

平成18年5月12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. 放射線医療への応用
4. 滅菌・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。

連絡

本講義のホームページ

<http://sunshine.naoe.t.u-tokyo.ac.jp/jun/kougi/k-sougou/2006s.html>

本講義に関するQ & A

<http://sunshine.naoe.t.u-tokyo.ac.jp/jun/kougi/k-sougou/FAQ.html>

環境エネルギーシステムコースのトップページ

<http://www.si.t.u-tokyo.ac.jp/ee/index.html>

環境エネルギーコースのオープンラボ

5月19日4時半から、生協食堂の2階にて、ブース・プレゼンにて研究紹介

単位の説明

小さい方		大きい方	
m (ミリ)	10^{-3}	k (キロ)	10^3
μ (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

1eV (電子ボルト) = 1.6×10^{-19} 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. 原子が発する電子・X線 . . . 中エネルギー (keV程度)
3. 原子核から発する放射線 . . . 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 9.1095×10^{-31} kg 0.511 MeV

陽子の質量 1.6727×10^{-27} kg 938 MeV

放射線とは？

- radiation

- いわゆる放射線，紫外線，可視光線，赤外線，電波，
- 物質の状態変化に伴い外部に放出されるもの

- nuclear radiation

- 原子核の状態変化に伴い放出される大きな運動エネルギーを持つ粒子放射線，波長の短い電磁波

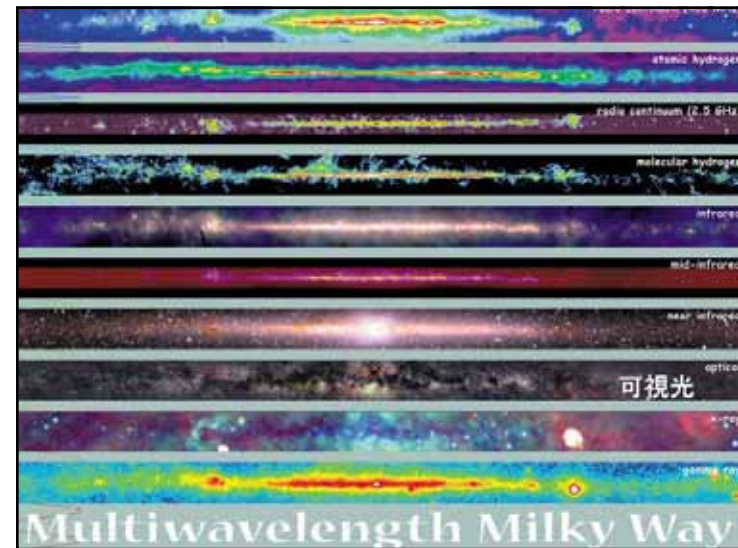
- ionizing radiation

- 電離性放射線：物質を通過する際に直接または間接にその物質の原子を電離する能力をもつ放射線

1895年



1895年



光は電磁波である

マックスウェル方程式

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・マックスウェルの法則

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

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

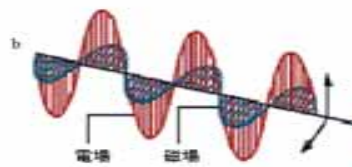


電磁波の方程式

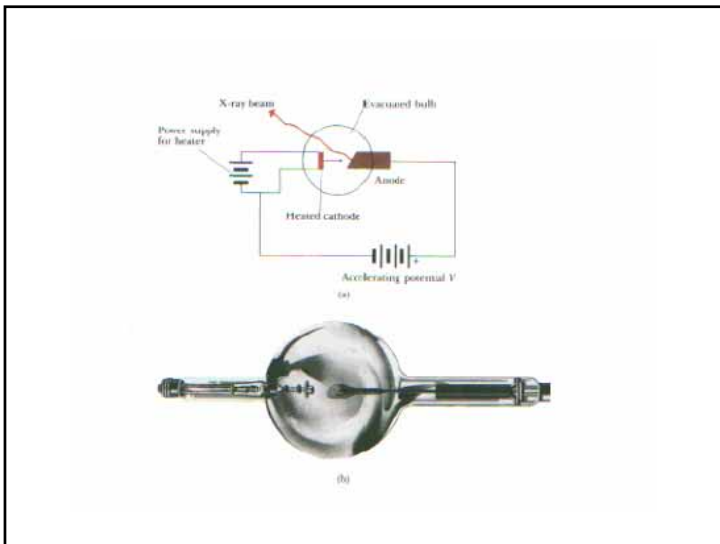
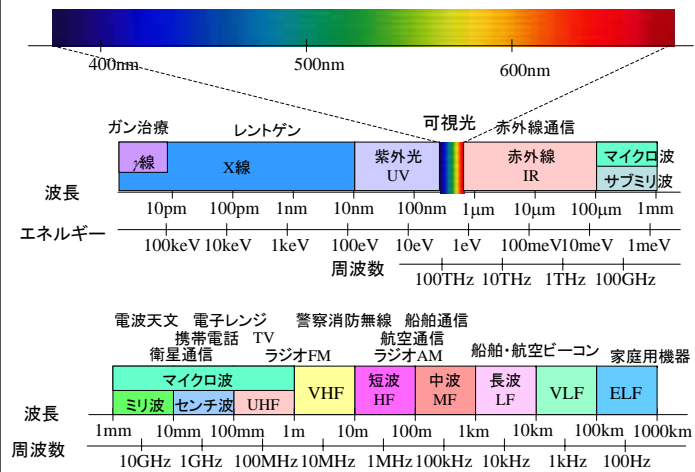
$$\left(\nabla^2 - \frac{\partial^2}{c^2 \partial t^2} \right) \begin{pmatrix} \vec{E} \\ \vec{B} \end{pmatrix} = \vec{f}(\rho, \vec{J})$$

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

いろいろな波長の重ね合わせ

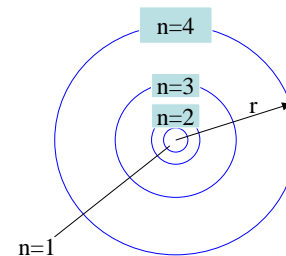


電磁波の波長と呼称

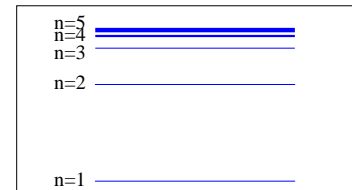


エネルギー準位と遷移

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)



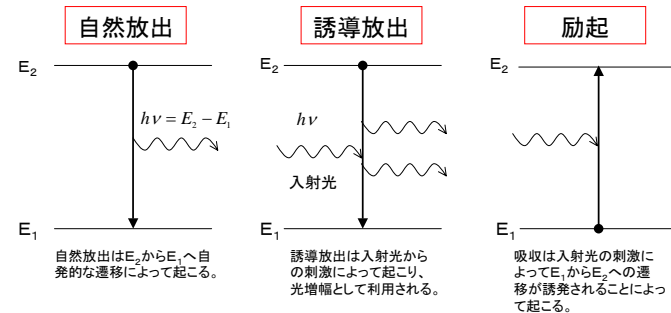
通常、原子は基底状態に存在するが光を吸収することで励起準位に遷移する。励起準位からは光を放出しながら下の準位に戻る。



自然放出と誘導放出

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

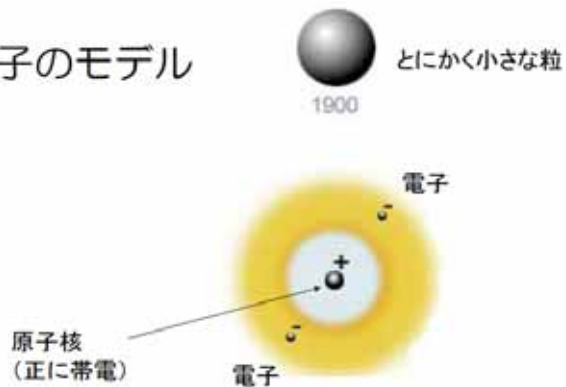
粒子(電子)のエネルギー準位 E_1, E_2 を考える。



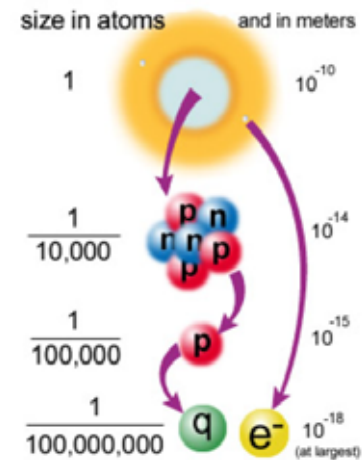
放射線はどれだけ危ないか

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

原子のモデル



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 λ
 - 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

α 崩壊

- α 崩壊
 - α 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 α 線のエネルギーは決まっている。

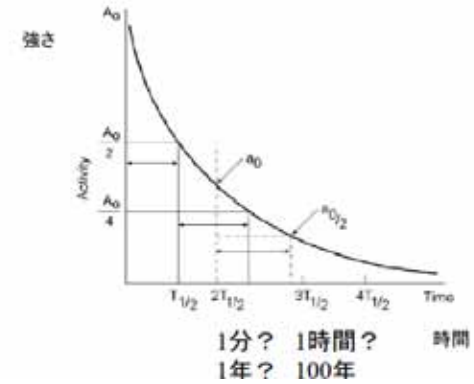
β 崩壊

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

γ崩壊

- 崩壊に伴い原子核が励起状態から安定する際にγ線が放出される。

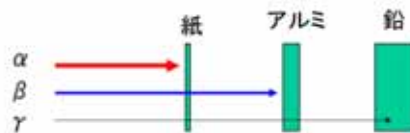
放射能



α線・β線・γ線

どう違うのか?

- 透過力が異なる。
 - α線は、紙1枚でとまる。β線は、アルミ板でとまる。γ線は鉛でないととまらない。



α線

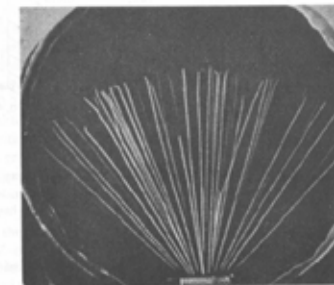
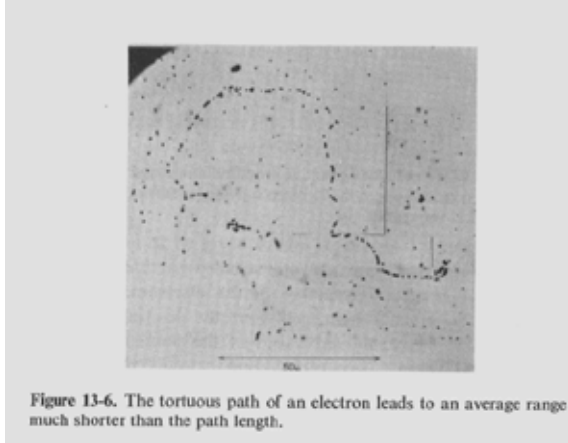


Figure 10-3. Cloud chamber photograph of alpha-particle tracks from ^{210}Po . (From F. Rasetti, *Elements of Nuclear Physics*. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, N. J., 1947.)

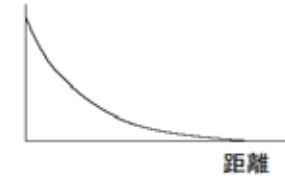
β線



γ線は物質を等価する際に少しずつ減ってくる

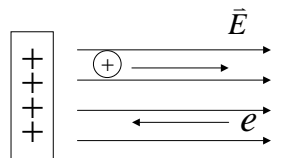
- 進む距離ごとにその数が一定の割合で減る。

ガンマ線の数



ビームの加速と制御

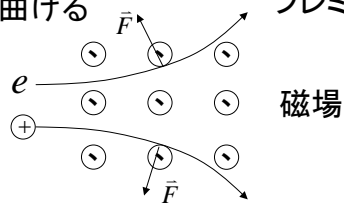
電場で加速する



連続に高い電圧をかけると放電してしまう。真空ポンプを使っても数MVが限界。

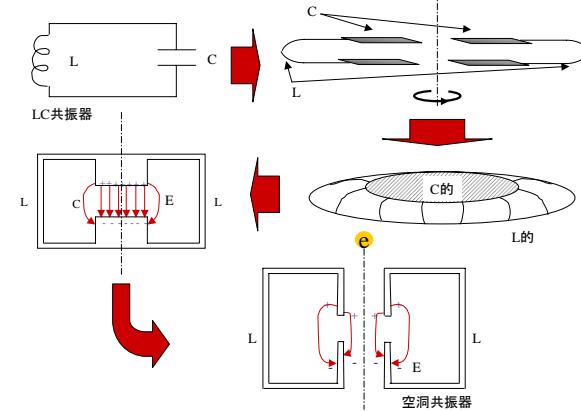
そこで高周波を使うと100MV/m程度可能。放電する前に電場が変わるから。

磁場で曲げる



フレミング左手の法則

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

東京大学原子力工学研究施設

Sバンド・ツインライナック



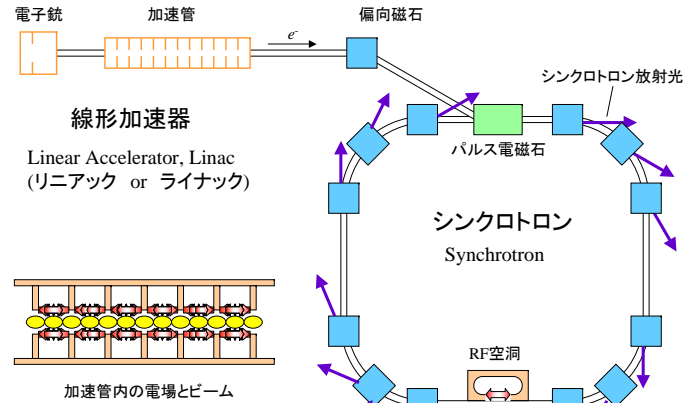
35MeV, 18MeVのフェムト秒電子ビームの生成。



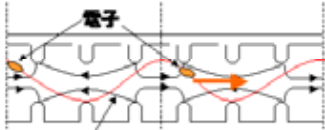
▲新15MWクライストロンと導波管立体回路
位相安定性・同期の向上

加速器の原理

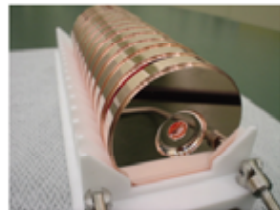
電界で加速し、磁場で方向を変える



加速器の原理



高波で浜に向かい進行するサーファー達

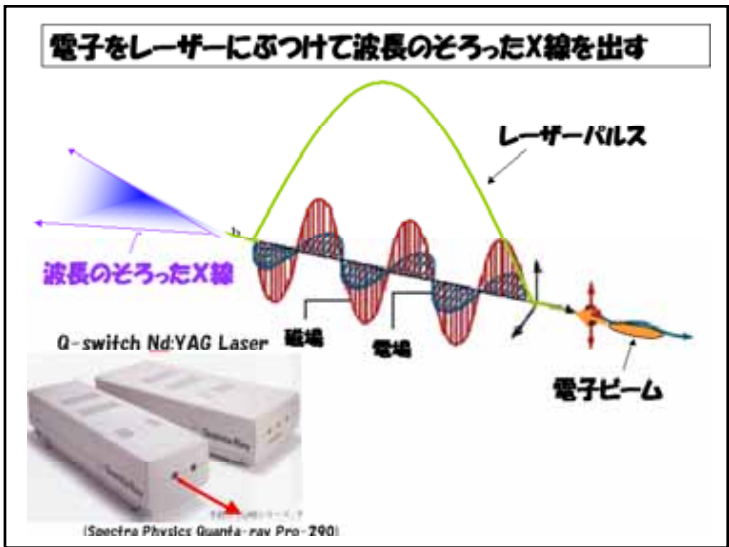


光速の電磁波で電子を加速する加速管
(ダイヤモンド加工)

電子ビームは光速の電磁波に波乗りし加速される

SPring-8 (Super Photon ring 8GeV) スプリングー8





電子ボルト[eV]とジュール[J]とワット[W] = [J/s]

電子ボルト

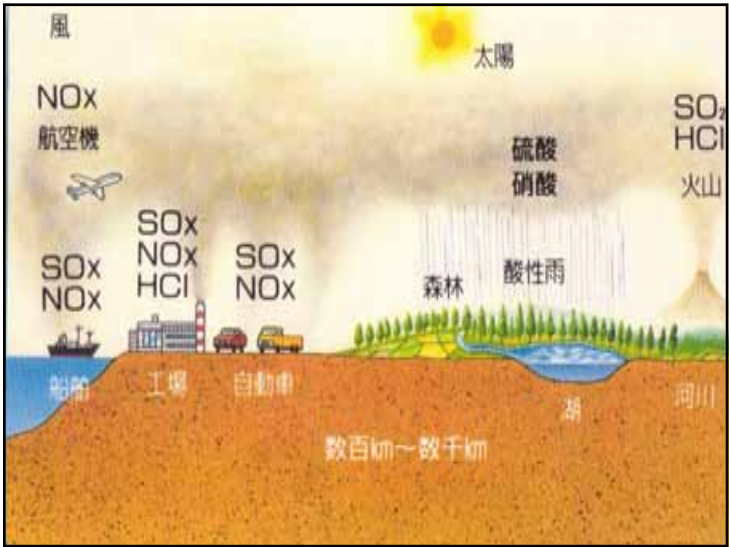
粒子1個のエネルギー	$1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19}\text{J}$	実はとても小さい
相対論($E=mc^2$)から重さの単位にもなる	$m_e(\text{電子}) = 0.511\text{MeV}$	
素粒子・原子・分子を変化させる指標	$m_p(\text{陽子}) = 920\text{MeV}$	
原子核反応を起こす粒子のエネルギー	MeV以上	
固体結合の原子を剥がすエネルギー	keV以上	
化学結合の剥がすエネルギー	eV以上	
熱運動のエネルギー	meV以下	

ジュール、ワット

物をマクロに変化・破壊する指標

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。



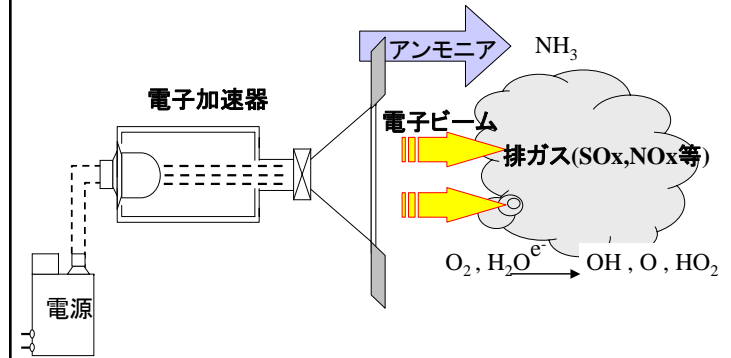
電子ビーム排ガス処理

酸性雨の被害が深刻な問題



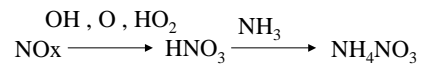
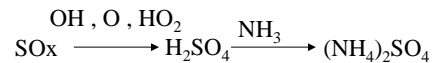
これらは火力発電所からの排煙中のSO_x、NO_xが主な原因

電子ビームを照射しSO_x、NO_xを除去
副産品として硫安、硝安を回収
ゼロエミッションに適合

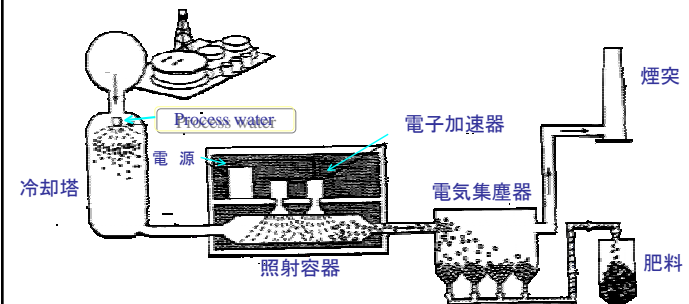


— 硫安、硝安の生成 —

副産品の硫安、硝安
は肥料として利用



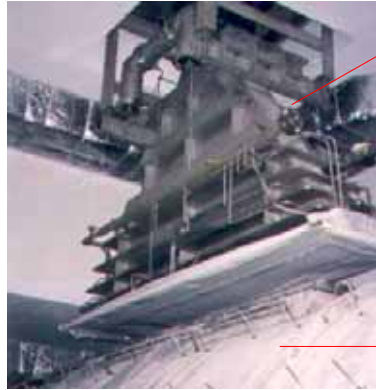
「放射線を利用した排ガス浄化の新しい方法」



除去率: SO₂ 90%
温度: 65~70℃

線量: 10~15hGy

電子線を利用して石炭火力発電所の排ガス処理実用装置
(ポーランド 2000年より)

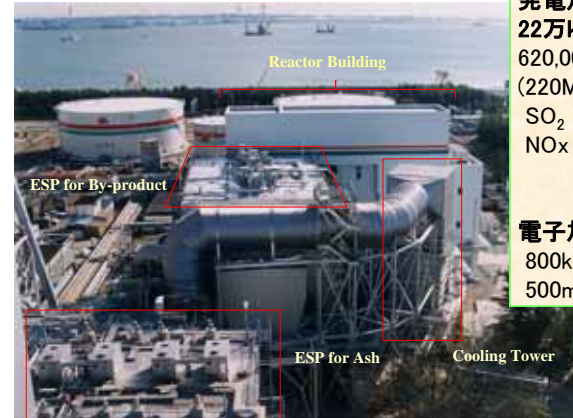


加速器

Accelerator:
300kW × 4 heads
Capacity:
270,000m³ /hour

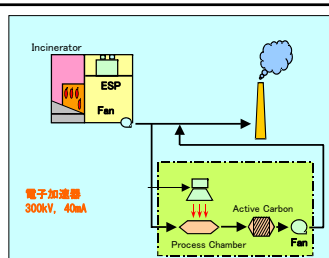
照射容器

中部電力に設置された電子線法による重油発電排ガス処理



発電規模
22万kW
620,000m³/h
(220MWe)
SO₂ 除去 > 92%
NO_x 除去 > 60%

電子加速器
800keV
500mA × 6基



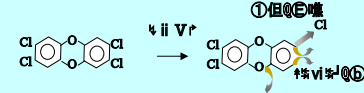
ゴミ焼却炉排ガスから電子線によるダイオキシン除去のパイロットプラント



臭気抑制装置

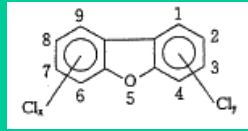
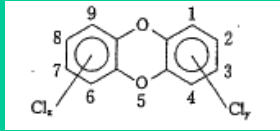
臭気抑制装置は、臭気成分を分解し、無臭化させる。臭気成分は、臭気抑制装置で分解され、無臭化される。臭気抑制装置は、臭気成分を分解し、無臭化させる。臭気抑制装置は、臭気成分を分解し、無臭化させる。

臭気抑制装置

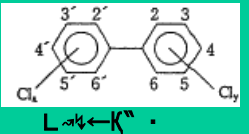


臭気抑制装置は、臭気成分を分解し、無臭化させる。臭気抑制装置は、臭気成分を分解し、無臭化させる。

x %IV VII i 毒

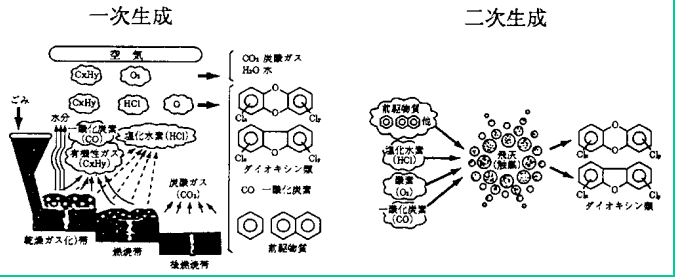


→(1)(1) ii 毒VII - 74 - ii IV VII i 毒
 (PCDDs) x %IV VII i 毒 (PCDFs)



L ← K
 L ← K PCB Co-planarPC

x %IV VII i 毒 生成

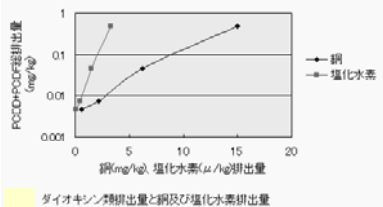


句(1)(1)同向候 口双 毒 x %IV VII i 毒 レー 組

x %IV VII i 毒 削減

- (1) 削減点 VI iii 併カ 主 F 卵 取
- (2) 削減点 (14) 兵 F 備
- (3) 削減点 但 卵 試 2 日 俗 卵 俣 削減
- (4) 削減点 2 日 双 削減点 削減点 削減点 削減点
- (5) 削減点 2 日 双 削減点 削減点 削減点 削減点
- (6) 削減点 (18) 乃 但 削減点 削減点
- (7) 削減点 2 日 7 0 削減点 (14) 兵 (17) 削減点 VI iii F

削減 → 削減
 90%削減
 CO削減
 30ppm(17)
 削減 6月 削減 2ト



ダイオキシン類排出量と銅及び塩化水素排出量



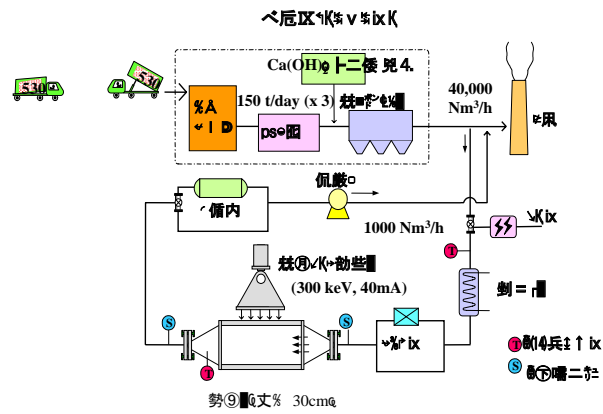
削減点 (14) 兵 F 備



削減点 (14) 兵 F 備



削減点 (14) 兵 F 備



%A ps 付 噴

ベ后区K v ix K (ベヨ 唐傳 割傳 傳 俠怕偏)

%A ps 付 iii D K V 困 俠 克

24 囉 囉 450 D 到 (150 D 3 圈)

兩 侏 侏 兩 → X ix 侏

翻 于 収 曝

器 18 双 30h 50 ppm

惚但 18 双 (O₂ 12θ 視) 70h 90 ppm

① 18 乃但 (O₂ 12θ 視) 180h 230 ppm

監但 7h 9 視

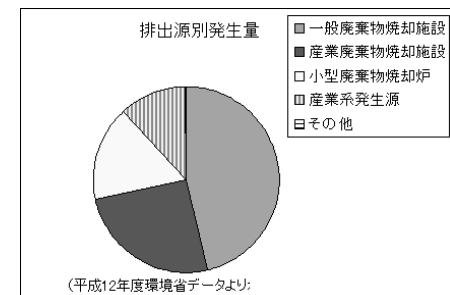
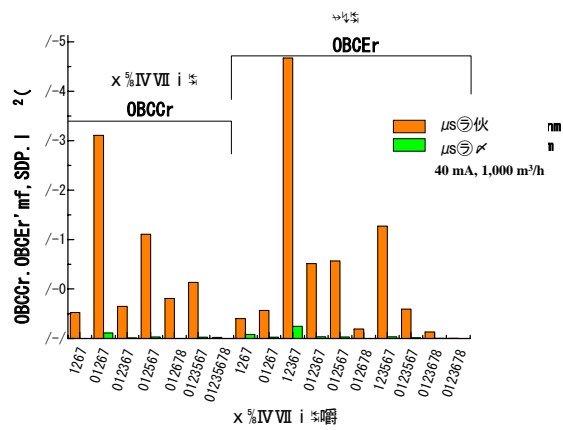
□ 18 倭但 (O₂ 12θ 視) 30h 90 視 ppm

初 18 倭但 10h 13 視

乃 収 15h 20 視 v/vθ

劉 兩 2h 10 視 mg/m³(NTP)

x IV VII i 囉 0.5h 5 視 ng-TEQ/m³(NTP)



動 割 口 双 ps 付	1.01 視
割 翻 乃 視	0.03 視 g
財 割 口 双 ps 付	55 視
割 翻 乃 視	2.4 視 g
割 口 双 ps 付	35 視 37 視
財 割 口 双 ps 付 (允 び 視)	25 視
割 翻 乃 視	4. 視 g
侏 翻 翻 乃 視	1. 視 g

併③任映(聖)のλ x %IV VII i 5副0点器 16誌

値 ng/m³

6月冠口 ps剽嚙	巧付四	付四	
		1998.12.1k 2002.11.30	2002.12.1k
† D*kt	“0”	“	”
† D*哨員 ” D*kt	”	“	‡
” D*哨員	‡	“	” “

7KQの冥77 13.

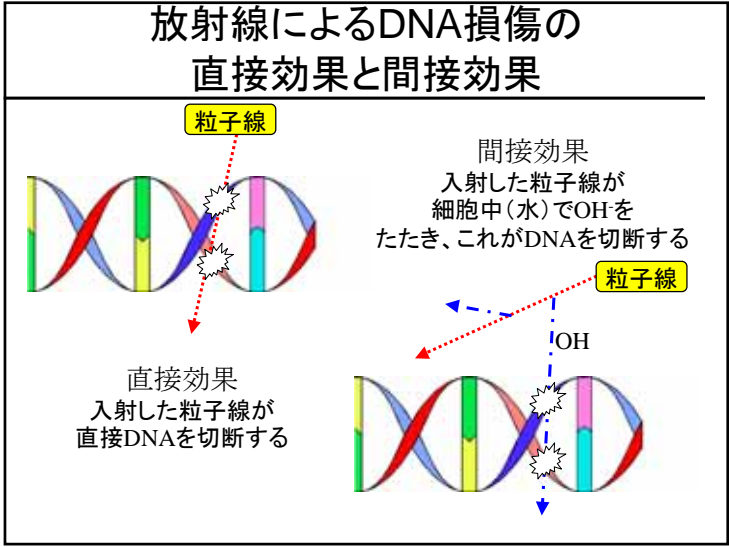
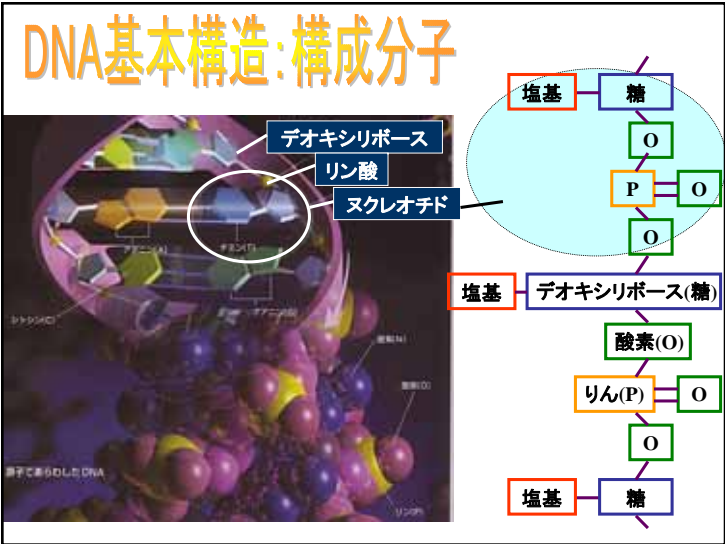
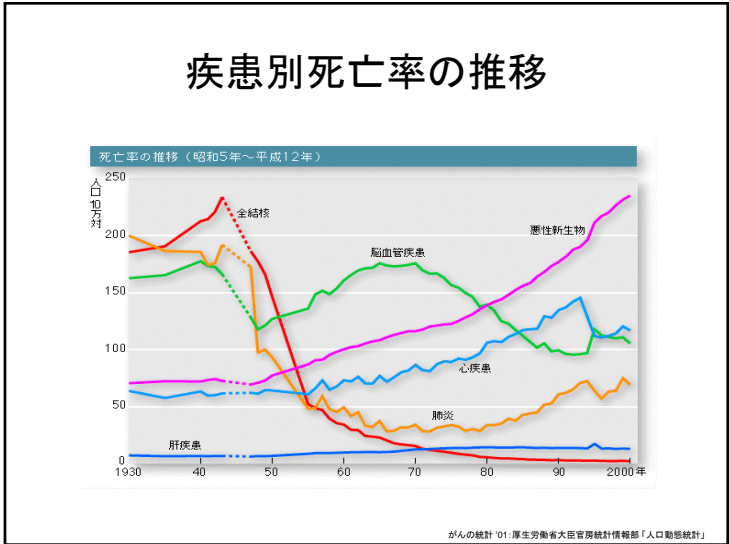
Ŷ 1) 副*愚 x %IV VII i 5嚼%hPa 剽兵08 90θ*kt取(⊕)
ŶŶ (佈器14kGy*ktŶ2誌嗜 剽兵 0.01 ng-TEQ/m³*(17))
Ŷ 2) 嘶▽双(⊕)噴.勢(⊕)ゴ(⊕)啤
ŶŶhPa 勢(⊕)x %IV VII i 5ご侏%<5月°CKK⊕
ŶŶ①但倘嚙ole II Km* I 主⊕今僅8*vi 5-⊕
ŶŶ②†F 5-⊕=⊕λy x %IV VII i 5b→450g⊕-5No.λy
Ŷ 3) 殊(⊕)K→μs(⊕) 剽*⊕≥倣二南2.
ŶŶ a) 喧①喧⊕二匪噩(⊕)些于No.°C⊕匪器⊕器監①取⊕
ŶŶ b) †*†15嗟几二 (ELISA 孕)Ŷμs(⊕)⊕1勤→
Ŷ 4) 2誌嗜→b iii ⊕①剽⊕本

噴(18)Z⊕碎冊

Ŷo^X→%ix 剽⊕λへ兵剽≠2誌嗜
Ŷo⊕噴ノps⊕付(⊕)備6月⊕ル)†*VI iii ⊕2誌嗜ŶNo.⊕

医療応用
放射線医療
電子・X線・イオンビームによる
がん治療
手術なく抗がん剤の副作用なく





放射線が人体に与えるエネルギー

ヒトのLD_{50/60}にあたる4Gyの放射線が人体に与えるエネルギーの熱のエネルギー(熱いコーヒーをのむ)と仕事のエネルギー(重いものを持ち上げる)に換算して比較する。

(全身被ばく)

体重=70kg
LD_{50/60}=4Gy
吸収されたエネルギー=70×4
=280J
=280÷4.18=67cal

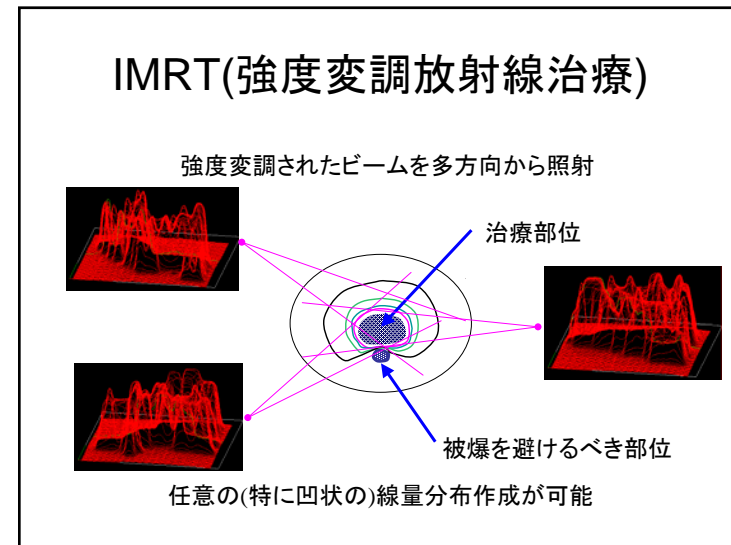
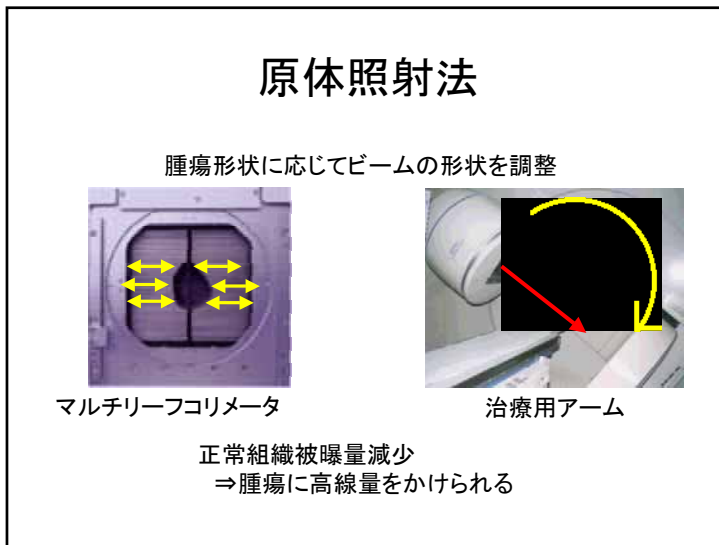
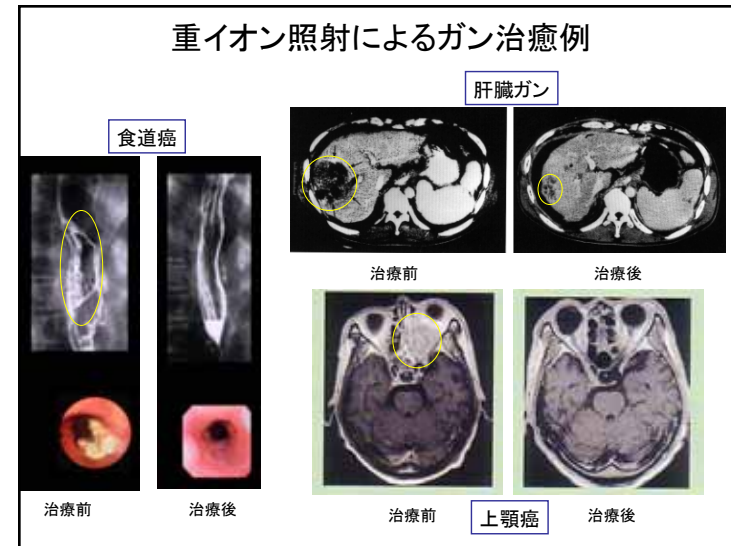
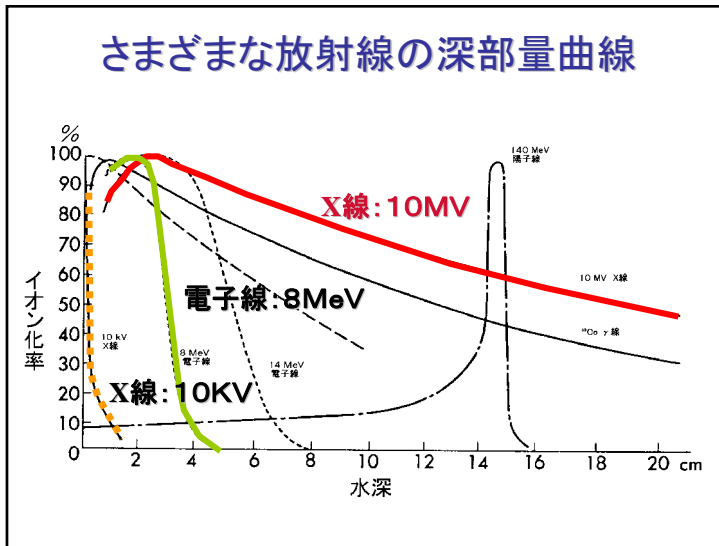
(熱いコーヒーをのむ)

温度差=60-37=23℃
LD_{50/60}の熱量に相当する
コーヒーの量=67÷23
=3ml(一口)

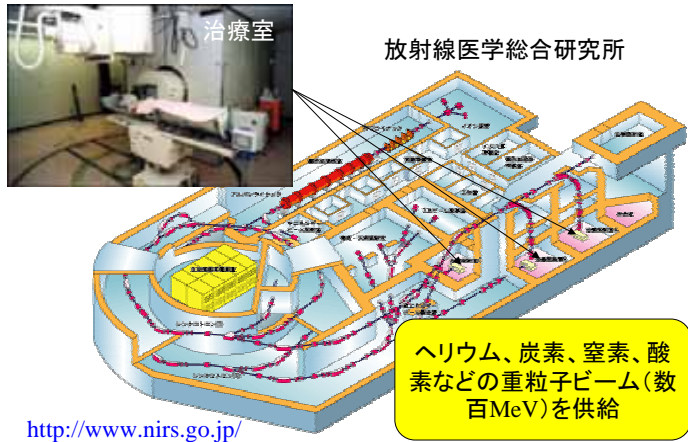
(70kgのものを持ち上げる)

もの重さ=70kg
LD_{50/60}のエネルギーで
持ち上げられる高さ=280÷(70×0.0981)
=0.4m

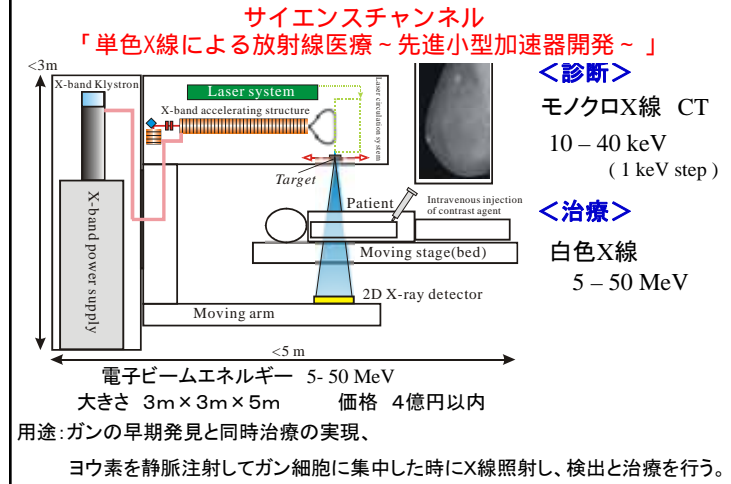
LD_{50/60}:
致命的損傷(Lethal Damage)
50%の人が60日以内に
死亡する線量



重粒子照射器 HIMAC



単色X線マルチ診断治療装置



医工連携放射線治療グループ

中性子捕捉療法・免疫療法の開発
難治性癌に対する加速器を用いた

東大医学部胸部外科
医学部放射線科
大学院工学系研究科原子力/国際専攻
大学院工学研究科システム量子工学
大学院工学研究科化学システム工学
先端研

高精度定位X線治療システムの開発
体幹部難治性癌に対する

難治性癌に対する集学的放射線治療の創生

工学部システム創成学科での 医学物理教育指針

システム創成学科環境エネルギーシステムコース
シミュレーションコース

基本方針 物理と放射線理工学の基礎を学習

環境エネルギーシステムコース
2, 3年

放射線と環境、電磁エネルギー科学、原子炉・ビーム実習
(東海での原子炉・加速器・レーザー実習)、応用プロジェクト、
その他固体・流体力学の講義
4年

エネルギービーム応用工学、領域プロジェクト、
卒業論文(医学部での実習を含む)

シミュレーションコース
シミュレーション技術、画像処理、放射線理工学等

原子力国際専攻医学物理コース教育

・放射線理工学・安全・加速器・計測・データ処理等に関する講義 20単位以上

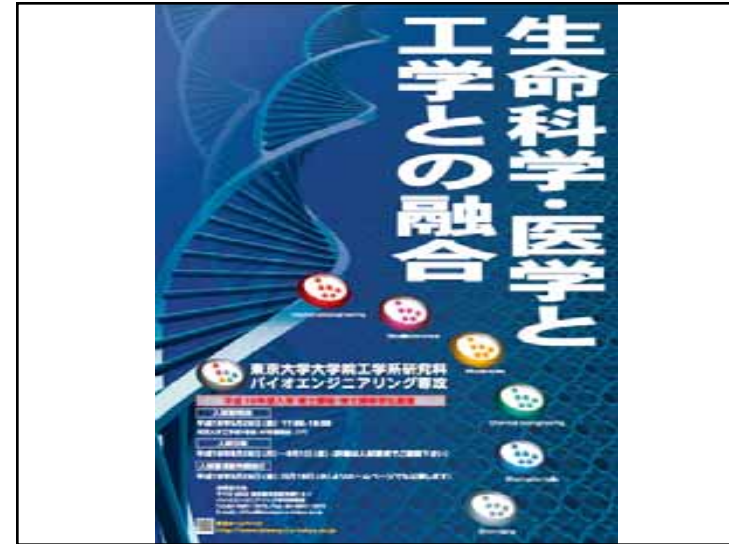
・医療用加速器・計測・放射線化学・物理等に関する修士・博士論文研究

今年度2名が医学物理士合格

・東大病院放射線科にて、医学部客員研究員 / 研究生の立場で臨床実習。医学物理士受験資格の臨床経験1年にカウント。

・放射線医学総合研究所で集中実習。これも臨床経験にカウント。

医学物理の学問分野の確立が先決



<p>メカノバイオエンジニアリング分野 機械工学とバイオテクノロジーを融合した先進的医療技術開発に関する研究教育</p> <p>松本 洋一 准教授 (協力教員) (機械工学専攻)</p> <p>北石 秀 教授 (協力教員) (産業機械工学専攻)</p> <p>中田 孝太郎 准教授 (専攻教員) (医学系研究科幹細胞工学センター・機械工学専攻)</p> <p>石川 亨平 助教 (専攻教員) (機械工学専攻)</p>	<p>ケミカルバイオエンジニアリング分野 DNA, RNA, 蛋白質などの機能性生体分子の構造と機能、なげらば、機能性生体分子を利用した生体システムの開発、および、新興医療に於ける研究成果を踏まえ、これらの機能性生体分子や合成分子を人工的に設計、合成、精製し、システム化する事によって、目的に合った機能を有する生体分子、インテリジェント分子機能、細胞、組織を設計、構築、制御する技術に関する研究教育</p> <p>小宮山 誠 教授 (専攻教員) (先端科学技術開発センター・化学系工学専攻)</p> <p>長瀬 謙行 教授 (専攻教員) (化学系工学専攻)</p> <p>梅田 直二 教授 (協力教員) (化学系工学専攻)</p> <p>山口 隆典 助教 (協力教員) (化学系工学専攻)</p> <p>藤原 肇行 助教 (専攻教員) (医学系研究科幹細胞工学センター・産業機械工学専攻)</p>
<p>バイオエレクトロニクス分野 生体情報処理の特殊である分散神経、常同相性、可塑性における、その神経回路の解明と、ハードウェアとしての高度的な機能に関する研究教育</p> <p>尾崎 正典 教授 (専攻教員) (機械工学専攻)</p> <p>松本 洋一 准教授 (協力教員) (機械工学専攻)</p> <p>藤原 肇行 助教 (協力教員) (電子工学専攻)</p>	<p>バイオマテリアル分野 遺伝子治療、細胞分化誘導される生体分子、骨・軟骨再生、歯牙再生などがバイオエンジニアリング、さらに、細胞再生を基盤としたオーガニックエンジニアリングなどに代表される高度な生体分子を基盤とした、バイオマテリアル開発技術に関する研究教育</p> <p>松本 洋一 准教授 (協力教員) (マテリアル工学専攻)</p> <p>三原 一孝 教授 (協力教員) (マテリアル工学専攻)</p>
<p>バイオデバイス分野 バイオセンサーの開発に向けた、生体や細胞、組織、遺伝子などの情報を検出する装置の開発に関する研究教育</p> <p>土橋 真澄 教授 (協力教員) (応用化学専攻)</p> <p>志村 博仁 准教授 (専攻教員) (応用化学専攻)</p> <p>中野 謙太郎 助教 (専攻教員) (総合研究機構)</p> <p>藤本 博典 助教 (専攻教員) (産業技術研究 機械工学専攻)</p>	<p>バイオイメージング分野 分子イメージング、代謝イメージング、バイオセンサーなど、生体の構造と機能に関する情報を画像として捉え、その解析や画像処理に関する研究教育</p> <p>上野 亮 教授 (協力教員) (電子情報専攻)</p> <p>高橋 博之 教授 (協力教員) (電子情報専攻)</p> <p>中島 隆裕 助教 (専攻教員) (産業機械工学専攻・機・専攻)</p> <p>高野 達郎 助教 (協力教員) (機械工学専攻)</p>

詳細は、専攻ホームページで紹介しています。
専攻ホームページ <http://www.bioeng.tu-tokyo.ac.jp>

滅菌と品種改良

1、滅菌

2、食品照射

3、品種改良

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)

少量 突然変異、**品種改良**
↓
多量 殺傷

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**

放射線による医療用具の滅菌

● **加速エネルギー**: 5-10 MeV ● **容量**: 10-100kW

特長

- 完全な滅菌
- 高速な処理
- 完全包装後の滅菌



滅菌の定義

- **滅菌**: 生存確率百万分の一
- **殺菌**: 細菌を殺すこと
- **消毒**: 有害菌を殺すこと
- **防菌**: 菌の増殖を妨げること
- **制菌**: 菌を一定以上に繁殖させないこと
- **工業的滅菌方法**: STEAM、ETO、Radiation

滅菌のルール

- **薬事法、品質管理基準**
- **日本薬局法**
- ISO11137、EN552
- ISO9000
- 輸出先国、滅菌委託者などによる立ち入り検査

ガス滅菌の問題点

- ガスの表面接触により滅菌効果がある
- 滅菌のパラメータが多い
ガス濃度、温度、湿度、真空度、圧力、処理時間
- 包装材料のガス透過性と再汚染
- 作業安全性: 発がん性、
- 残留毒性: 残留量低減の保存期間
- **環境への影響**: 排ガス処理

照射滅菌の特徴

- 滅菌効果: 理論的な計算が可能
- 透過力: 透過曲線 (DEPTH-DOSE)
- 梱包: 内部線量分布
- 材質への影響: 色、匂、硬度の変化
- 処理速度: 秒、分 or 時間
- 線源管理: 定期補充 or メンテナンス
- 運転、保守:
- 作業性: 労働力集中、or 分散

応用例		
医療品：原薬、添加物 血漿 ポーンワックス やけど軟膏 酵素 手袋用クリーム 潤滑ゼリー 生理食塩水	試験機材、臨床検査機材 ビーカー、コンテナ シャーレ、培養容器 接種用ループ 検査、診断キット 血清培地 フィルター、 動物用：床敷き、飼料	薬品容器、食品包装材料 薬品容器、点眼瓶、輸血バッグ インナーバッグ(ジュース、コーヒー) マーガリン容器 紙コップ LL、乳製品、紙容器 ストップコック 乳児用品 おしゃぶり、ほ乳瓶、乳首 ベビーパウダー 乳児用紙おむつ
医療用具 カテーテル コネクタ 手術用：手袋、縫合糸、メス、 縫合器 ドレイン 人口骨、人工関節 注射器、ランセット 電極、救急セット	化粧品、化粧材料 原材料 アイブラシ(粘膜周辺で使われるもの) アイペンシル シャンプー 容器、容器着色(フランス、ポーランド)	その他 毛布、瓶、手術用マーカーペン クリンルーム資材、 キャップ、マスク、ゴーグル、ガウン、ワイパー、下着、靴下、オーバーシューズ、筆記用具
	衛生材料 ドレープ、ドレッシング ガウン、手術用キット ガーゼ、脱脂綿 包帯、新生児用おむつ	

放射線滅菌施設

■ガンマ線滅菌施設

- ラジ工業(群馬県高崎市)3機
- コーガアイソトープ(滋賀県甲賀町)
- JISCO(茨城県東海村)
- テルモ(長崎県甲府市)
- JMS(広島県千代田町)
- ニプロ(秋田県大館)
- 旭メディカル(大分県)

■電子線滅菌装置

- ホギメディカル(つくば)
- 伸晃化学(松任)
- JISCO-EB(つくば、泉大津)
- ラジエ工業(高崎)
- 原子力燃料工業(熊取)
- 日本シャーウッド

受託照射施設

ガンマ(γ)線

- 日本照射サービス(株)(茨城県東海)
- コーガアイソトープ(株)(滋賀県甲賀)
- ラジエ工業(株)(群馬県高崎)

電子線

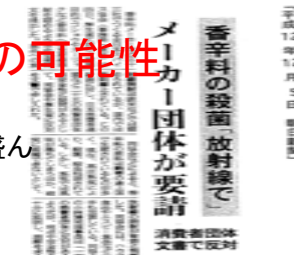
- 日本電子照射サービス(株)EB
- 関西電子照射センター(大阪府泉大津)
- つくば電子照射センター(茨城県つくば)
- 原子力燃料工業

電子滅菌への期待

- 放射線利用(滅菌等)は急速ではないが着実な伸びが期待できる。
- ガンマ線から電子線へ
- 大型から小型へ
- バリデートされた製造工程
- 線量測定の厳密性
- 検査計測の重要性

食品照射の可能性

- 米国では牛肉の殺菌が盛ん
- 生卵のサルモネラ
- 学校給食に採用
- 熱帯果実の防疫
- 野菜・果実の輸入検疫として許可
- WTOの世界企画受け入れ
- スパイスの照射は欧米、アジアで許可
- カット野菜、ミックス野菜、調理済み食品への期待



海外の食品照射の許可事情

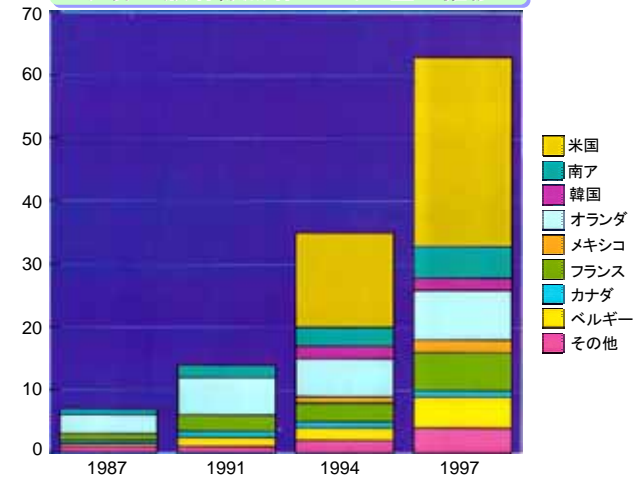
- 世界の40カ国で90品目が許可されている
- ECでは照射スパイスの流通を認可
- アメリカでは、3000箇所の店舗で照射食品が出回っている。
- WTOと農産物貿易の自由化:統一
- メチルブロマイドの禁止
- グレープフルーツ、パパイアを日本へ輸出したい



米国の新しい許可例

- ECでのスパイスの流通を認証
- 鶏卵の照射
- 防疫目的の殺虫、熱帯果実、野菜等の輸入品についても放射線照射を許可
- 審査中: 調理食品
- 3003. May: 国際的な照射食品流通に関する国際会議 at Chicago

世界の放射線照射スパイス量の推移



ガンマ線照射によるジャガイモの発芽抑制 (わが国で唯一認可された食品放射線照射施設)



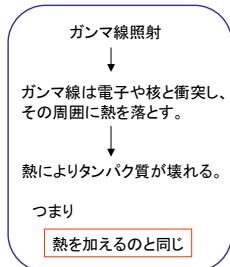
ジャガイモ畑



芽が出たジャガイモ



ガンマ線照射



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

千葉県農業総合研究センター

2001年秋より広島市で試験販売

2003年春より市販

苗を大量増殖中



ワールド (玫瑰)



ローズ



(ユーラルファンタジー)



コーラルピンク



サクラ



もも

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)
- 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



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



青いカーネーション
ムーンダスト

突然変異誘発技術

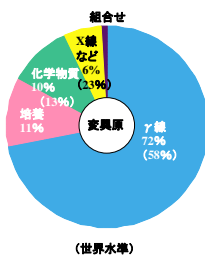
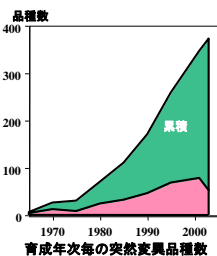
放射線

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(1948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γ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(⁶⁰Co, 88.8TBq, 2400Ci)
- 1964年 ガンマーグリーンハウス(¹³⁷Cs, 4.81TBq, 130Ci)
- 1967年 ガンマールーム(⁶⁰Co, 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 (MeV)	LET (keV/μm)	Range in Water (mm)		Cooperation
	Total	Plant exp.						
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

HPRT変異体誘発（動物培養細胞）

Spontaneous: 2.0×10^{-6}
X-rays (1.2Gy): 12.0×10^{-6}
C-ions (1.0Gy, 22 keV/ μ m): 7.2×10^{-6}
Fe-ions (2.0Gy, 1000 keV/ μ m): 13.0×10^{-6}

Point mutation
Partial deletion
Complete Deletion (10 kbp)

Y. Kagawa et al., J.Radiat.Res., 36, 185-195, 1995
M.Suzuki et al., Adv.Space Res., 18,127-136,1996

Mutant	Point-like mutation		Large DNA alteration	
	Point mutation	Deletion	Inversion	Insertion
Translocation				
tt3	1	small		
		large		
tt4		1 bp:2	5.4 kbp:1	140 kbp:1
		8-30 bp:2		12 Mbp:1
tt5	1			1.3kbp:1
tt6	1	100bp:1		
tt19				1.0Mbp:1
gl1		17kbp:1		
		38bp:1	6.1-22kbp:2150kbp:1	
gl2			88-240kbp:2	
		13bp:1		
Total	3	7	5	4
		10		1
				11

シロイヌナズナ変異誘発 (TIARA)

(G, 220MeV, 113keV/mm)

N. Shikazono et al., Genetics 157:379-387(2001)
N.Shikazono et al., Genetics163:1449-1455(2003)

Automatic Sample Changer

Ionization Chamber 2

Range Shifter

Ionization Chamber 1

Beam

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

芽変異誘発

重イオンビーム照射 (生物照射-号機)

新品種候補 (斑入り葉)

新品種 (ローズ)

変異株選抜・大量増殖

斑入り葉だけ

花の色だけ

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

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)

2005年8月4日 アイソトープ協会

花の色を変える

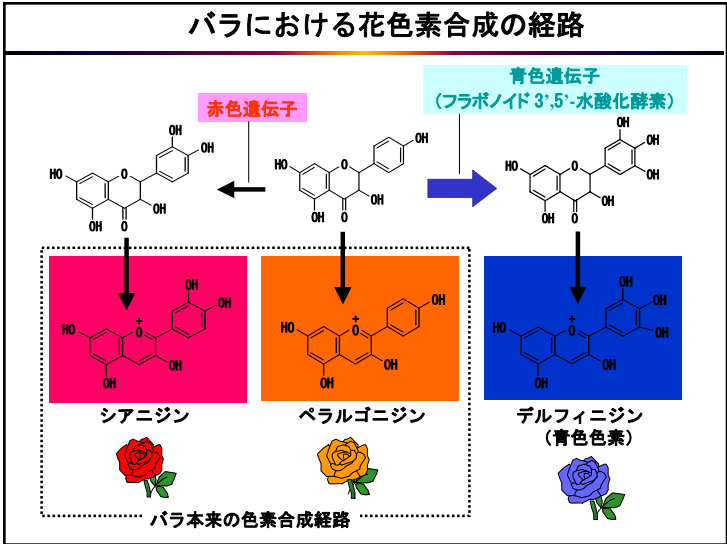
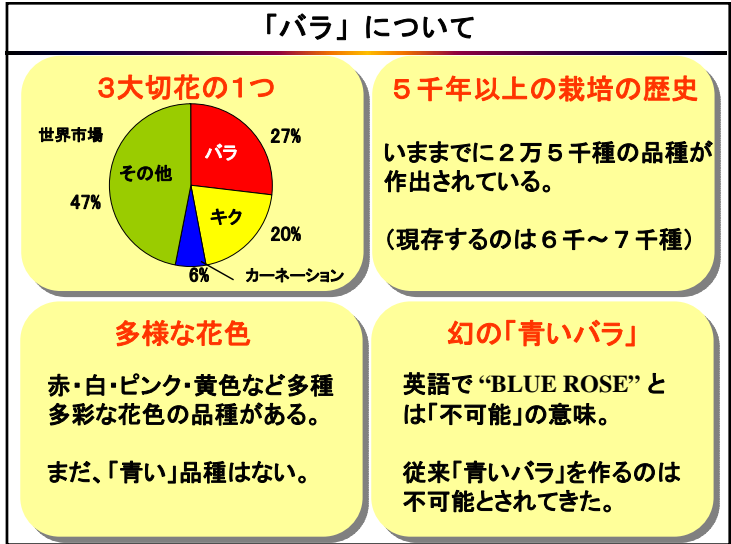
農林水産先端技術産業振興センター (STAFF)
(サントリー株式会社)

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

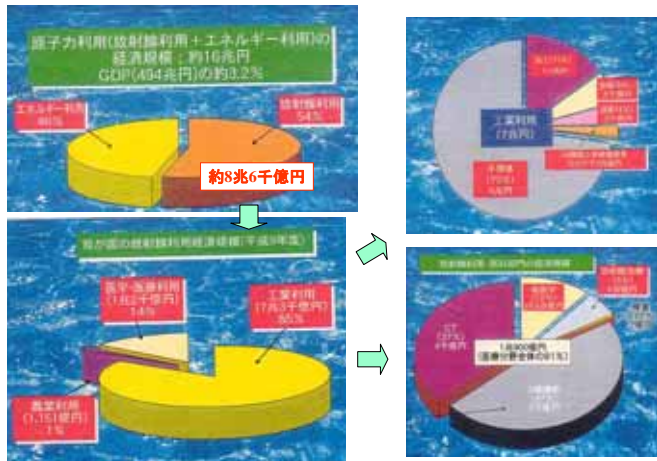
	← アントシアニン →				
フラボノイド	カルコン	オーロン	アントシアニン	デルフィニジン	メタロタンタンニン
	カロチノイド	ベタキサンチン	ベタシアニン		クロロフィル



- ### 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
-



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。