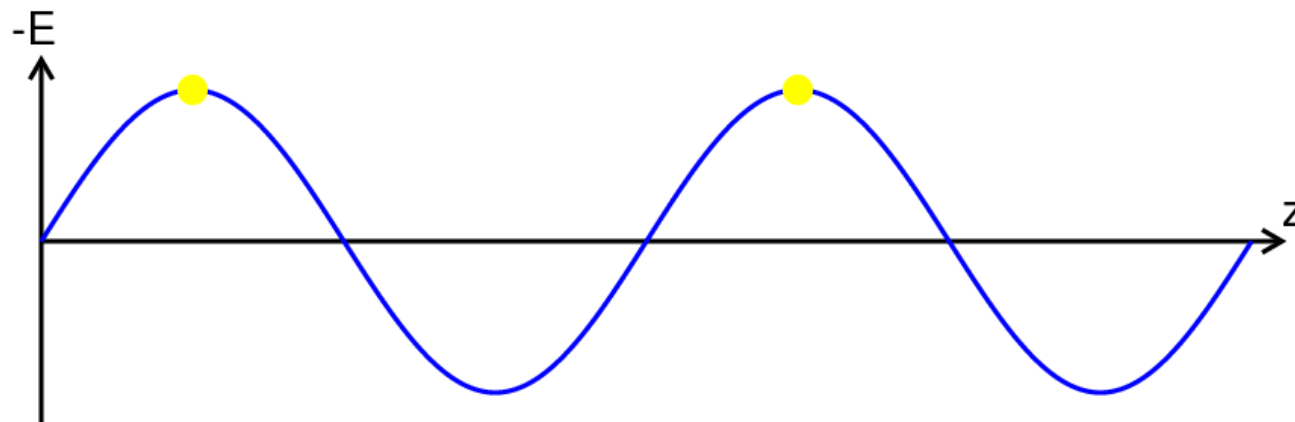
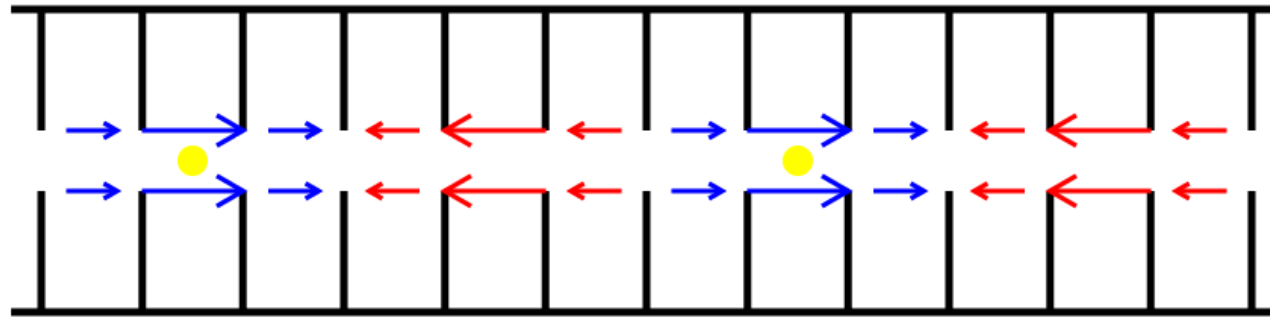


# 実際の電磁場分布

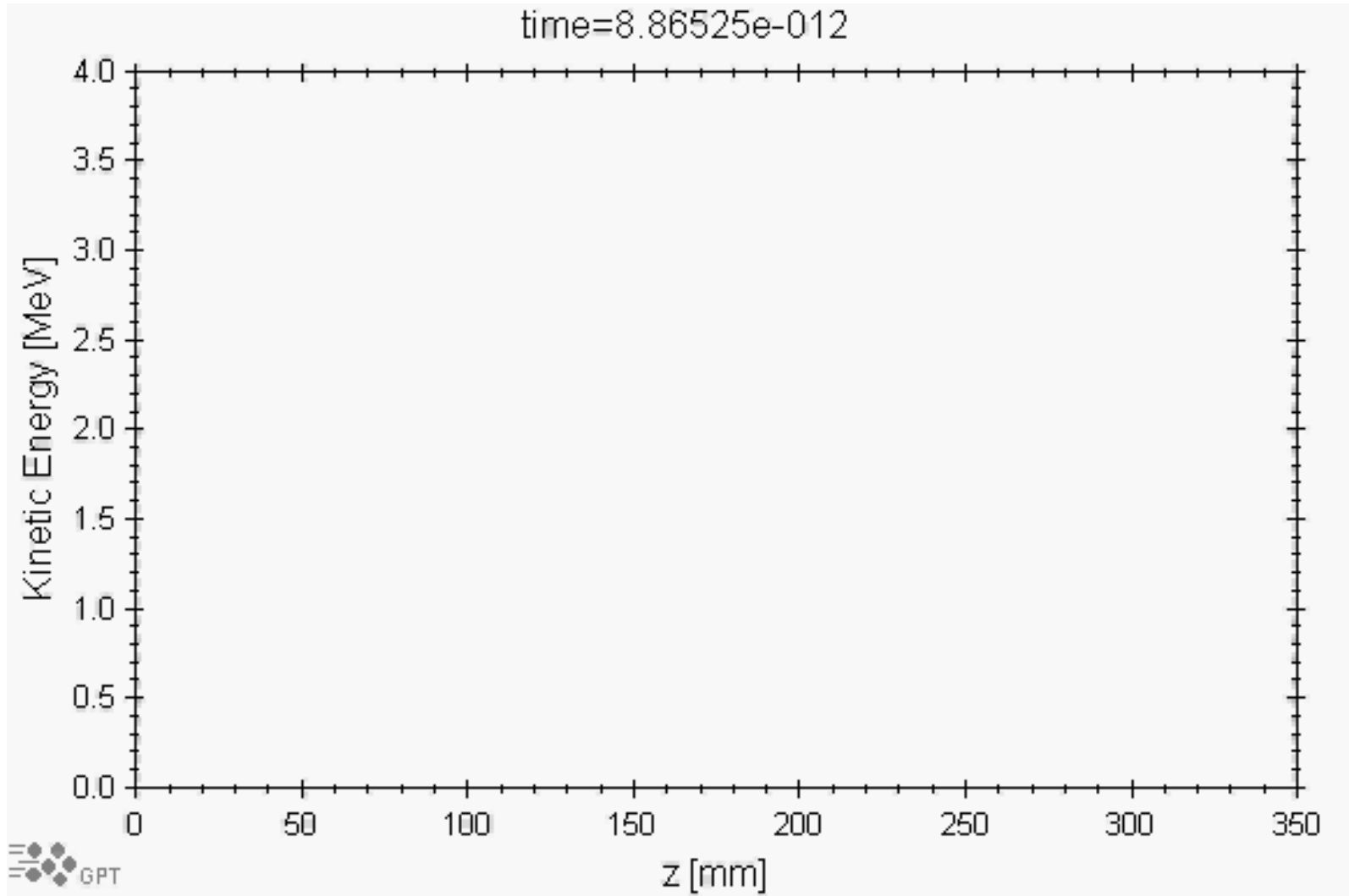


$2\pi/3$ モードの加速管中の電磁場の計算結果

# 進行波型 $2\pi/3$ モード



# $\pi$ モードを使った加速管の中のビーム





# 電子ボルト[eV]とジュール[J]とワット[W] = [J/s]

---

## 電子ボルト

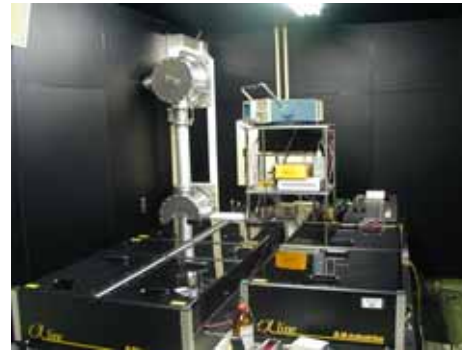
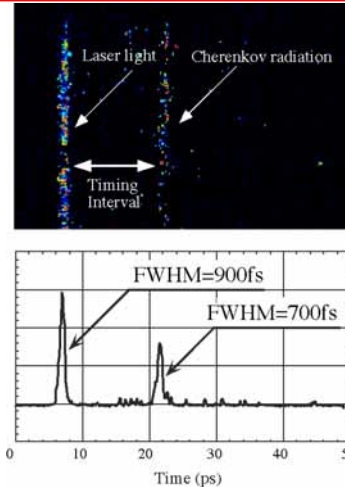
粒子1個のエネルギー	$1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19}\text{J}$	実はとても小さい
相対論( $E=mc^2$ )から重さの単位にもなる	$m_e(\text{電子}) = 0.511\text{MeV}$	
素粒子・原子・分子を変化させる指標	$m_p(\text{陽子}) = 920\text{MeV}$	
原子核反応を起こす粒子のエネルギー	MeV以上	
固体結合の原子を剥がすエネルギー	keV以上	
化学結合の剥がすエネルギー	eV以上	
熱運動のエネルギー	meV以下	

## ジュール、ワット

物をマクロに変化・破壊する指標

# フェムト秒電子ライナック

世界で最も安定かつ利用実績のあるフェムト秒ライナック・レーザー同期システム

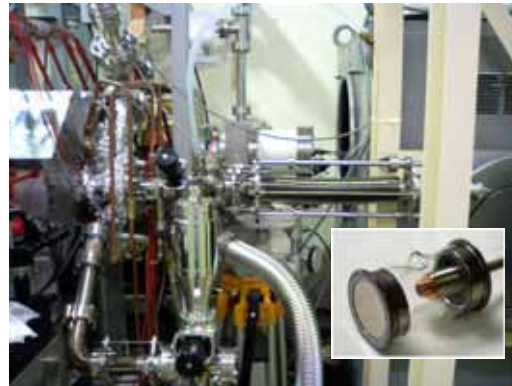
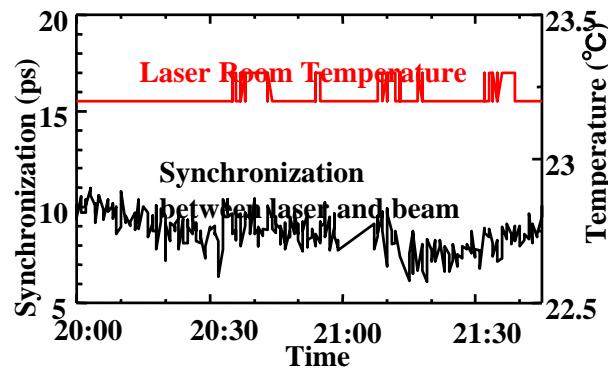


Femtosecond Beam Scienceの創成

レーザーと電子ビームの同期が  
600fs(RMS)で、世界最高クラス

カートリッジ式カソード交換システムと  
カソードカートリッジプラグ

フォトカソード使用実績



Cathode		QE	Charge (max)
Cu	BNL	$1.4 \times 10^{-4}$	10 pC
	SLAC	$3 \times 10^{-5}$	15 pC
	U-Tokyo	$1.4 \times 10^{-4}$	7 nC (@250 $\mu$ J)
Mg	BNL	$5 \times 10^{-4}$	4 nC (@70 $\mu$ J)
	SHI	$1 \times 10^{-3}$	< 2 nC
	U-Tokyo	$1.3 \times 10^{-4}$	4 nC (@70 $\mu$ J)
Cs <sub>2</sub> Te	CERN	0.015	2.4 nC
	KEK	<0.01	1.6 nC (@ several $\mu$ J)
	U-Tokyo	<0.01	9 nC (@several $\mu$ J)

M. Uesaka, et al., *Phy. Rev. E* 50 p3068(1994) (世界初の700fs電子パルス)  
 M. Uesaka, et al., *Trans. Plasma Science*, 28,4,p.1133(2000) (200fs高品質ビーム)  
 M. Uesaka et al., *Nucl. Instr. Meth. B*241 p.880 (2005) (安定同期システム)

# X-band(11.424GHz)小型電子ライナックを用いた コンプトン散乱単色X線源の開発

2色X線CTによるラット3次元像(X線: 40keV,70keV)



[John Lewin, M.D. - University of Colorado Health Sciences Center:](#)

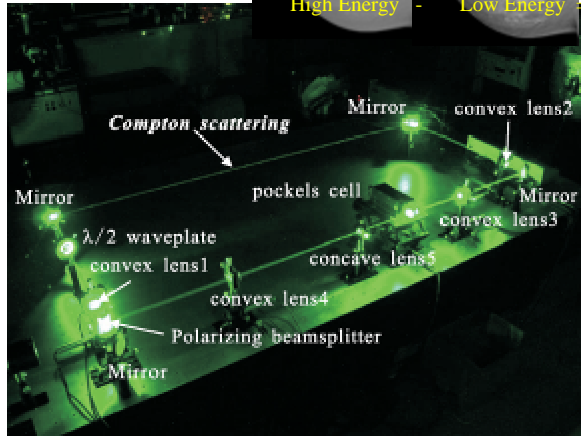


平成19年度より文科・厚労省  
科研費による  
利用開始

X線造影薬品送達システムによる  
2色差分イメージング

High Energy - Low Energy

Iodine Image



電子ビーム: 30 MeV, 20 pC/bunch,  $10^4$  bunches/RF pulse, 10 pps  
レーザー: Q-switch Nd:YAG

X線: 1064 nm, 2.5 J, 10 pps  
21.9 keV,  $1.7 \times 10^9$  photons/s  
532 nm, 1.4 J, 10 pps  
X線: 42.9 keV,  $1.0 \times 10^9$  photons/s

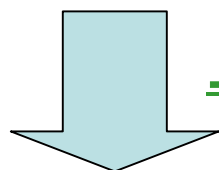
A. Fukasawa et. al., Nucl. and Meth. B **241**, p.921 (2005)  
K. Dobashi et. al., Jpn.J.Appl.Phys., **44**, p.1999 (2005)  
F. Sakamoto et. al., J. Korean Phys. Soc. **49**, p.286 (2006)

# 非破壊評価用可搬型950keV Xバンドライナック X線源の開発

経産省地域新生コンソーシアム研究開発事業(平成18, 19年度)

- 加速周波数: S-band (2.856GHz)
- 高周波源: Klystronと呼ばれる数MWクラスの装置

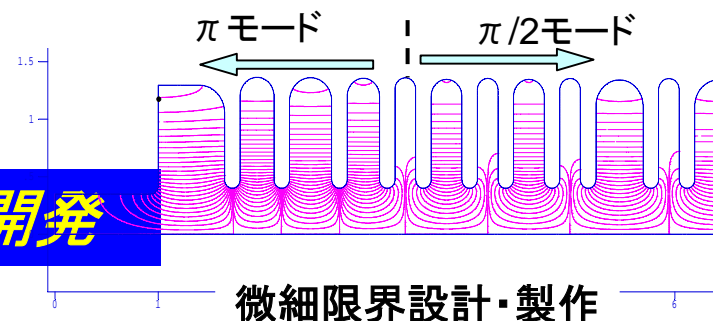
装置が大型



上坂研

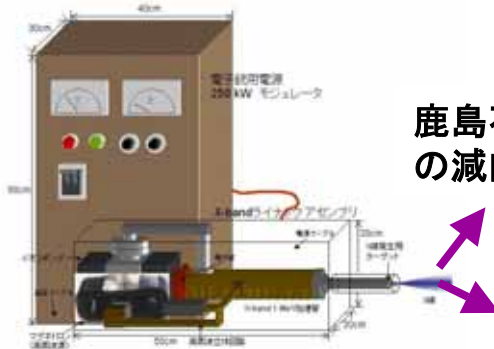
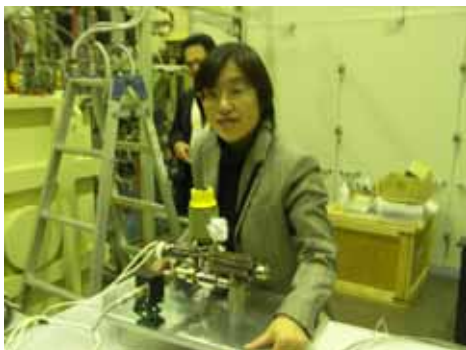
既存装置を小型化

小型・可搬型のX線非破壊評価装置の開発



- 加速管: X-band (9.4GHz)
- 高周波源: 低パワーmagnetronを使用

加速管: 持てるサイズ

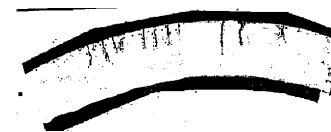
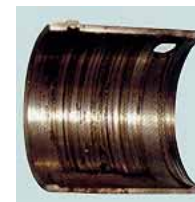


鹿島石油化学コンビナート圧力塔・配管の減肉検査(茨城県工業技術センタ)

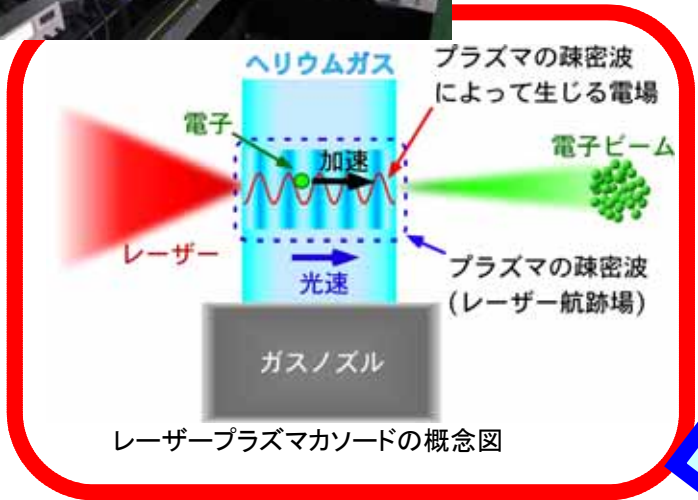


装置完成予想図

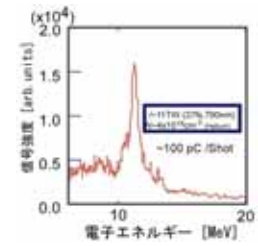
火力・原子力発電所の減肉・亀裂検査へ



# レーザープラズマカソード

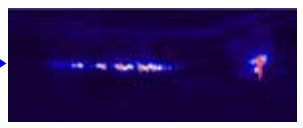


現在までの成果



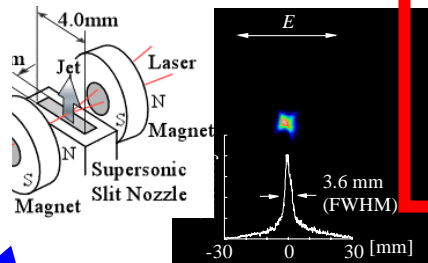
レーザープラズマカソードによる準単色電子発生に成功

T. Hosokai, *et al*: Phys. Rev. E, 73, 036407(2006)



シングルショットでのプラズマ計測体系構築

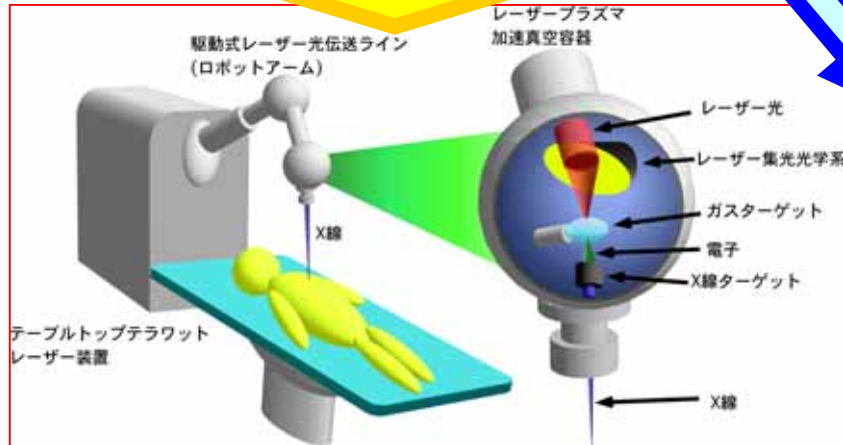
K. Kinoshita *et al*. Jpn. J. Appl. Phys. 45 (2006) 2757.



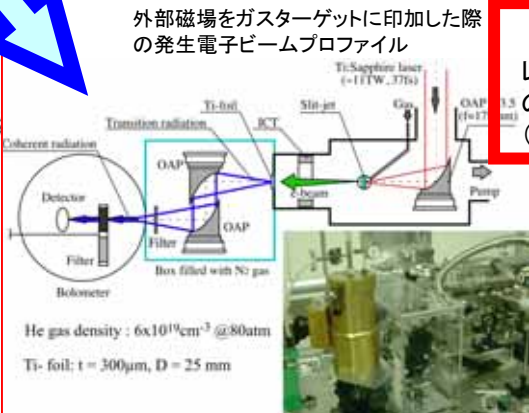
外部磁場をガスターゲットに印加する事により、電子ビームの発生方向、指向性の飛躍的な向上 (世界一)

T. Hosokai, *et al*: Phys. Rev. Lett. 97, 075004(2006)

これから放射線化学・医学応用

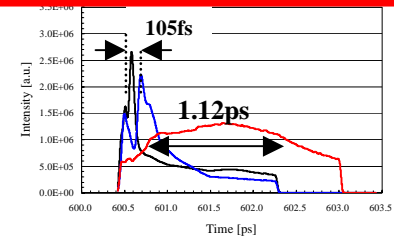


レーザープラズマカソードを用いたピンポイントセルセラピー



遷移放射を用いた電子ビームバンチ長計測の実験対系 T. Ohkubo, *et al*: Phys. Rev. STAB. 10, 2234(2006)

レーザープラズマカソードからの電子ビームのバンチ長を遷移放射を用いる事により計測 (世界初)



# 環境応用

## 1、有毒ガスの電子ビーム処理

- ・ビームの種類と相互作用の差異

## 2、環境ホルモンの電子ビーム処理

- ・ダイオキシンとは何か。

## 3. 揮発性有機物(Volatile Organic)の除去

# 電子ビームによる 排ガス浄化技術開発の動向

(独)日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究部門  
有害有機化合物除去技術研究グループ

箱田 照幸・島田 明彦・広田 耕一

## 発表内容

1. 原子力機構における有害有機物含有ガスの浄化技術開発
2. 国際原子力機関による有害有機物含有ガス浄化に関する研究調整計画
3. 中国などにおける電子ビームによる脱硫脱硝技術開発

風



太陽

NOx

航空機



SO<sub>2</sub>

HCl

火山

硫酸  
硝酸

SOx

NOx

HCl

SOx

NOx

SOx

NOx



船舶



工場



自動車

森林



酸性雨



湖

河川

数百km~数千km



# 電子ビーム排ガス処理

## 酸性雨の被害が深刻な問題



旧西ドイツのシュバルツバルトにおける酸性雨等による森林被害



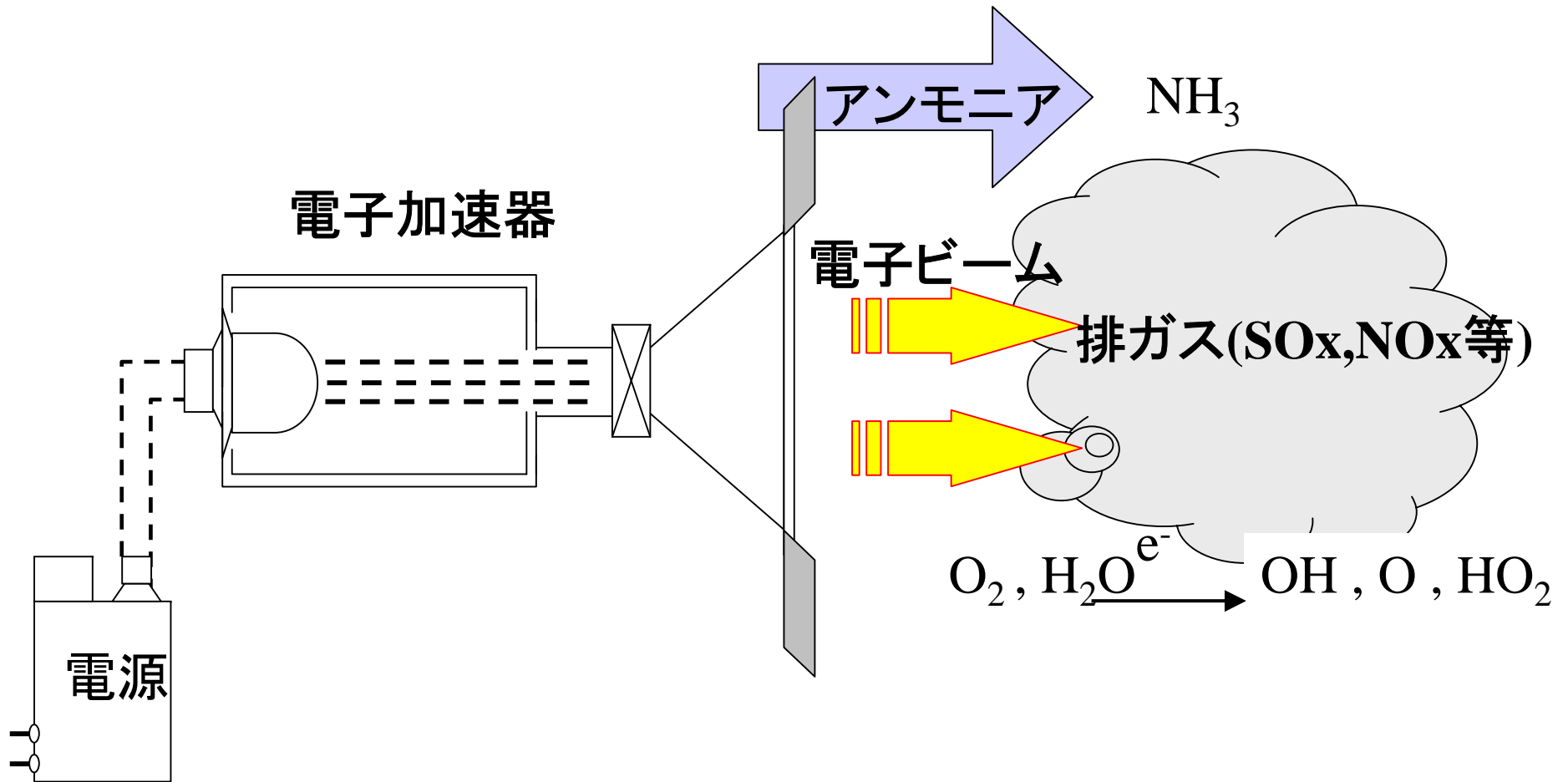
旧西ドイツのルール地方郊外にあるヘンテン桶の石像  
(1702年製作)  
1909年撮影

Ornament figure at the Herten Castle  
: Westfälisches Amt für Denkmalpflege.

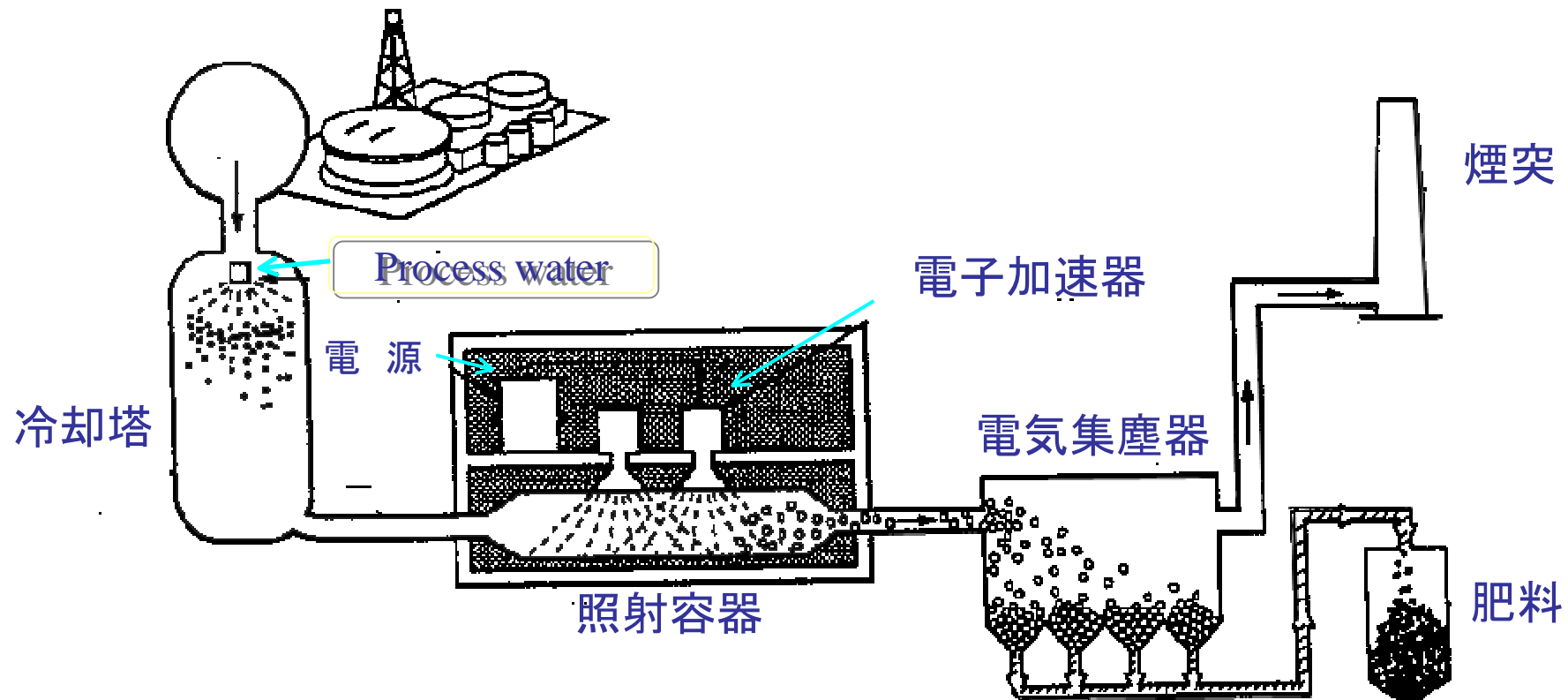


これらは火力発電所からの排煙中のSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>が主な原因

電子ビームを照射しSO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>を除去  
副生品として硫安、硝安を回収  
ゼロエミッションに適合



# 「放射線を利用した排ガス浄化の新しい方法」

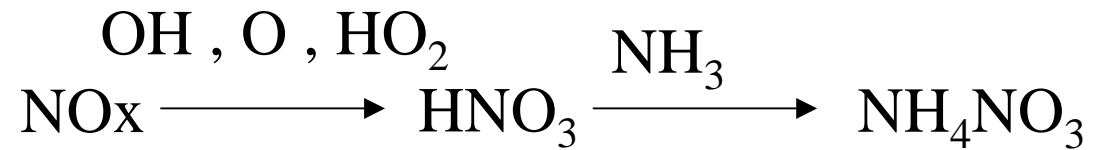
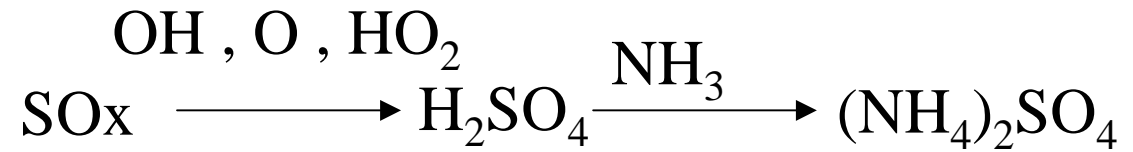


除去率:  $\text{SO}_2$  90%  
温度:  $65\sim 70^\circ\text{C}$

線量: 10~15hGy

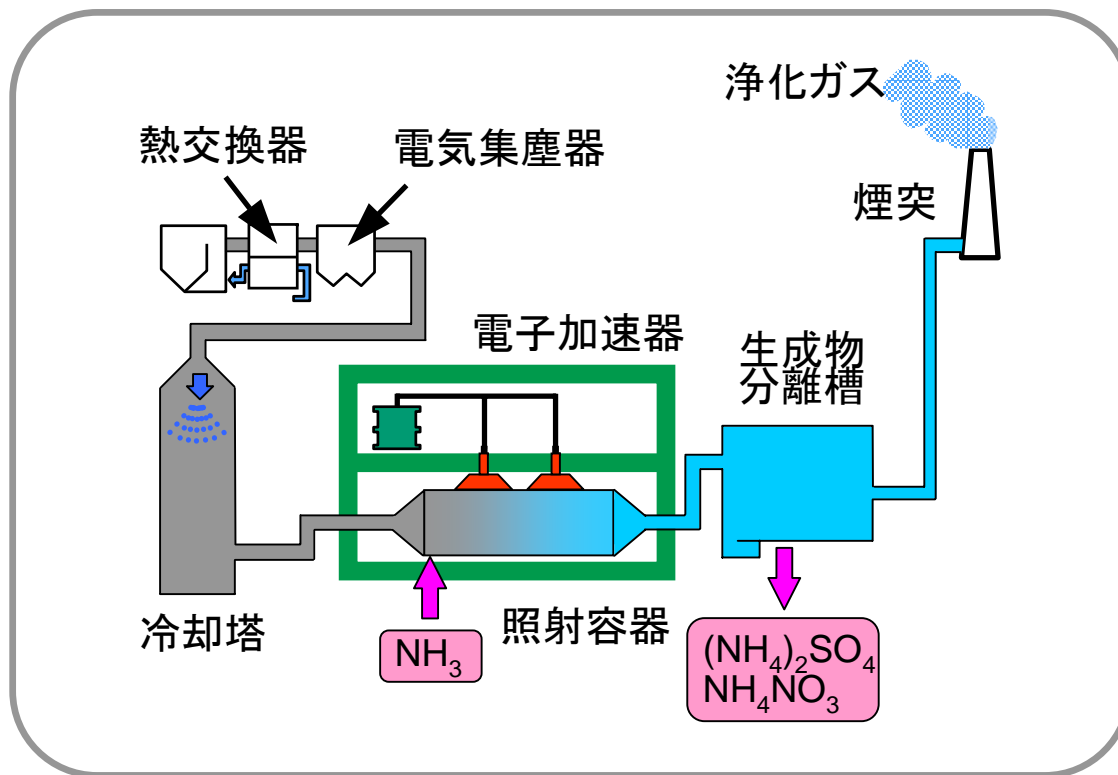
## 硫安、硝安の生成

副生品の硫安、硝安  
は肥料として利用

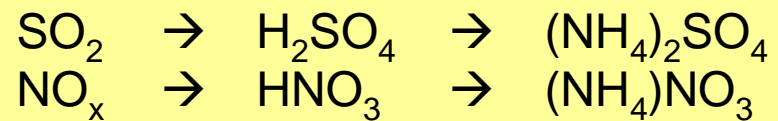


# 電子ビームによる脱硫脱硝パイロット試験

## 新名古屋火力発電所における試験施設



### 電子ビームによる $\text{SO}_2/\text{NO}_x$ の酸化・中和過程



### 利点

- 乾式で脱硫・脱硝を同時処理
- 従来法(湿式)の2/3のコスト

# 実規模の脱硫脱硝処理施設



成都(中国)1997～  
ガス流量: 300,000 m<sup>3</sup>/hr



杭州(中国)2003～  
305,400 m<sup>3</sup>/hr

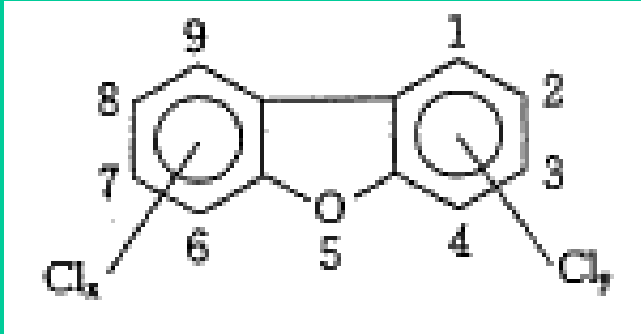
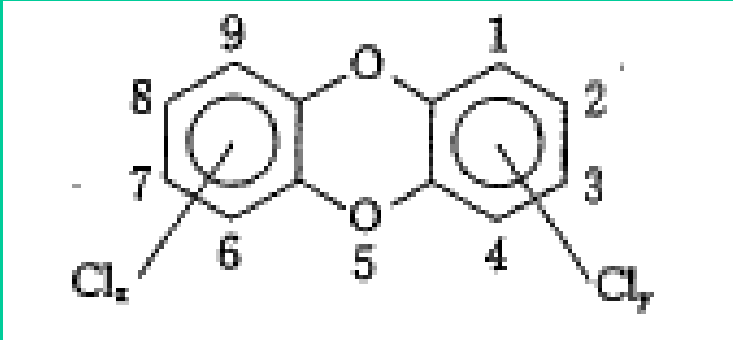


ホモジャーニー(ホーランド)2001～  
270,000 m<sup>3</sup>/hr



北京(中国)2008～  
630,000 m<sup>3</sup>/hr

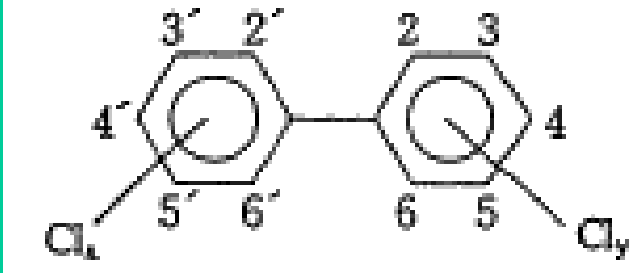
**X<sup>5/8</sup>IV VII i 𠵼𠵼**



» ①(18) ii 𠵼𠵼viii 𠵼𠵼 - ii IV VII i 𠵼𠵼  
 ④PCDDs ④

» ①(18) ii 𠵼𠵼viii 𠵼𠵼 𠵼𠵼𠵼𠵼  
 (PCDFs)

**X<sup>5/8</sup>IV VII i 𠵼𠵼**

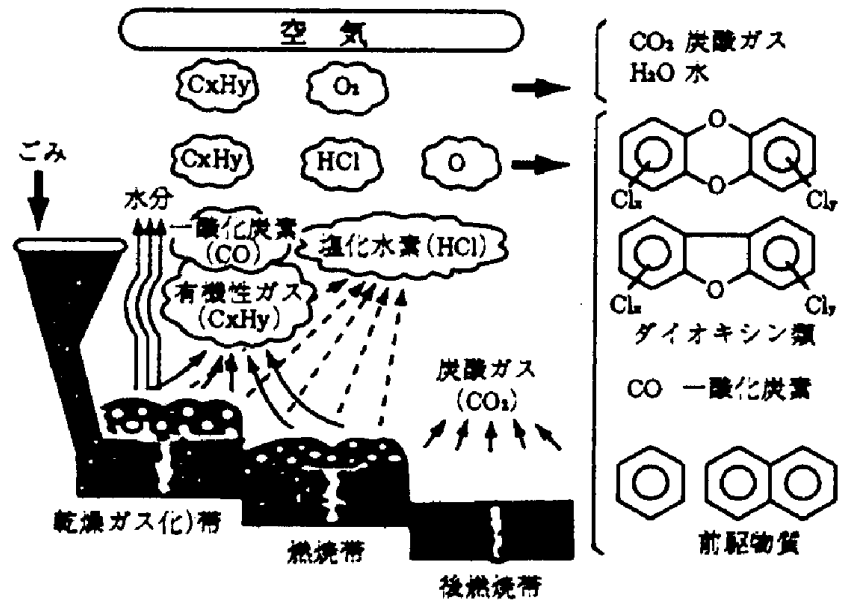


L 𠵼𠵼 ← K<sup>'''</sup> .

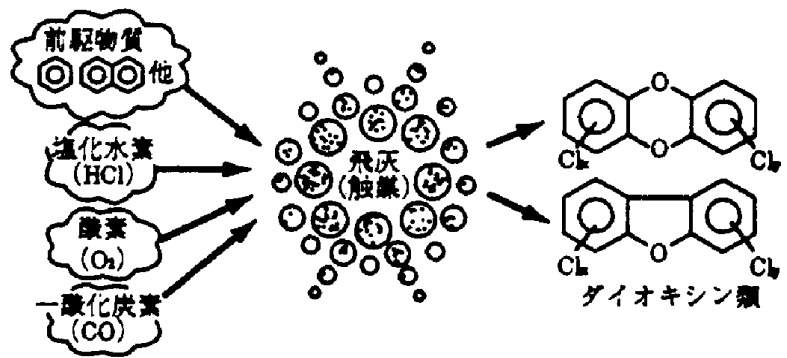
L 𠵼𠵼 ← K PCB ④Co-planarPC ④

ⅣⅦⅱ ㊦㊧㊨㊩㊪㊫㊬㊭㊮㊯㊰㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿

一次生成



二次生成



㊦㊧㊨㊩㊪㊫㊬㊭㊮㊯㊰㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿







# 都市ごみ燃焼排ガス中ダイオキシン類の分解

平成11年ダイオキシン類特別対策措置法

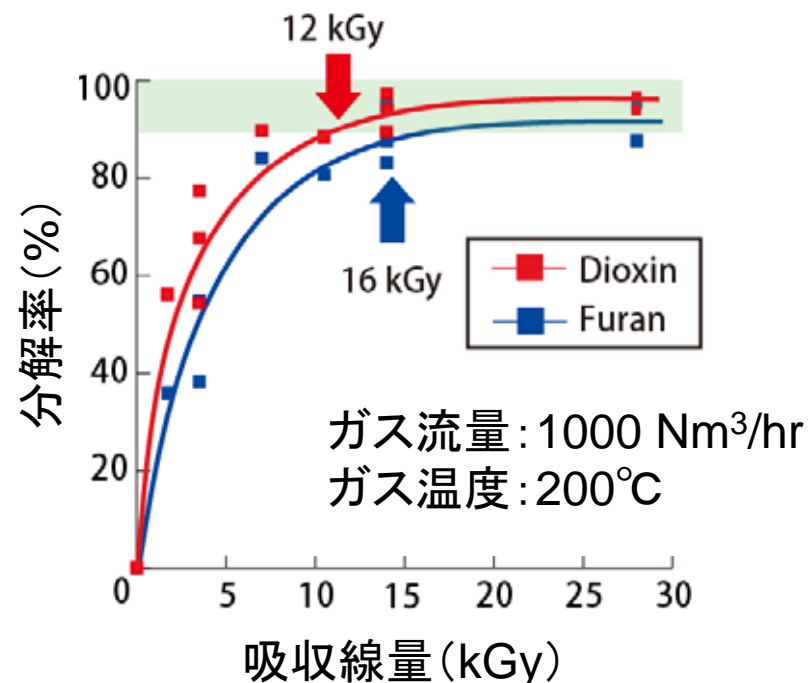
新設炉の排出基準値 (H14年2月～) :  $1 \text{ ng/m}^3 \rightarrow 0.1 \text{ ng/m}^3$

技術開発目標:

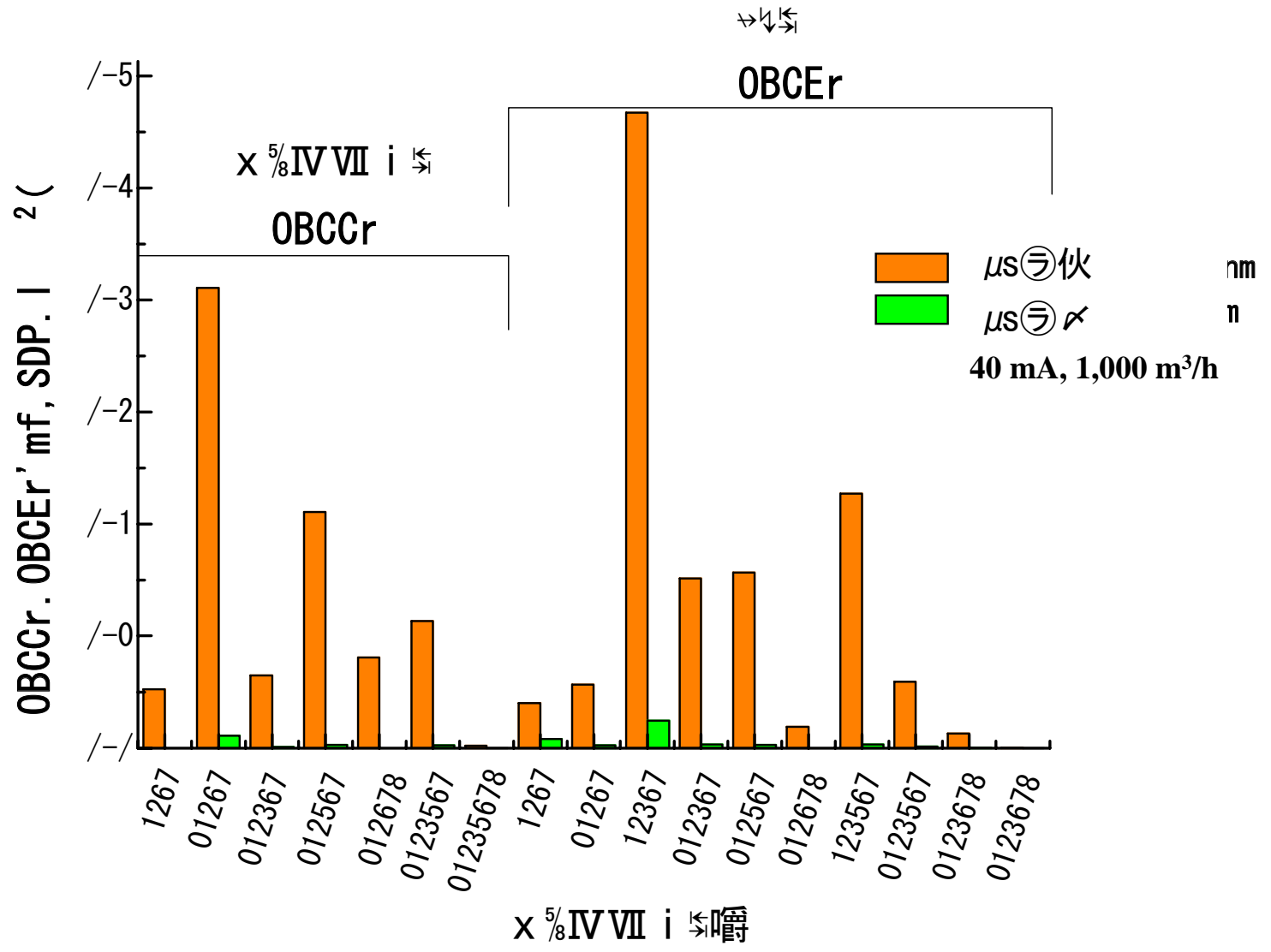
実燃焼排ガス中のダイオキシン類を1/10以下まで低減



高浜クリーンセンターにおける分解試験



- ・既存施設に付設が容易
- ・バグフィルタへの改造コストの2/3



# 光化学スモッグの発生

光化学スモッグの様子

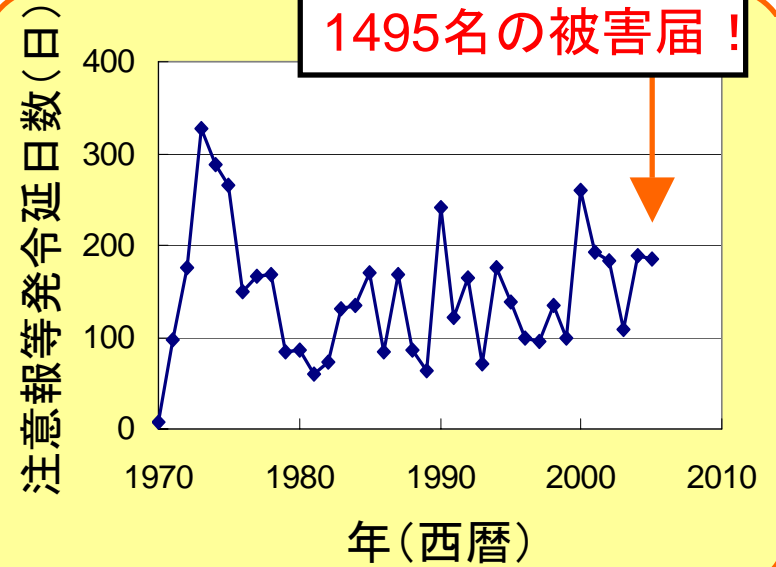


光化学オキシダント  
(オゾンなど)

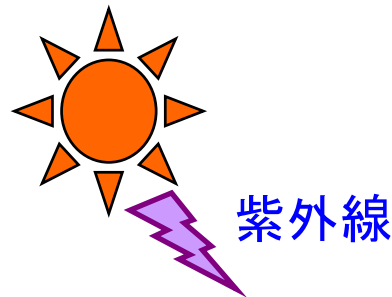
症 状

目や喉の痛み  
頭痛など

10都道府県で、  
1495名の被害届！



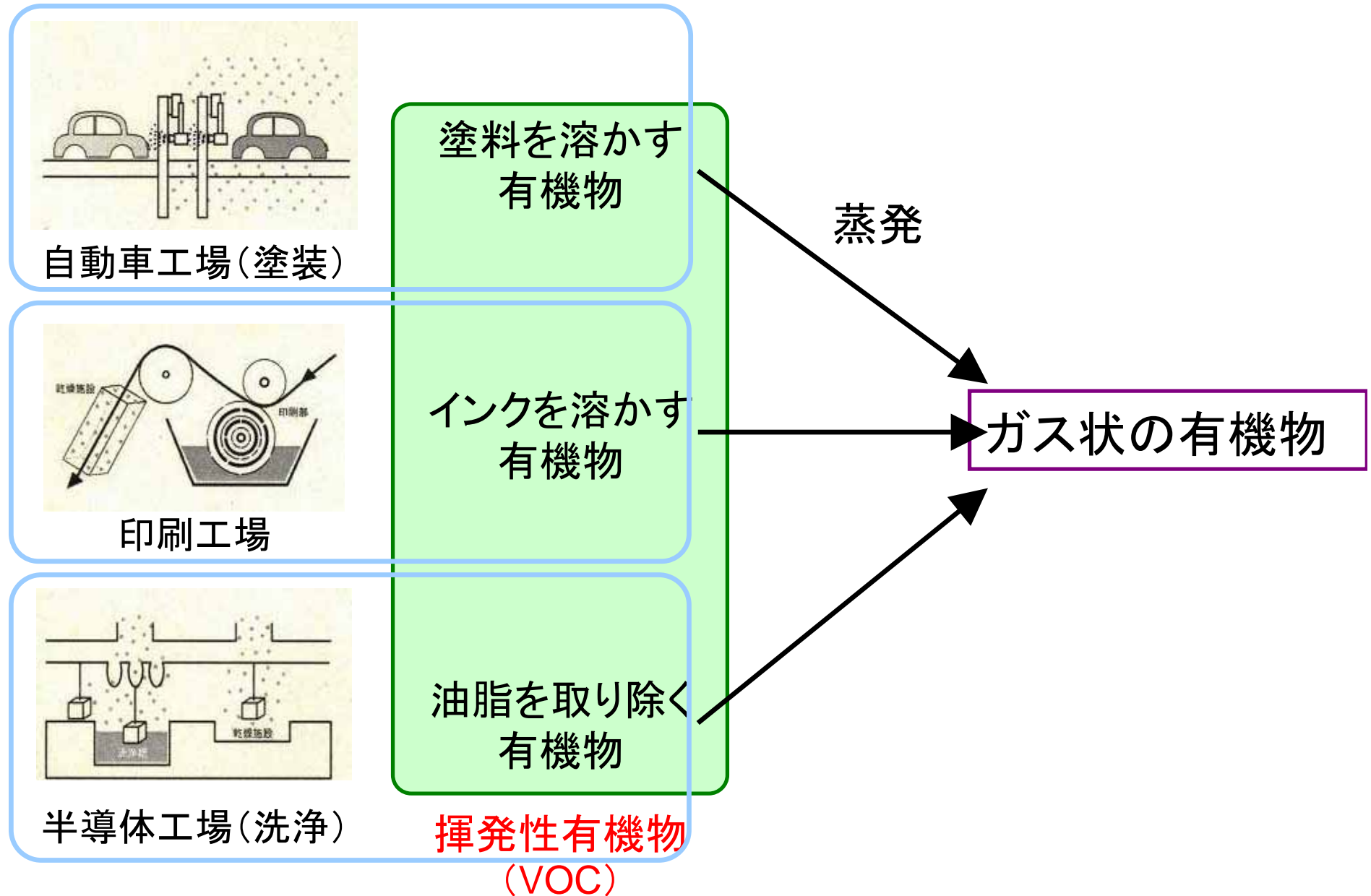
工場の排ガス  
自動車の排ガス



有機物

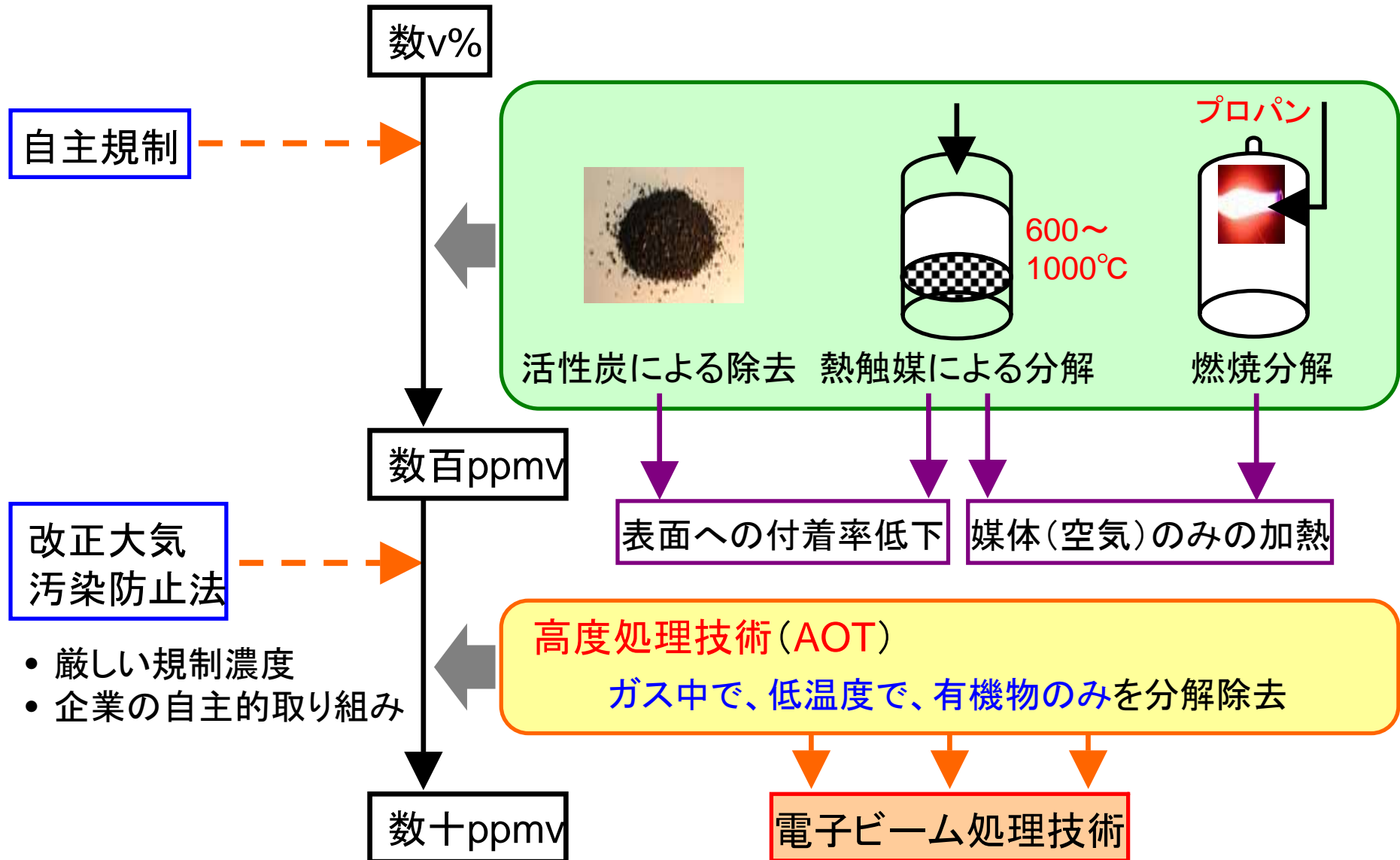
光化学オキシダント

# 工場における有機物の発生過程

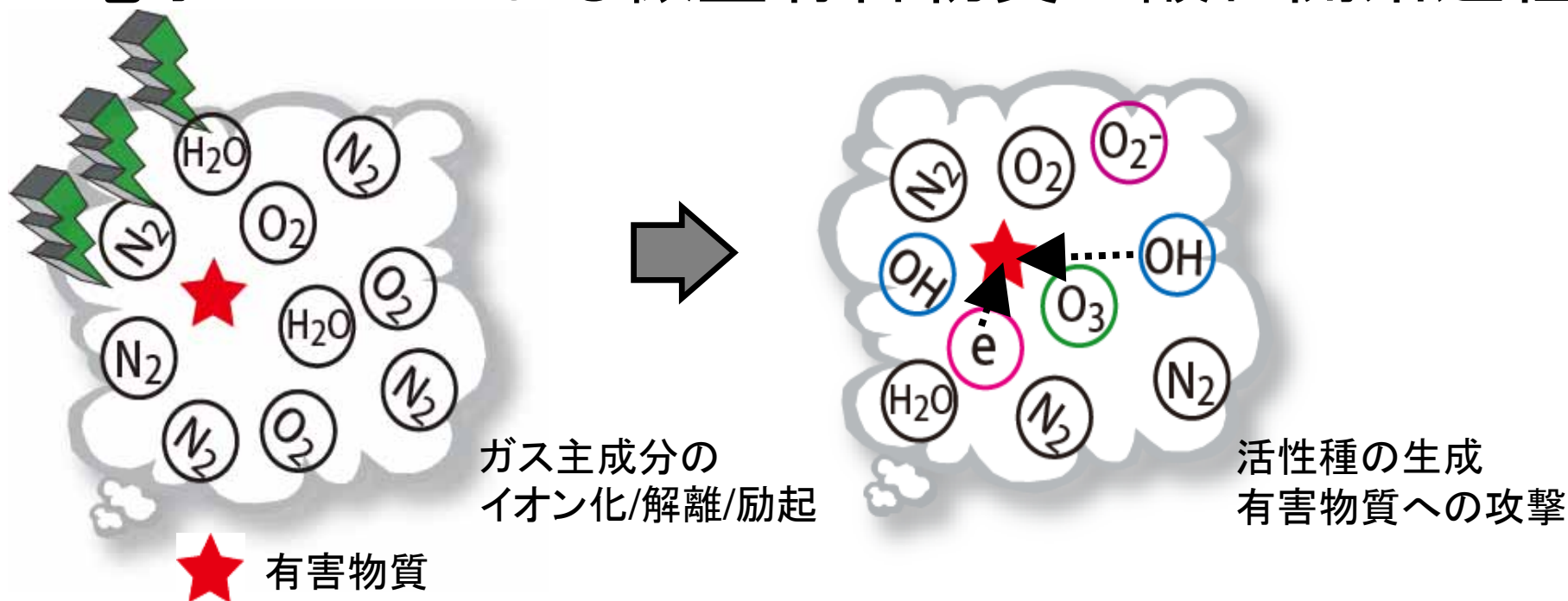


# 工場で発生する空気中の有機物の分解除去

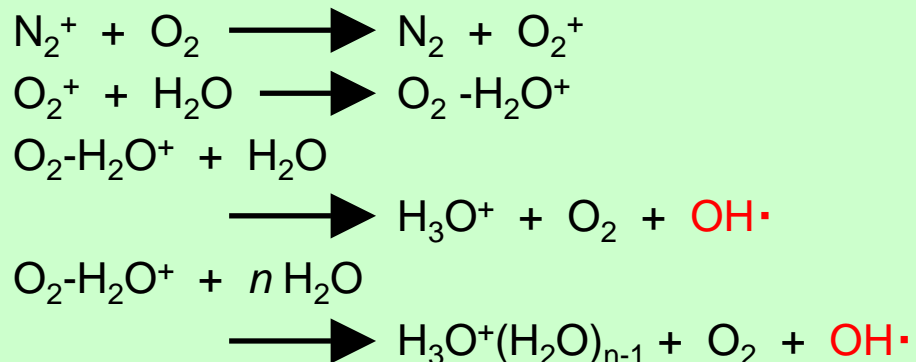
作業環境空気中の有機物濃度



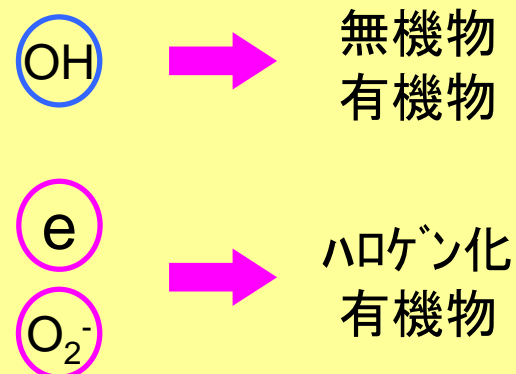
# 電子ビームによる微量有害物質の酸化開始過程



## OHの生成過程



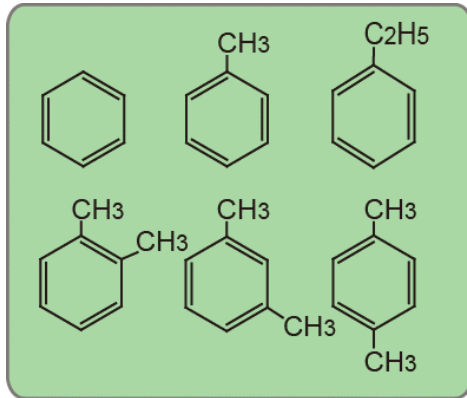
## 有害物質の酸化開始反応(数百ナノ秒以内)



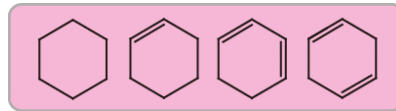


# 原子力機構におけるVOC分解除去研究

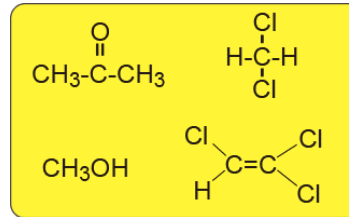
## 芳香族



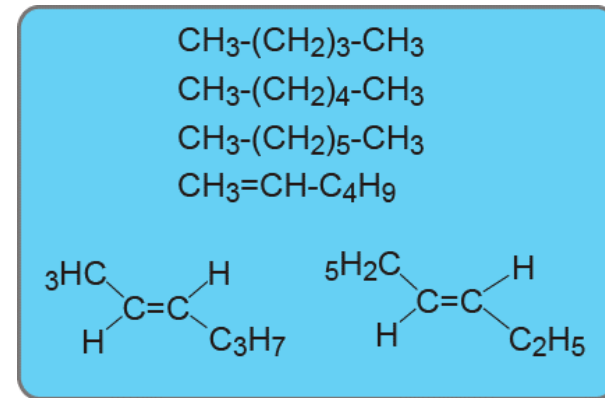
## 脂環式



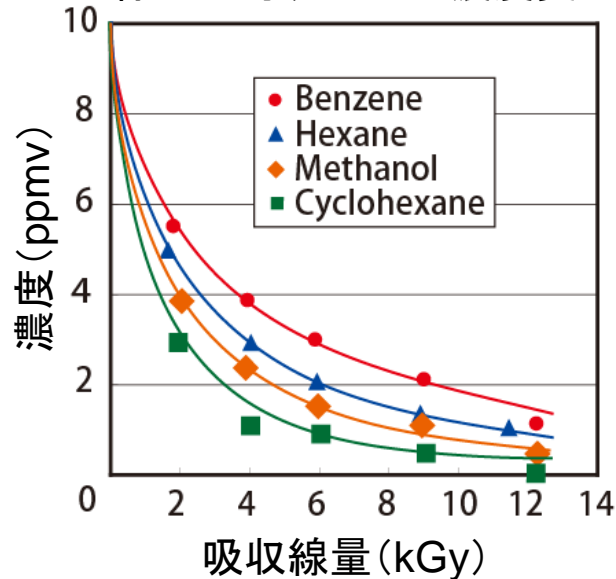
## その他



## 脂肪族



線量に対するVOC濃度変化



各VOCの分解のG値と90%分解するための線量

VOC	G(-VOC)	E <sub>90</sub> (kGy)
ベンゼン	0.6	22.9
トルエン	1.6	8.2
o-キシレン	2.1	5.2
シクロヘキサン	1.5	8.0
シクロヘキセン	3.0	1.3
ヘキサン	0.9	15.3
1-ヘキセン	0.9	4.47
アセトン	0.1	177
メタノール	1.0	11.4

原子力機構では多数のVOCに関する分解データを蓄積！

# 国際原子力機関 (IAEA) における調整研究計画 (CRP)

## 経緯

2001年

電子ビームによる揮発性有機物 (VOC) 処理に関する専門家会合 [日本 (原研)、米国、オーストリア、ドイツ、韓国、ポーランド]



提言

Coordinated Research Projects実施

- 分解生成物の定性・定量
- 分解生成物の物性に適した処理技術開発
- 連続処理の信頼性など

2005から2008年

「ガス流に含まれる有機汚染物質の電子ビーム処理」に関するCRP

第1回研究調整会合 (Research Coordination Meeting)  
2005/May @ IAEA

第2回RCM  
2006/Oct @ 清華大学

第3回RCM  
2008/May ? IAEA or ポーランド



## 参加国

### 芳香族有機物 (塗料溶剤) 対象

- 日本原子力研究開発機構
- 建国大学 (韓国)
- マレーシア原子力研究所 (マレーシア)
- 国立レーザー・プラスマ放射線物理研究所等 (ルーマニア)
- 清華大学 (中国)
- 環境保全技術研究所 (中国)

### 多環芳香族有機物対象

- 核化学研究所 (ポーランド)
- 有機化学研究所 (ブルガリア)
- 炭素化学研究所 (スペイン)

### シミュレーション

- モスクワ州立大学 (ロシア)
- 国立化学アカデミー (ベラルーシ)

### 放射線基礎化学

- ウィーン大学 (オーストリア)
- メーランド州立大学 (米国)

合計 12ヶ国 13機関が参加

# 安全・セキュリティ

- 1、電子ライナックX線源による港湾での税関検査
- 2、2色X線CT(Computed Tomography)による  
3次元原子番号分布測定
- 3、空港での危険物・核物質の検査

アメリカでは9.11同時多発テロ以降国家安全保障省  
(Department of Homeland Security)を設立し、巨額な予算を投じて  
危険物（爆発物）・核物質（ウラン・プルトニウム）の空港・港湾での  
検査技術を開発している。そのキーテクノロジーは放射線である。  
日本も負けていけない！



清華大學  
Tsinghua University

# Mobile System-I

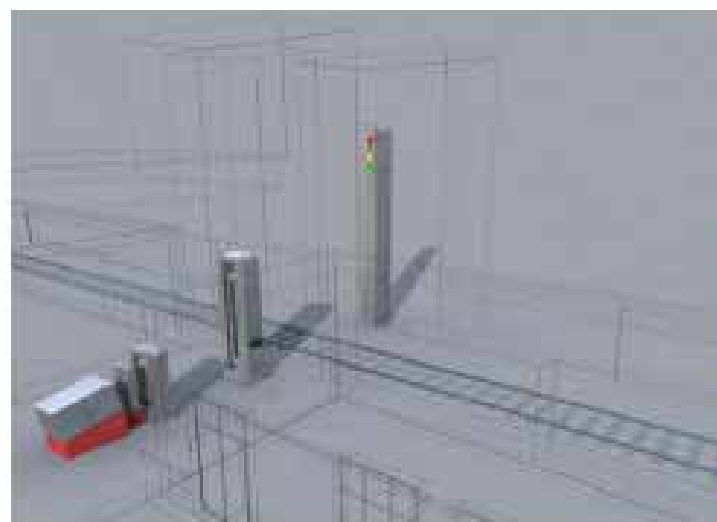
with An X-band 2.5 MeV electron linac as x-ray source





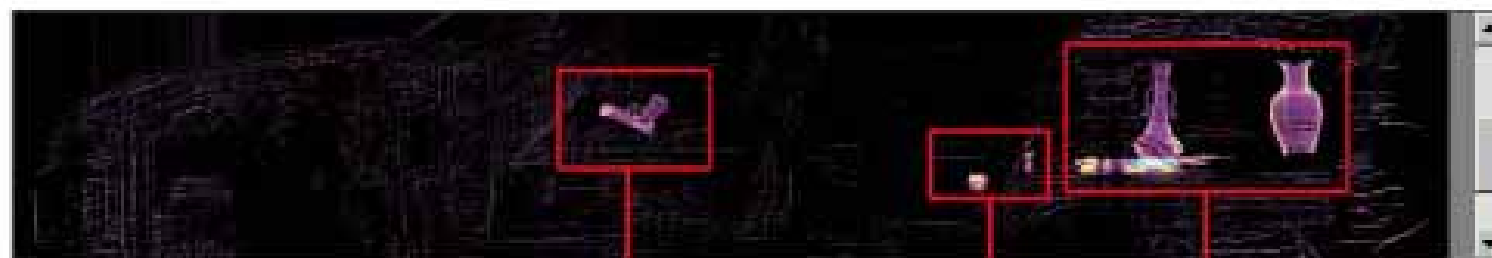
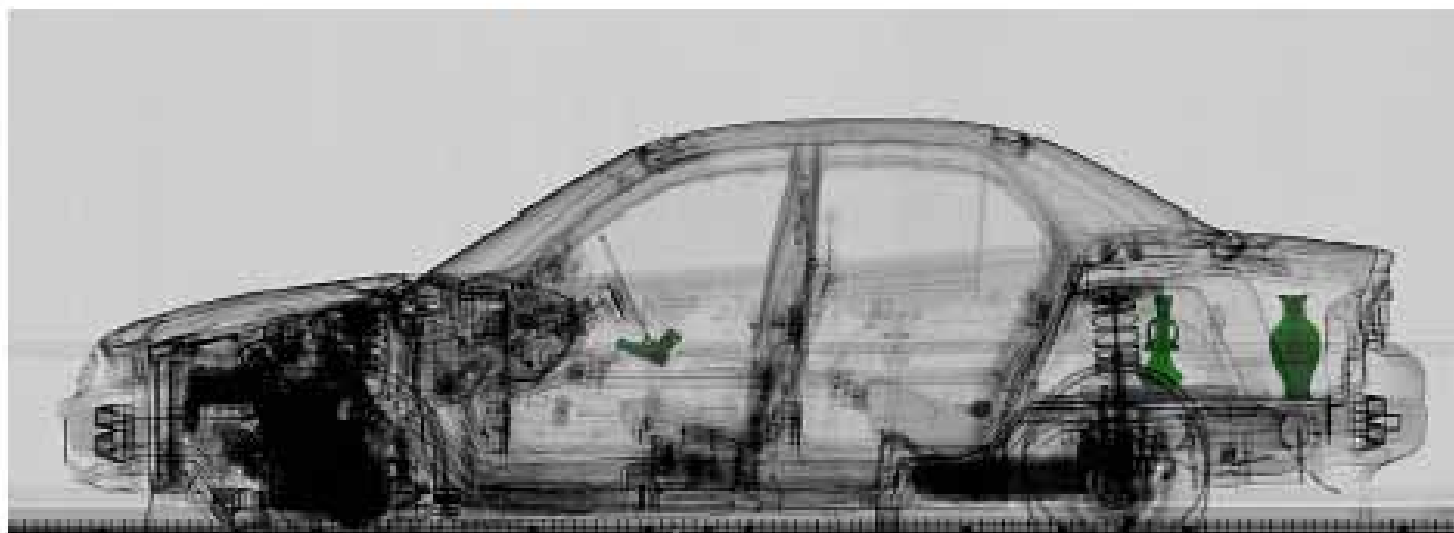
清华大学  
Tsinghua University

# Improved Products





# Typical Pictures

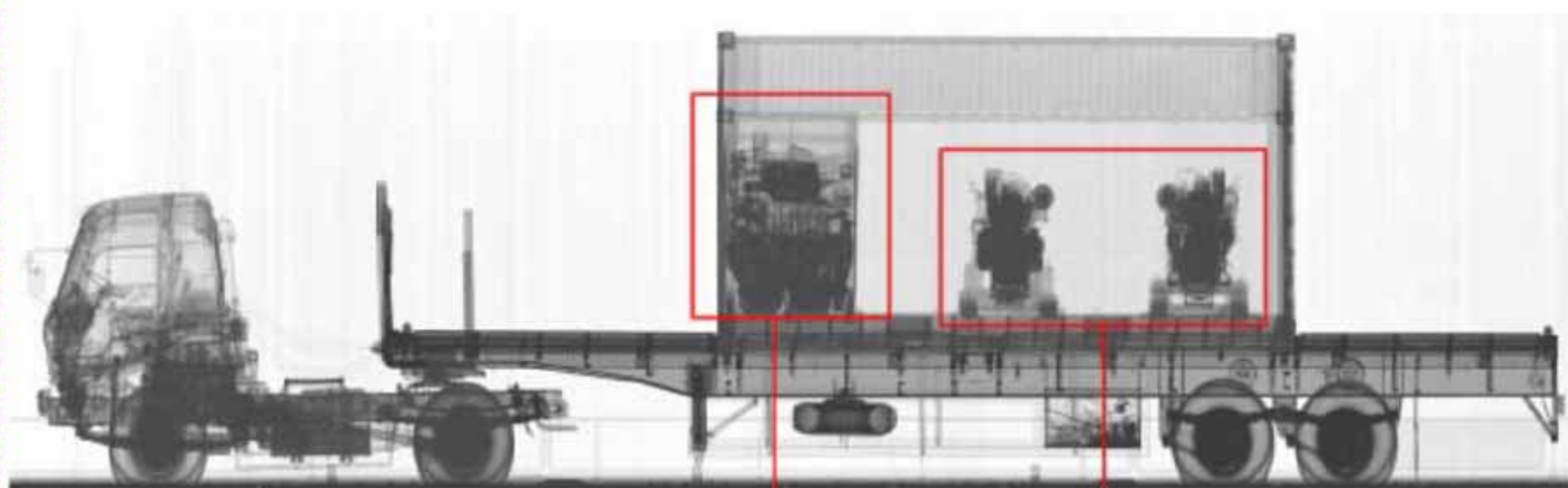
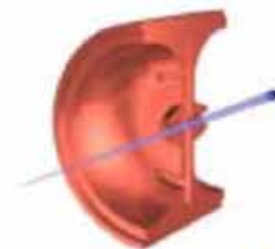


Pistol

Grenade Simulant

Smuggling Cultural Relic





Declared Goods: Parts for Diesel

Undeclared Goods: Two Sets of Diesel



# 2色制動放射X線による物質の識別

## 材料識別のデュアルエネルギーを用いた方法

- ・シングルエネルギーと比べた利点 → 原子番号によって材質を識別できる
- ・材質の識別方法 → 高エネルギーと低エネルギーの減衰比率を比較

コンプトン効果のエネルギー領域で、4つの材質のグループ化することが目標

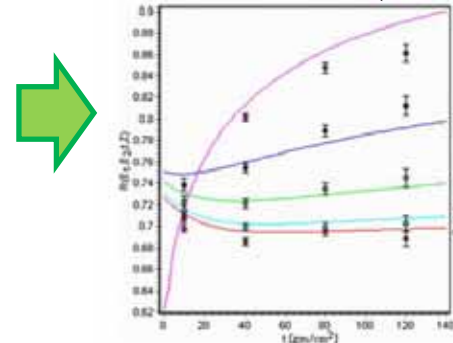
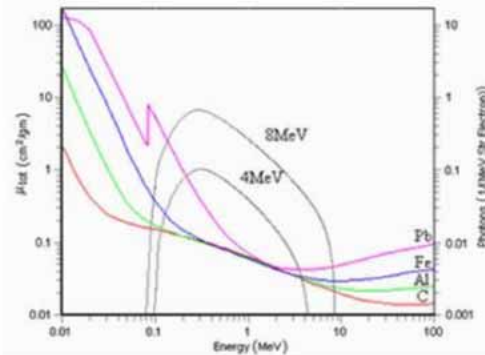
エネルギーの異なる2種類のX線

2種類のX線透過度の比をとる

原子番号を4グループに分けて識別する

$$T = \frac{I(\text{透過後の X線強度})}{I_0(\text{透過前の X線強度})}$$

$$R(E_1, E_2, t, Z) = \frac{\ln T(E_1, t, Z)}{\ln T(E_2, t, Z)} = \frac{\bar{\mu}_{eff}(E_1, t, Z)}{\bar{\mu}_{eff}(E_2, t, Z)}$$



RはE₁とE₂の総吸収係数の比率となり、これにより照射された材質を特定する

TABLE II. Benchmarks for material-to-color conversion.

Media	Material	Z	Hue
Organics	Hydrocarbon	5.3	Orange
Organics-inorganics	Aluminum	13	Green
Inorganics	Iron	26	Blue
Heavy substances	Lead	82	Lilac

グループごとにカラー化することで視覚化

画像処理



FIG. 6. (Color) Collimation system forming a 4 mm fan-shaped beam.



FIG. 8. (Color) Photograph of shipping container with cargo and hidden contraband.



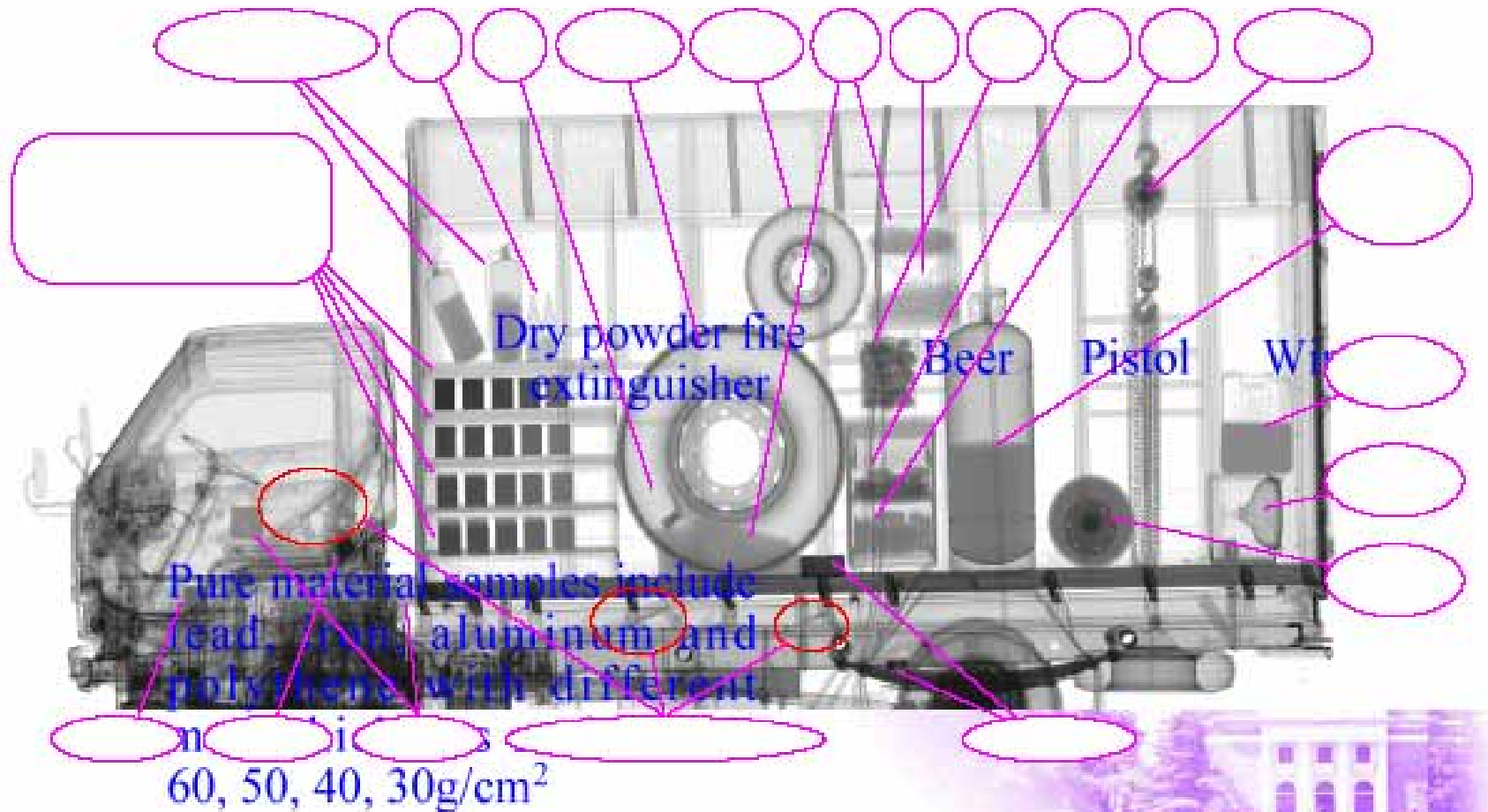
FIG. 13. (Color) Colorized image of a shipping container with color assignment according to Table II. Colorization is fulfilled after the segmentation procedure.

X線による物質の識別は厚さに関わりなく可能

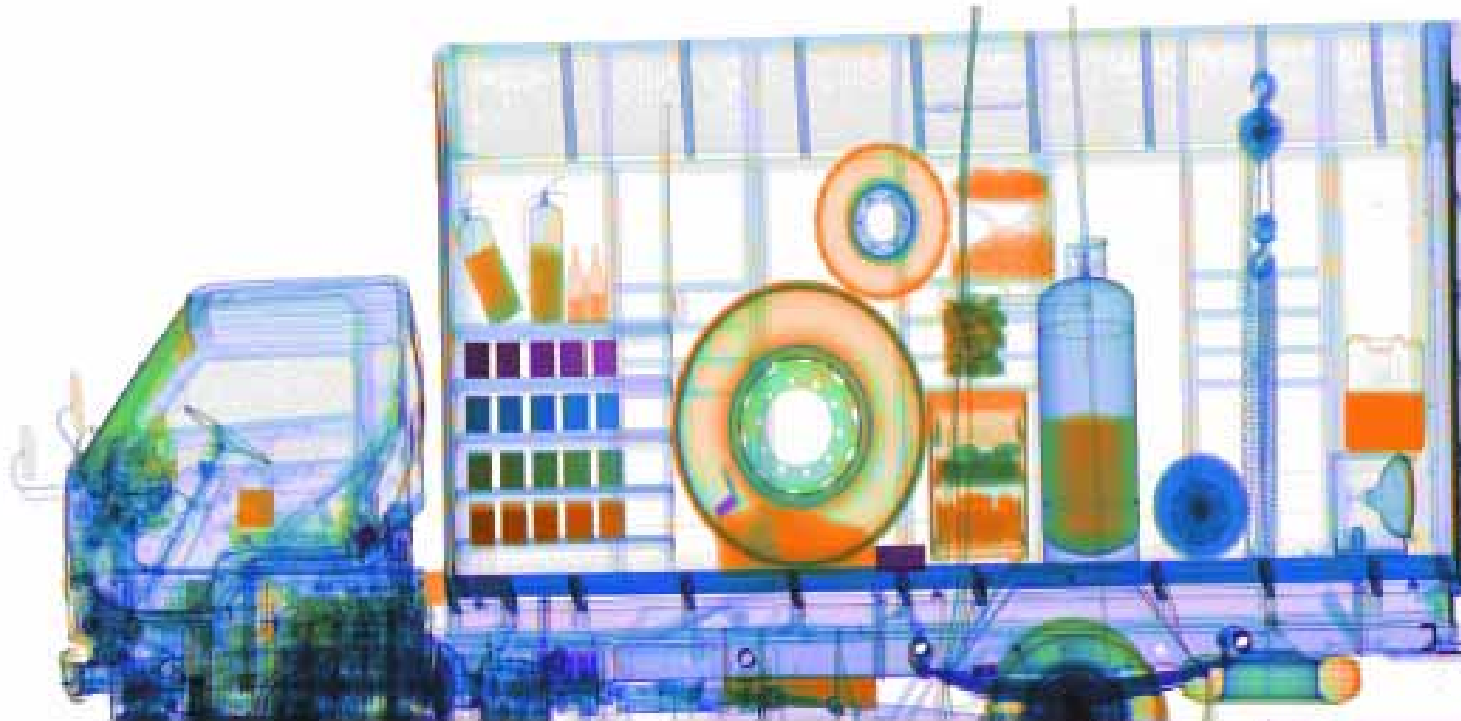




# Image Example and Photo Grey Image of a Van with Different Tested Samples



## Image Example and Photo Dual-Energy Color Image of a Van with Different Tested Samples



**Dual-Energy Color Image:** obtained by processing of dual-energy material discrimination algorithm according to effective atomic number



# Institute of Nuclear Technology Application

## -Cargo Inspection System



清华大学工程物理系  
Department of Engineering Physics, Tsinghua University



# THE THE TOP 200 WORLD UNIVERSITIES

2007 RANK	2006 RANK	NAME	COUNTRY	PEER REVIEW SCORE	EMPLOYER REVIEW SCORE	STAFF/STUDENT SCORE	CITATIONS/STAFF SCORE	INTERNATIONAL STAFF SCORE	INTERNATIONAL STUDENTS SCORE	OVERALL SCORE
1	1	Harvard	US	100	100	100	96	93	91	100
2=	2	University of Cambridge	UK	100	100	99	83	98	91	97.6
2=	3	University of Oxford	UK	100	100	100	82	97	96	97.6
2=	4=	Yale University	US	100	98	100	91	84	75	97.6
5	9	Imperial College London	UK	99	99	100	81	98	100	97.5
6	10	Princeton University	US	100	94	95	97	83	75	97.2
7=	7	California Institute of Technology	US	100	55	100	100	100	91	96.5
7=	11	University of Chicago	US	100	97	100	86	71	90	96.5
9	25	University College London	UK	96	97	100	82	91	98	95.3
10	4=	Massachusetts Institute of Technology	US	100	99	85	98	34	94	94.6
11	12	Columbia University	US	100	96	94	91	35	89	94.5
12	21	McGill University	Canada	100	97	99	72	73	96	93.9
13	13	Duke University	US	98	97	100	92	16	74	93.4
14	26	University of Pennsylvania	US	97	96	88	92	83	66	93.3
15	23	Johns Hopkins University	US	99	77	98	96	35	69	92.9
16	16	Australian National University	Australia	100	91	100	66	68	91	91.6
17	19=	University of Tokyo	Japan	100	92	96	88	25	44	91.1
18	33=	University of Hong Kong	Hong Kong	95	90	85	79	100	89	90.7
19	6	Stanford University	US	100	99	66	100	25	94	90.6
20=	36=	Carnegie Mellon University	US	96	94	76	87	67	96	90.0
20=	15	Cornell University	US	100	98	74	93	36	68	90.0
22	8	University of California, Berkeley	US	100	98	59	92	73	88	89.7
23	33=	University of Edinburgh	UK	96	98	82	76	71	80	88.8
24	46=	King's College London	UK	90	95	91	70	93	84	88.2
25	29=	Kyoto University	Japan	99	89	83	90	29	24	87.2
26	18	Ecole Normale Supérieure, Paris	France	91	60	83	98	61	81	87.1
27	22	University of Melbourne	Australia	100	99	64	70	64	95	85.9
28	37	Ecole Polytechnique	France	76	94	100	78	70	94	85.1
29	42	Northwestern University	US	88	97	77	91	36	68	85.0
30	40	University of Manchester	UK	88	99	77	70	84	86	84.7
31	35=	University of Sydney	Australia	99	95	51	71	100	96	84.6
32	54=	Brown University	US	90	77	74	89	75	58	84.5
33=	50=	University of British Columbia	Canada	100	91	70	74	36	63	84.3

World University Rankings 2007



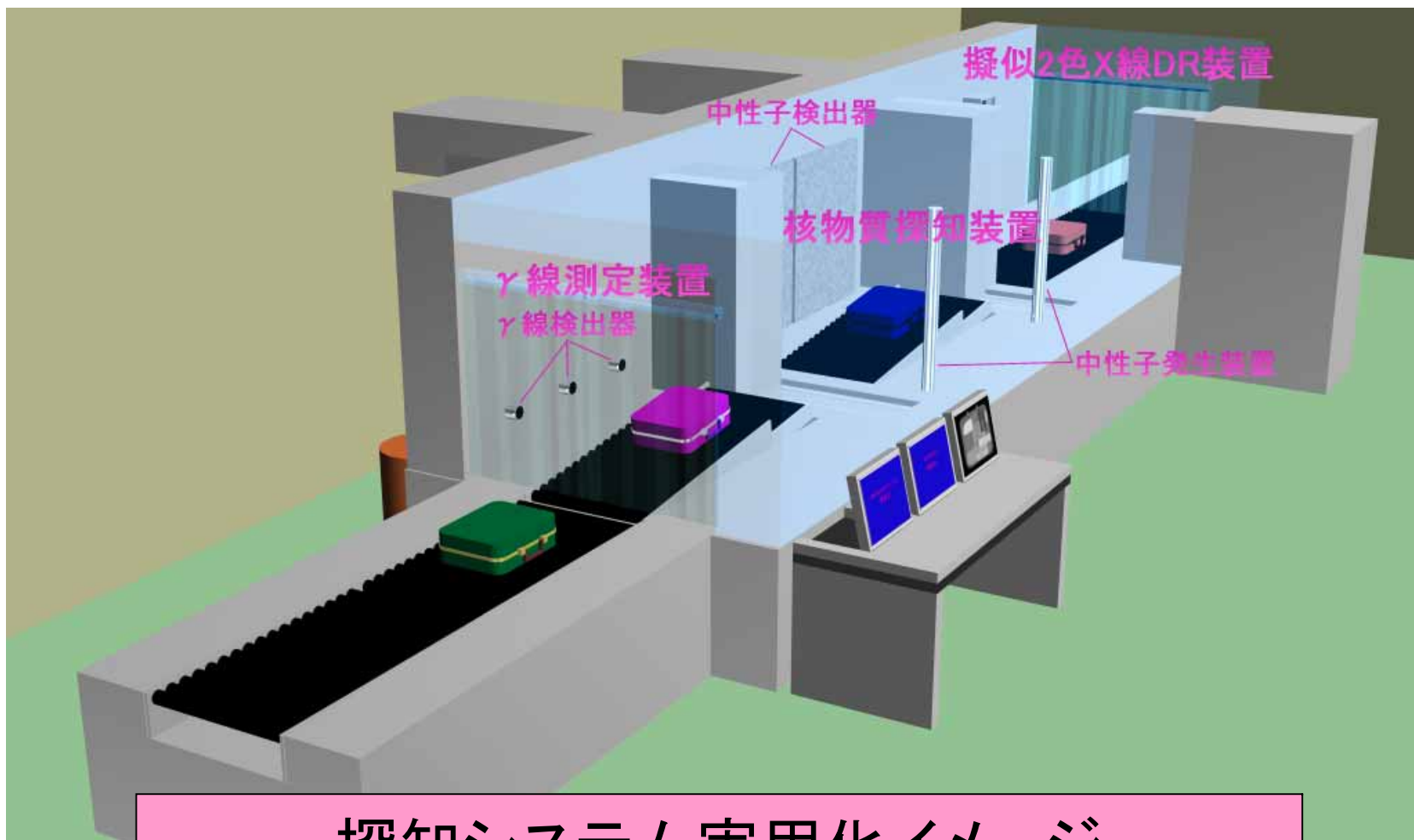
THE TOP 50 UNIVERSITIES FOR TECHNOLOGY

- #1 MIT
- #2 UC Berkeley
- #3 Stanford
- #4 CAL TECH
- #5 Cambridge
- #6 Imperial College
- #7 CMU
- #8 Georgia Tech
- #9 U Tokyo

2007 RANK	NAME	COUNTRY	SCORE	CITATIONS PER PAPER
1	Massachusetts Institute of Technology	US	100	4.0
2	University of California, Berkeley	US	94.5	4.2
3	Stanford University	US	84.7	4.3
4	California Institute of Technology	US	80.0	3.7
5	University of Cambridge	UK	75.6	3.4
6	Imperial College London	UK	72.1	2.7
7	Carnegie Mellon University	US	71.0	3.6
8	Georgia Institute of Technology	US	68.0	2.9
9	University of Tokyo	Japan	65.1	2.1
10	National University of Singapore	Singapore	63.8	2.9
11	University of Toronto	Canada	60.4	3.5
12	University of Oxford	UK	60.2	3.7
13	ETH Zurich	Switzerland	59.6	2.5
14	Princeton University	US	59.2	4.7
15	Harvard University	US	58.3	5.1
16	Tsinghua University	China	58.2	1.2
17	Delft University of Technology	Netherlands	57.7	2.6
18	University of California, Los Angeles	US	57.4	4.1
19	University of Illinois	US	57.3	3.5
20	Cornell University	US	56.7	4.4
21	University of Melbourne	Australia	54.1	2.9
22	Tokyo Institute of Technology	Japan	53.8	1.8
23	Hong Kong University of Science & Technology	Hong Kong	53.6	3.1
24	Purdue University	US	53.3	2.7
25=	Technion - Israel Institute of Technology	Israel	53.1	1.8
25=	Nanyang Technological University	Singapore	53.1	2.1
27	McGill University	Canada	52.8	2.4
28	University of New South Wales	Australia	52.5	2.5
29	Kyoto University	Japan	50.7	2.0
30=	University of British Columbia	Canada	50.5	2.6

#16 Tsinghua

# 中性子検査と組み合わせた 手荷物中の核物質探知システムの概要



探知システム実用化イメージ

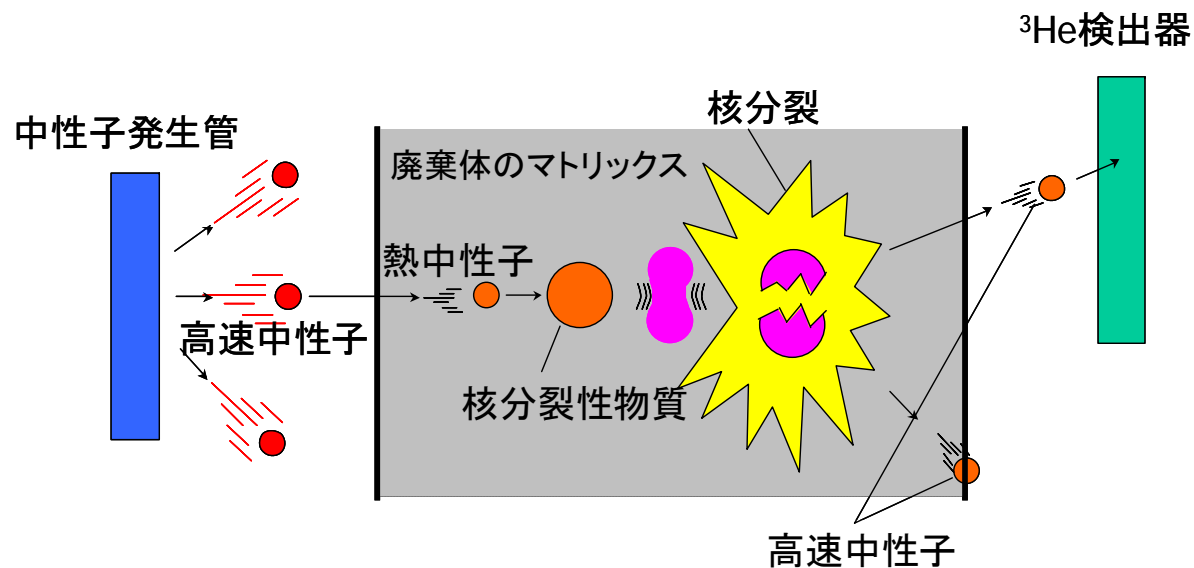
## 5.探知システムの概要(2)

### 各探知システムの役割及び補完

探知方法		$\gamma$ 線測定による 放射性物質探知	高速中性子を用いた 核物質探知	擬似2色X線を用いたDR装置
特性	探知対象	Co60, Cs137等の $\gamma$ 線放射性物質	U235, Pu239等の 核物質	重金属(U235, Pu239等) のみを画像処理
	測定時間	短時間測定	超短時間測定(数秒)	短時間測定
探知可否	隠蔽されていない $\gamma$ 線放射性物質	◎	×	△
	隠蔽されていない 核物質	×	◎	○
	遮蔽物により 隠蔽された $\gamma$ 線放射性物質	○ (感度を上げること で対応)	×	△ (放射性物質の遮蔽物となる 重金属(鉛等)を探知)
	中性子吸収材 で隠蔽された 核物質	×	△ (核物質の存在の有無 は断定できないが、中 性子吸収材があること は探知可能)	○ (重金属の画像取得)

## 2. 測定原理 検出原理

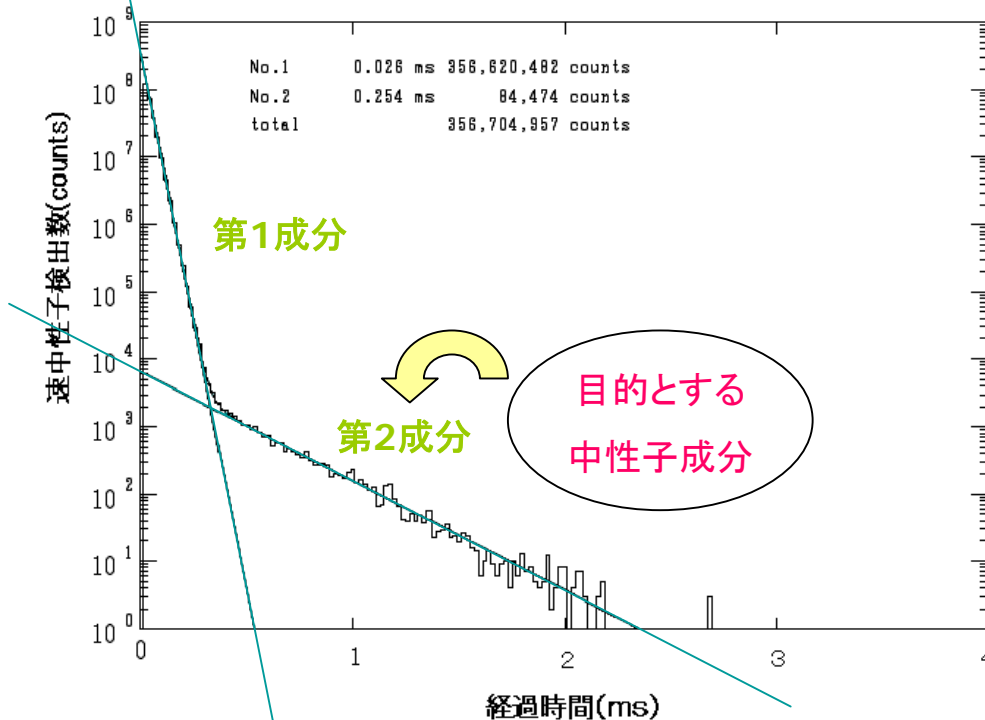
- 14MeV中性子を直接、対象廃棄体に入射
- 廃棄体中での中性子減速効果(熱中性子化)を利用し、位置感度差の問題を解消





# 中性子検出数分布特性

## 中性子検出数の時間依存性(例)



### 第1成分：

14MeV中性子加速器からの高速中性子

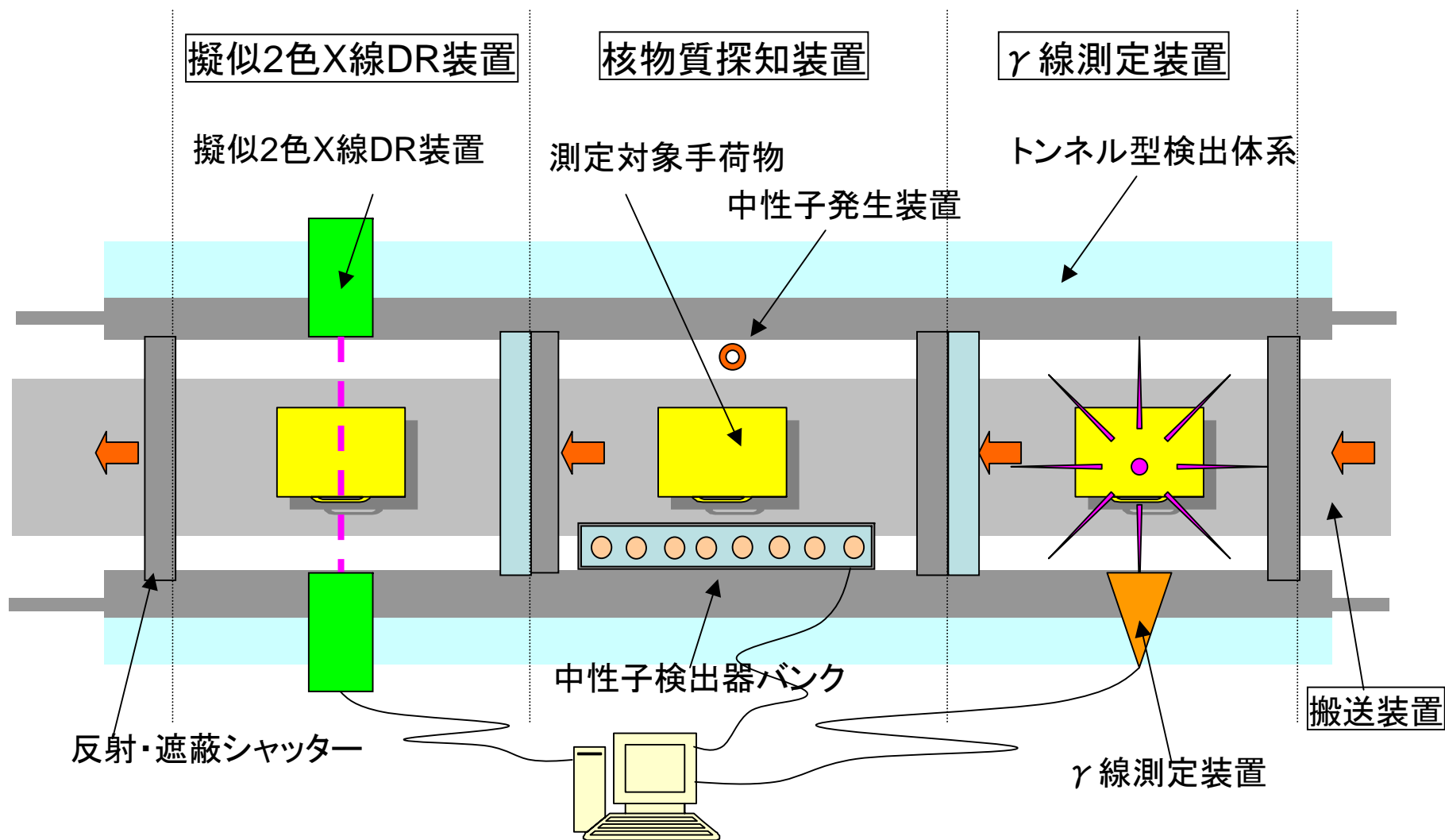
### 第2成分：

高速中性子(第一成分)が手荷物の内容物に進入し、内部のマトリクスにより熱中性子にまで減速、核分裂反応を生じさせた際の中性子成分

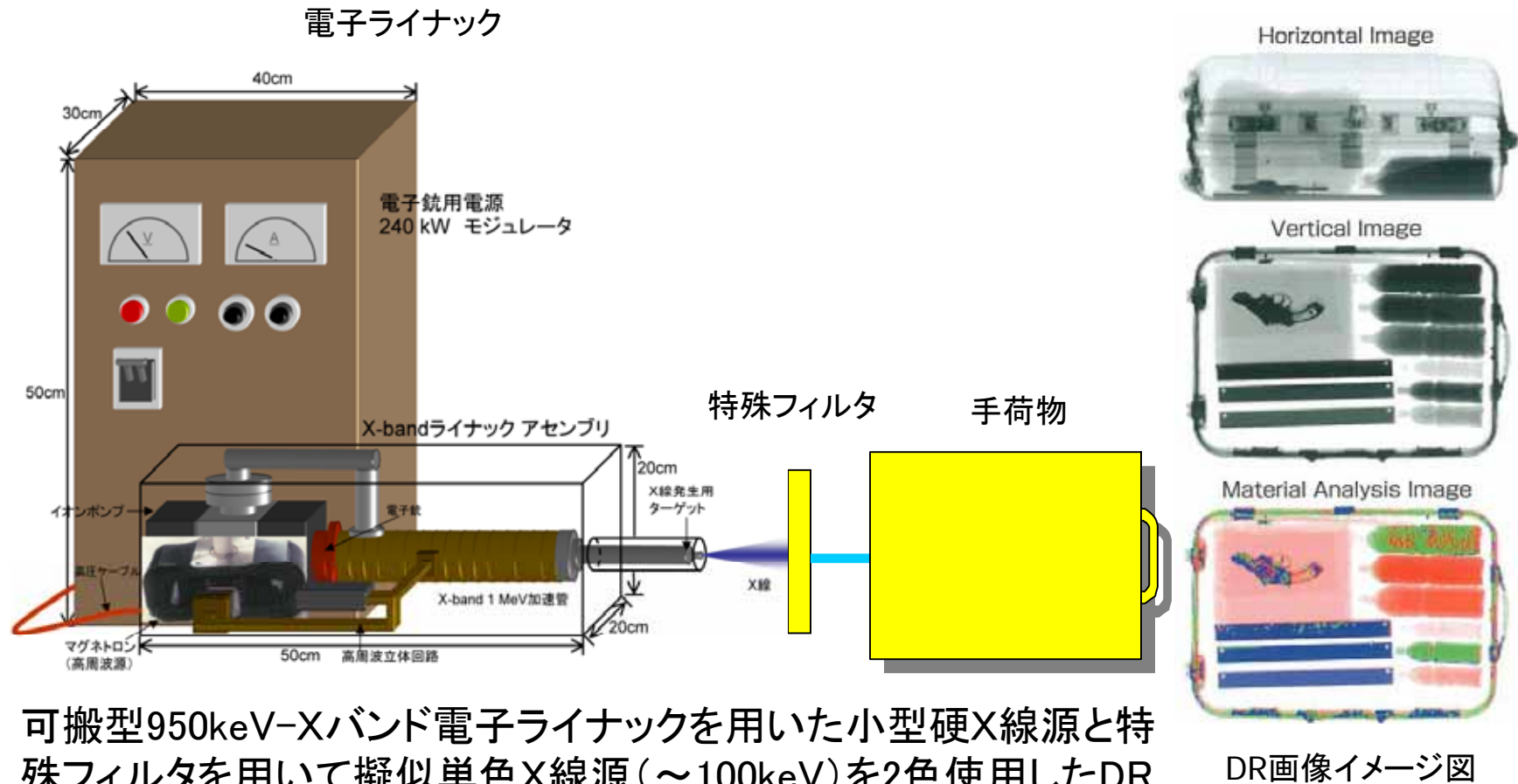
- ・測定時間 : 500秒
- ・パルス速度 : 100pps (パルス幅 : 10  $\mu$  sec)

# 5. 探知システムの概要(1)

## 探知システム体系図



# Xバンドライナック2電子エネルギー X線透視による元素の識別

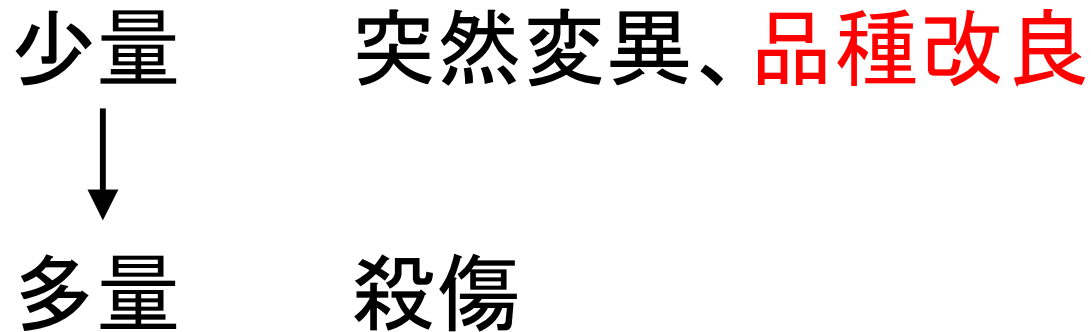


可搬型950keV-Xバンド電子ライナックを用いた小型硬X線源と特殊フィルタを用いて擬似単色X線源(～100keV)を2色使用したDR装置を構築し、材質・位置・形状の判定を向上させて手荷物内の核物質または放射性物質用遮蔽材を検知する。

# 品種改良

- 1、暑さでも枯れない花
- 2、種ができず長く咲く花
- 3、青いバラ、など

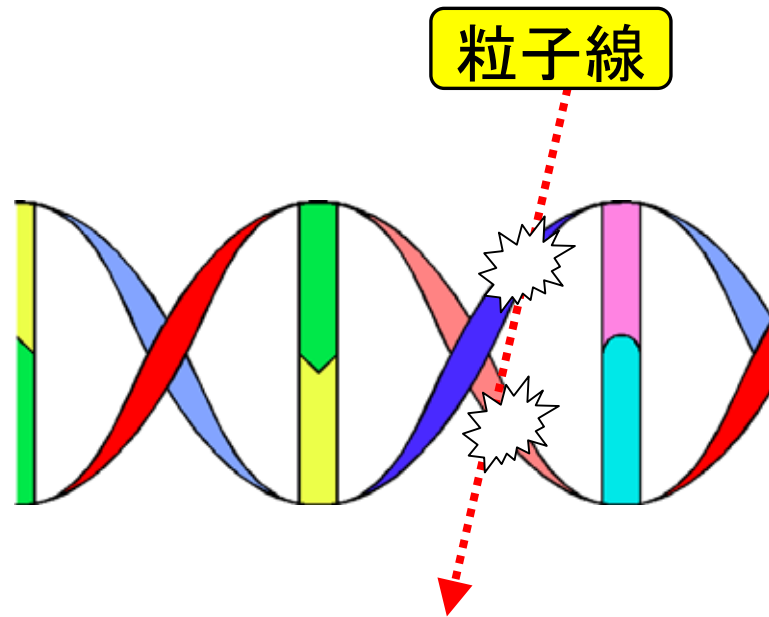
# ビーム・放射線を生物に照射すると 何が起こるか(マクロ的)



有害な細菌・ばい菌のみを殺傷する：**滅菌処理**

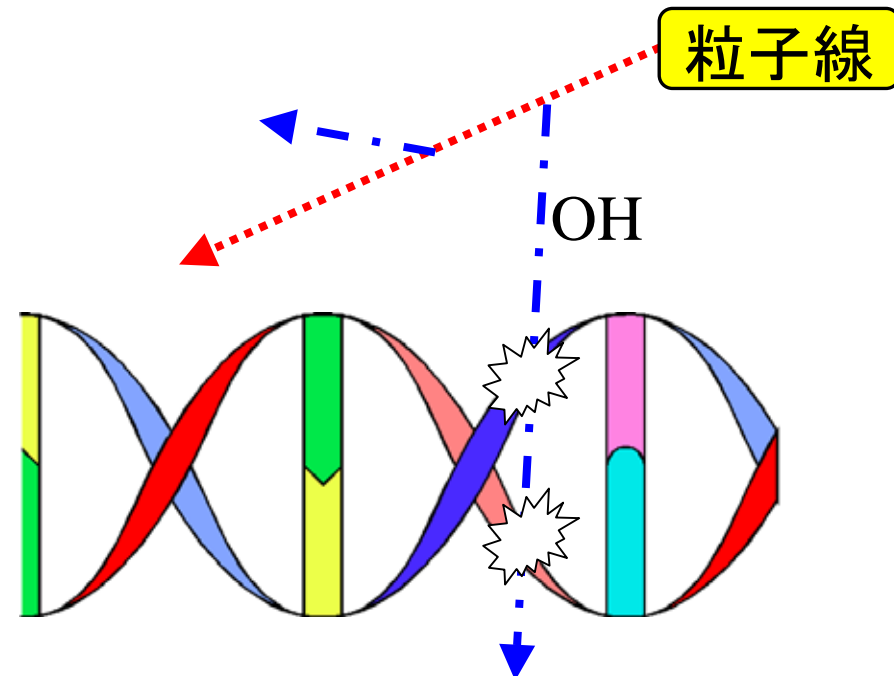
ガン細胞のみを殺傷する：**放射線医学**

# 放射線によるDNA損傷の 直接効果と間接効果



**直接効果**  
入射した粒子線が  
直接DNAを切断する

**間接効果**  
入射した粒子線が  
細胞中(水)でOHを  
たたき、これがDNAを切断する



重イオンビーム育種  
育成新品種  
理化学研究所 阿部知子

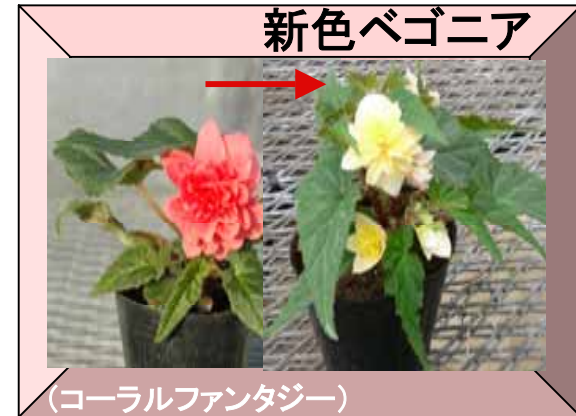
広島市農林業振興センター

2001年秋より広島市で試験販売



千葉県農業総合研究センター

苗を大量増殖中



2002年春より市販



2003年春より市販

サントリーフラワーズ(株)



2006年春より市販

# 植物の育種法

- 交配技術—殆どの栽培作物  
(メンデルの法則)

- 探索 (自然突然変異など) →



幻のクリスマスローズ

1991年120年ぶりに日本人によって再発見された  
ヘレボラス・チベタヌス

- 遺伝子組換え技術
- 突然変異誘発技術

培養変異

化学変異剤

放射線



青いカーネーション  
ムーンダスト



# ● 突然変異誘発技術

## 放射線

1895年: W.K.von Röntgen X線発見

1897年: Pierre & Marie Curie ラジウム・ポロニウムの発見

1904年: C.S.Gager ラジウム線の植物への影響

: M.Koerniche X線の植物への影響

1910年: T.H.Morgan

X線によるショウジョウバエの突然変異誘発成功

1927年: C.S.Gager

ラジウム線によるニンジンの染色体突然変異報告

1927年: H.J.Muller

X線によるショウジョウバエの突然変異を遺伝子レベルで  
証明(1946年ノーベル賞)

1934年: T.H.Goodspeed

X線による変異株を育成親としたタバコ新品種育成

1970年代

新しい放射線

重イオンビーム

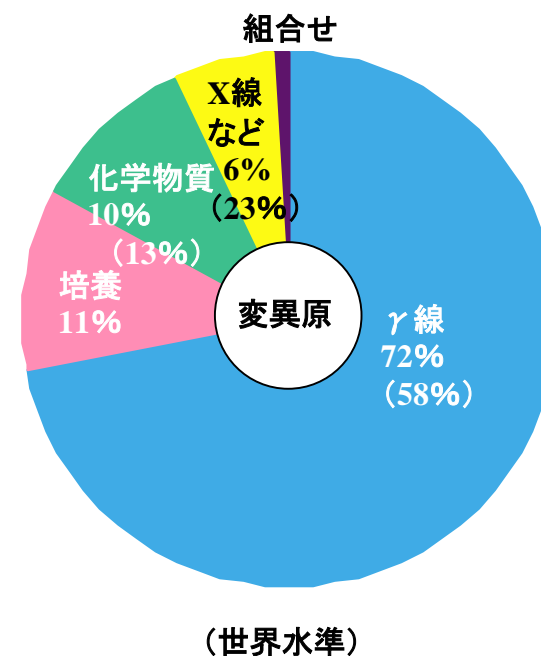
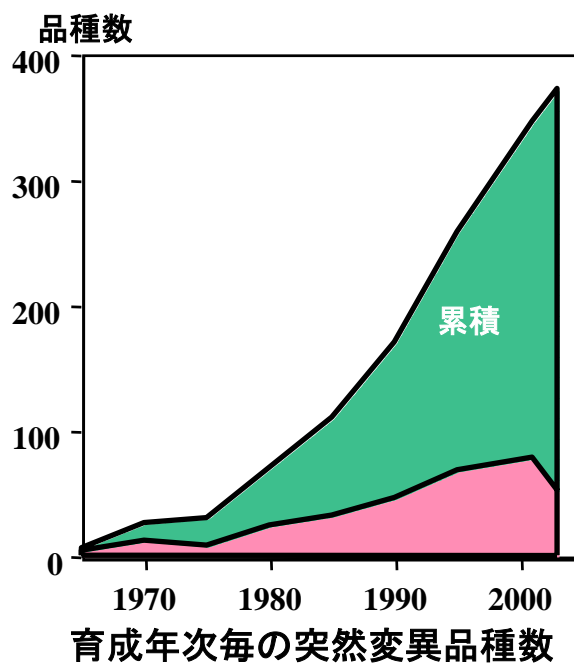
## ■突然変異誘発技術(日本における $\gamma$ 線利用技術の発展)

1960年 農水省放射線育種場 設立

1961年 ガンマーフィールド照射開始( $^{60}\text{Co}$ , 88.8TBq, 2400Ci)

1964年 ガンマーグリーンハウス( $^{137}\text{Cs}$ , 4.81TBq, 130Ci)

1967年 ガンマールーム( $^{60}\text{Co}$ , 44.4TBq, 1200Ci)



- イオンビーム
- 1986年 理研RRC完成
  - 1987年 放射線高度利用研究計画策定
  - 1989年 理研AVFサイクロトロン完成  
植物照射の影響に関する基礎研究開始  
(理研・原研・大学連合チーム)
  - 1993年 原研高崎研TIARA完成
  - 2001年 若狭湾エネルギー研究センターW-MAST完成

	Beam time (hrs)		Ion	Beam Energy	LET	Range in Water	
	Total	Plant exp.		(MeV)	(keV/μm)	(mm)	Cooperation
RARF	3400	72	C	1620	23	40	70
			N	1890	31	34	
			Ne	2700	63	23	
			Ar	3800	280	8	
			Fe	5040	624	4	
TIARA	2000	150	He	100	9	6.2	20
			C	320	86	2.2	
			Ne	350	433	0.6	
W-MAST		48	H	200	0.5	250	5
			C	660	41	9	

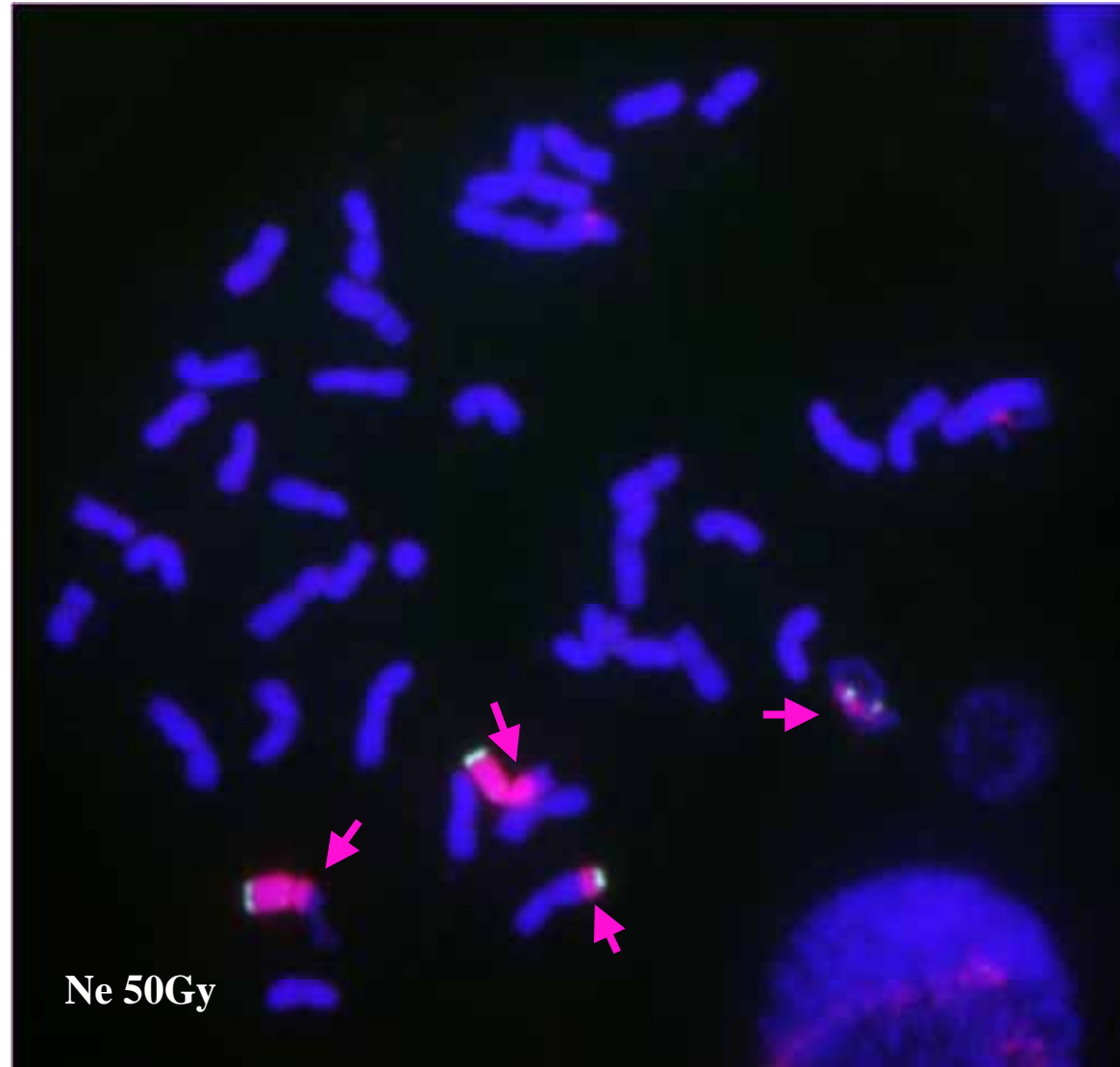


Red:GISH

Green:Tail-family

コムギにオオハマニンニクの  
異種染色体を一組添加した系  
統を育成しました。  
染色体数は  
 $42+2=44$ 本となります。

乾燥種子にネオンビームを  
50Gy照射し、生存個体の根端  
細胞の染色体を観察しました。  
矢印は染色体切断部位を示し  
ます。2本の染色体では2カ  
所の切断が生じています。



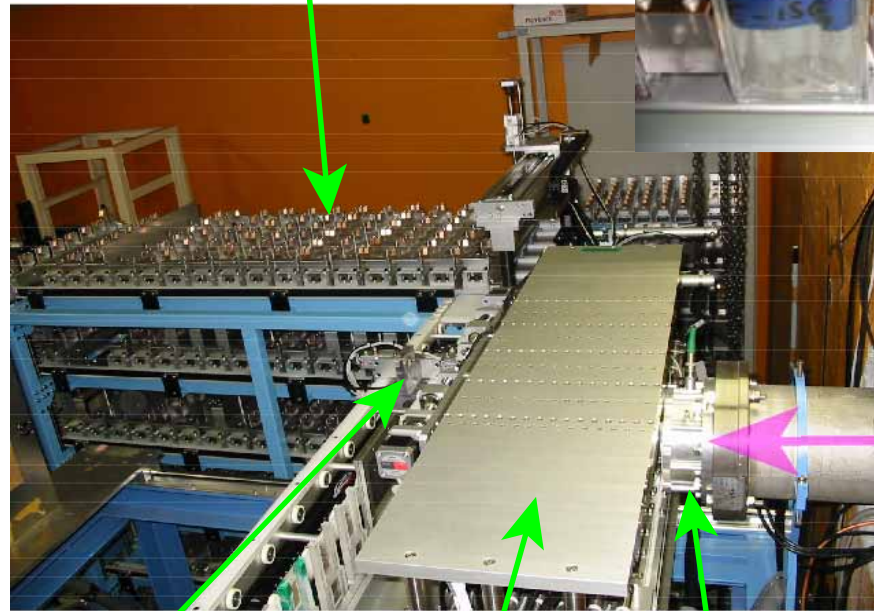
Ne 50Gy

44本の染色体では44カ所の切断？

共同研究：鳥取大学



Automatic Sample Changer



Beam

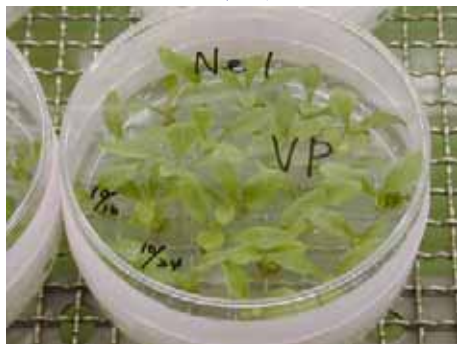
Ionization Chamber 2

Range Shifter

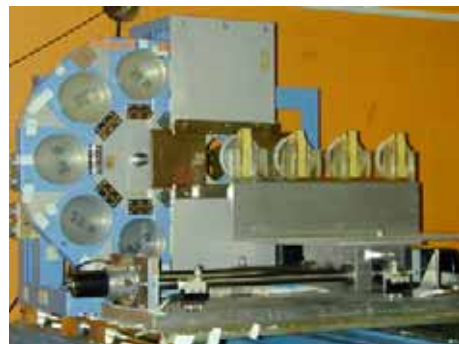
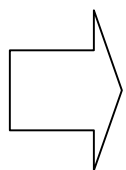
Ionization Chamber 1

# プチ品種改良技術：一カ所だけ変える（育種年限の短縮）

## 無菌培養

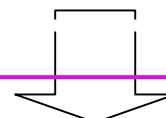
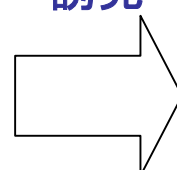


側芽培養



重イオンビーム照射 (生物照射一号機)

芽条変異  
誘発



## 温室育成

新品種候補 (斑入り葉)



斑入り葉だけ

新品種  
(ローズ)



花の色だけ

変異株選抜・大量増殖



パープル従来品種



共同研究: サントリーフラワーズ

# コラボレーションフラワー 理研-サントリーフラワーズ製品



**03年春の新色**

**サフィニア各種** 3号ポット 各 **298円**

- ローズベイン  
鮮やかなローズピンク。白色に、中心に向かって赤色の染み入った花。
- ホワイトベイン  
代表的な品種。薄きのある赤紅色の大きな花。
- パープル  
薄きのある紫の4輪の花。
- パープルミニ

●ミモザアカシア (花付き) 7,800円  
5号鉢/樹高(約)1.2m

●ロベリア ムーンシリーズ  
強靱で、コンパクトな一輪状の華やかな性質の植物として最適です。

●宿根イペリス ファンタジア  
各3号鉢セット 各 **150円**

●オーブリエチア  
小輪多花種でカーベット状にピンクの小花が咲きます。

●カーベットカスミ草 ピンク  
各3号鉢セット 各 **200円**

リサイクルしたガラス瓶  
100%の再利用(約)1.5号鉢



**2004年カタログ サフィニアローズ (2003年新色ローズベインを改名)**

パープル	バスターピンク	バイオレット	ホワイト	ローズベイン	パープルミニ	レッドミニ	ライトブルーミニ	バイオレットミニ
ダランパープル	ダランブルー	クリームイエロー	ロイヤルストロベリー	ストロベリーミニ	アメジスト	ブライトピンクミニ	ピンクベイン	アメジストミニ

2005年8月4日 アイソトープ協会

# 花の色を変える

農林水産先端技術産業振興センター (STAFF)  
(サントリー株式会社)

橋本 昭栄





# すべての色のある植物種は少ない。



# 花の色と色素の関係



## アントシアニン



ペラルゴニン

シアニン

デルフィニン

メタロアントシアニン

オーロン  
カルコン

フラボノイド

クロロフィル

ベタシアニン

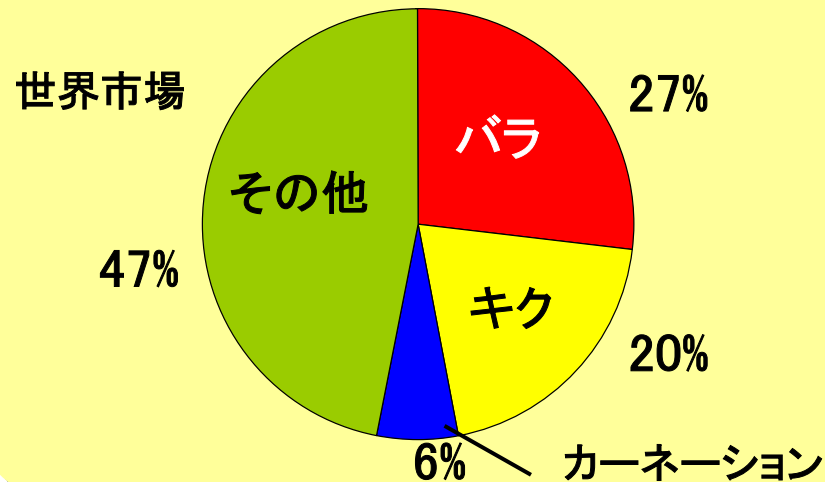
ベタキサンチン

カロテノイド

非フラボノイド

# 「バラ」について

## 3大切花の1つ



## 5千年以上の栽培の歴史

いままでに2万5千種の品種が  
作出されている。

(現存するのは6千~7千種)

## 多様な花色

赤・白・ピンク・黄色など多種  
多彩な花色の品種がある。

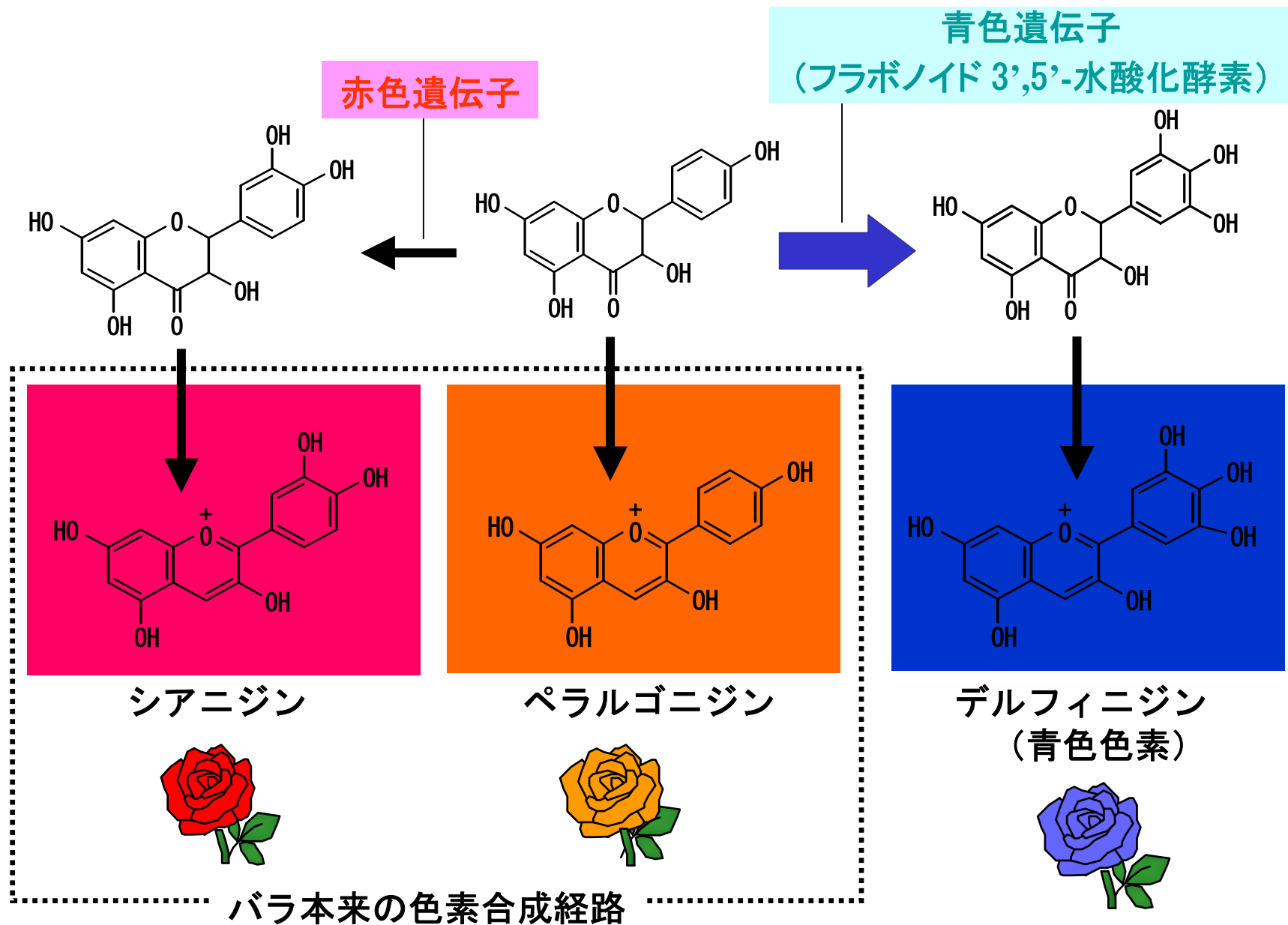
まだ、「青い」品種はない。

## 幻の「青いバラ」

英語で“BLUE ROSE”と  
は「不可能」の意味。

従来「青いバラ」を作るのは  
不可能とされてきた。

# バラにおける花色素合成の経路



# 花の色を決定する要因

## 1. 色素の種類/構造/量

## 2. 共存する物質

- フラボン、フラボノール(コピグメント効果)
- 金属イオン

## 3. 細胞内の環境

- 花弁液胞のpH

## 4. 細胞の形態

世界初、「青いバラ」誕生。



不可逆の代名詞「Blue Rose」。サントリーは、先端技術応用研究所のチームを中心に14年の歳月を費やして、世界で初めて青色を帯びたバラの「青いバラ」開花に成功。これはまだ夢の第一歩。もっと研究を重ね、もっと「青いバラ」に近づくと、わたしたちの挑戦はつづきます。

もっと青く。

サントリーは、「夢」に向かって  
挑戦をつづけます。

SUNTORY

# Roses were red, now looking blue.

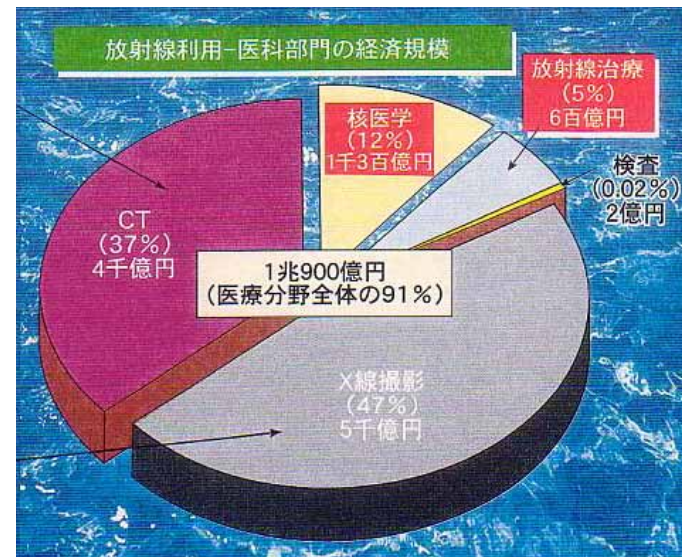
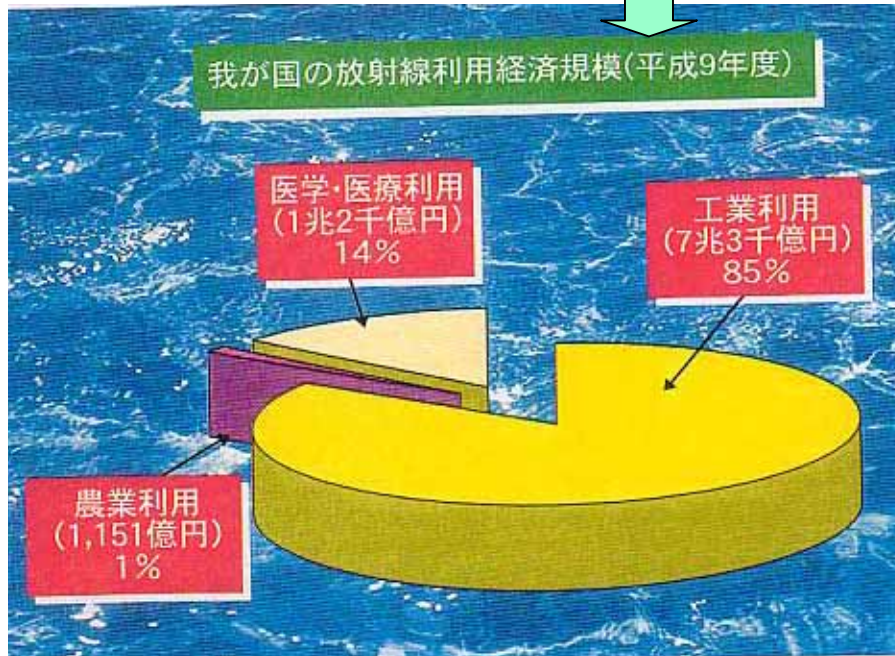
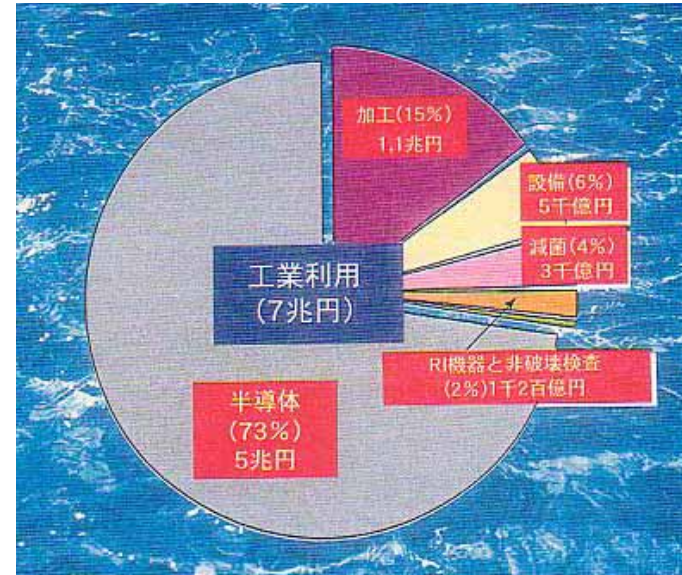
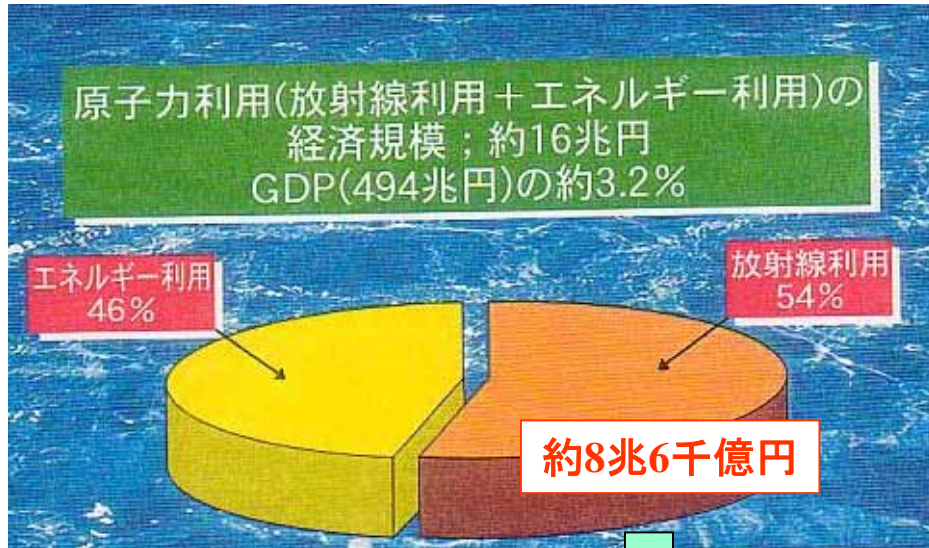
---



宿主

組換えバラ

# 放射線利用の経済規模



# 結び

放射線の危険を正確に把握・分析して制御して使用すれば、安全に人間社会に利益をもたらすことができます。

RiskとBenefitのバランスは工学の基本です。

そこには高いレベルの科学技術力に加え、技術倫理観も必要になってきました。

知らないで怖がる人でなく、知って判断してコントロールできる人になってください。