

原子力と物理学者

井上 信

2011.3.27

日本物理学会

原子炉を眠らせ、 太陽を呼び覚ませ

森永晴彦

1997年 草思社



はじめに
賛成か反対かという不毛な論議はやめよ！
本書の主題は、原子力の力で太陽を取ってくるという明るい話である。しかしながら、私が過去五〇年間ずっとそばで見てきた原子力の世界は、けっして明るいものではなかった。そこにはつねにウソと策略とがつきまとい、兄弟分である核兵器の影がちらちら見え隠れしてきたのである。だから私の友人のように、あえて学界から出ようとせず、頭から原子力とのかかわり合いを避けている者も少なくない。だが、私には一研究者の正直な感情として、科学者として、また社会人として是非とも言っておきたいことがある。私は、自分が感銘を受けてきた核の科学に、もっとまじな道を歩んでもらいたいのだ。私のような、一般には無名の人間が原子力について語れば、おそらく読者の最初の反応は「お前は原発に対して賛成派かそれとも反対派か」という設問となるだろう。だが、ここで はっきりと断っておきたい。私は、賛成か反対かというような不毛の次元で動くことは、科学者としてとるべき態度ではないと信じる。重要なのは、そういう不毛の政治的立場をとることではなく、どうすればわれわれの生活を、現状から脱してより良く、かつ安全なものにできるかという問題に取り組んでいくことである。

原子力とは

世界的には核兵器としての利用が大きな意味を持っている（日本の研究者は自分は関係ないと思っているが外国からどう見られているか？）。

日本では核エネルギー利用と放射線利用が原子力の二本柱とされている。

狭い意味では核分裂反応のエネルギー利用（原発）のことを指す場合が多い（核融合の関係者の中には自分たちの分野を原子力といわない人も多い）。

物理学者としては、原子核研究は学術的基礎研究、原子力はその応用という感じがあるが…

基礎と応用の分担・連携

学術研究 知的好奇心

利用可能性の研究開発

実用 探算・可能性の研究開発

実用 大量生産

(基礎)

(応用)

Fundamental science

Basic research

Development

Industry

大学理学部

大学工学部

経産省等研究所

民間企業等

大学共同利用機構

文科省研究所

(産総研等)

(メーカー・電力会社)

(KEK・核融合研等)

(理研・JAEA・JASRI・放医研等)

J-PARC

JRR3

常陽

もんじゅ

LHD

JT60

IFMIF/EVEDA

JMTR

KEKB

RIBF

SP-8

X-FEL

HIMAC

量子ビームテクノロジー

(学術機関課 学振)

(基礎基盤課・量研室 JST)

(NEDO)

連携ネットワーク・プラットフォーム

原子核研究から核兵器開発へ

－戦前の歴史－

原子核の存在

(1911)



ラザフォード

中性子の発見

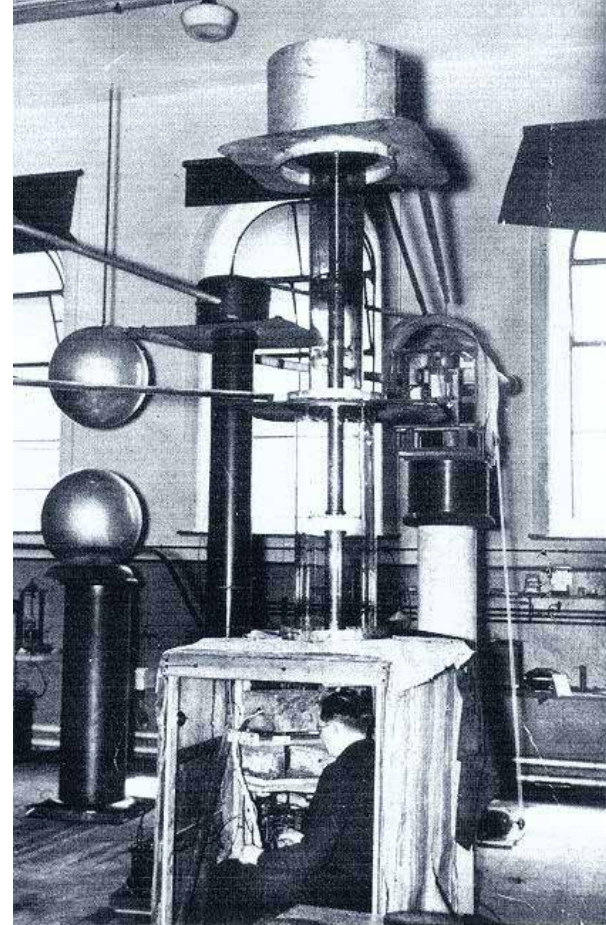
(1932)



中性子発見 チャドウィック (1932)

加速器による人工核変換

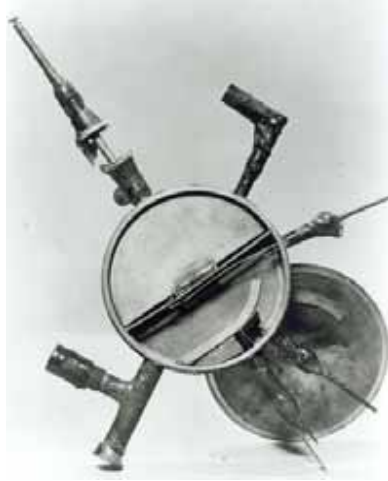
(1932)



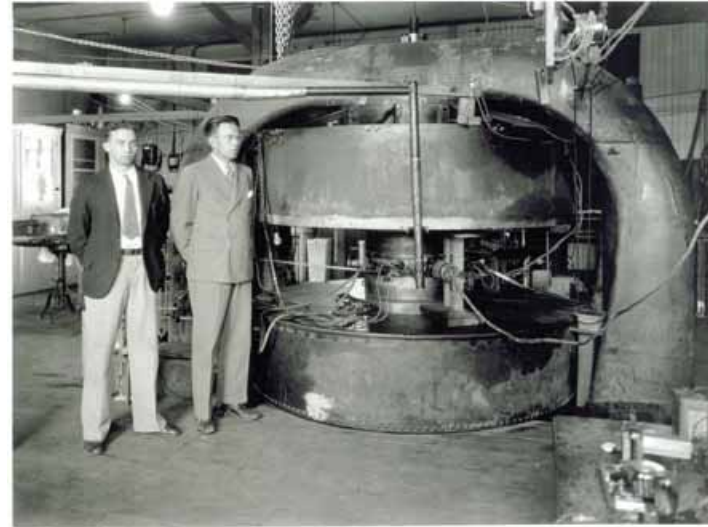
**コッククロフトとウォルトンが作った加速器
(1932年)**



台北帝大のコッククロフトウォルトン型加速器 (1934) 荒勝文策と木村毅一



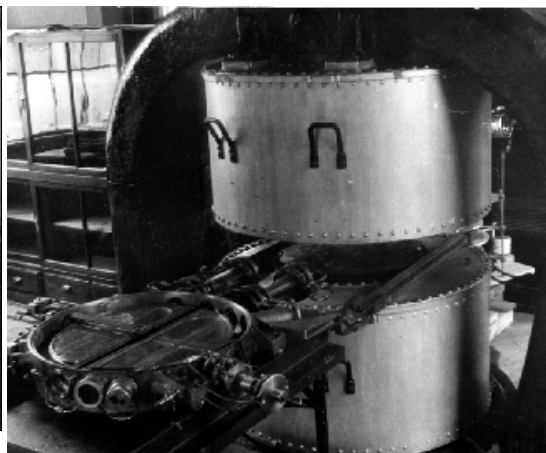
**Lawrenceの学生だった Livingstonが
作った4インチのサイクロトン加速箱
(1931年) 80keV加速を確認**



**27インチサイクロトン(1934年)
Livingston(左)とLawrence(右)**

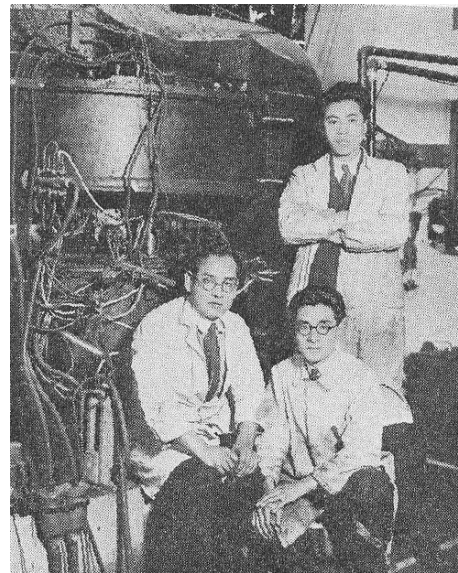


仁科芳雄

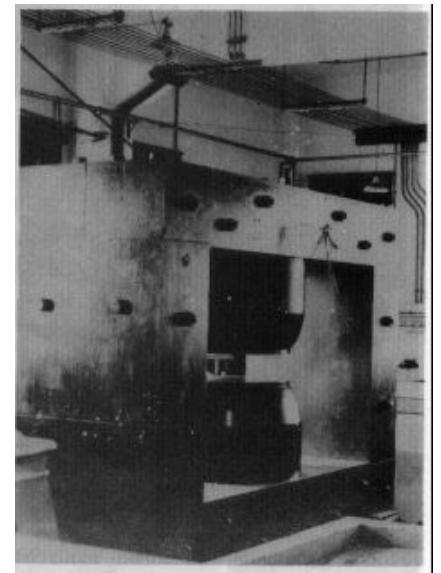


**理研1号サイクロトン (当時
は小サイクロトンといった
(1937年)**

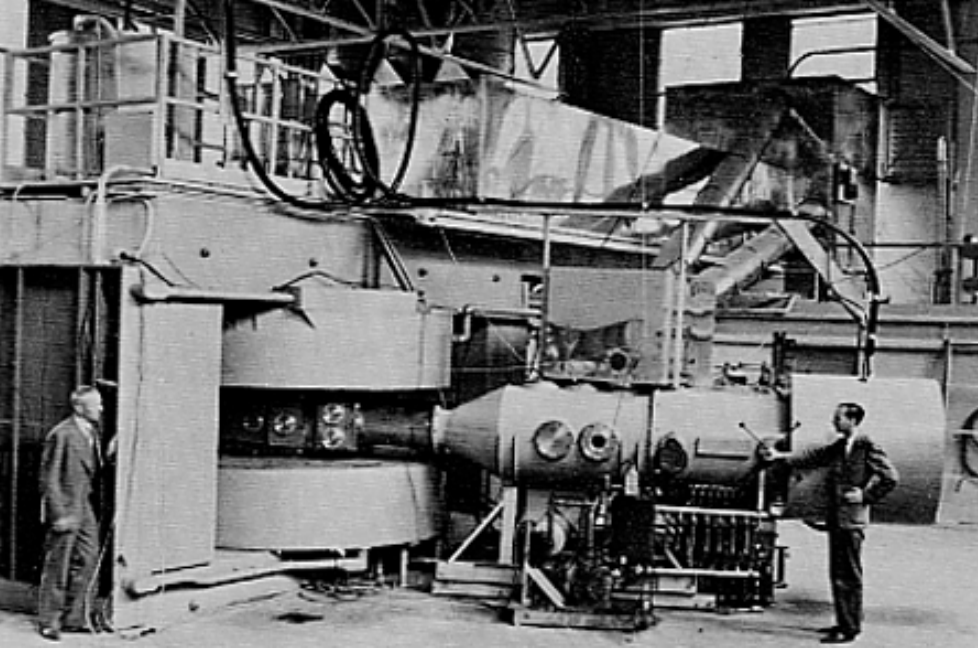
(理研websiteより)



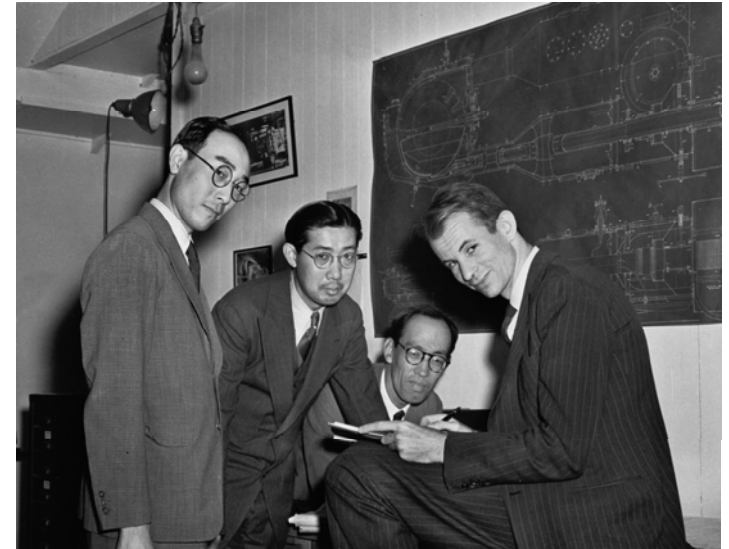
**戦前の阪大のサイクロトン
菊池正士研究室**



**戦前の京大のサイクロトン
荒勝文策研究室**

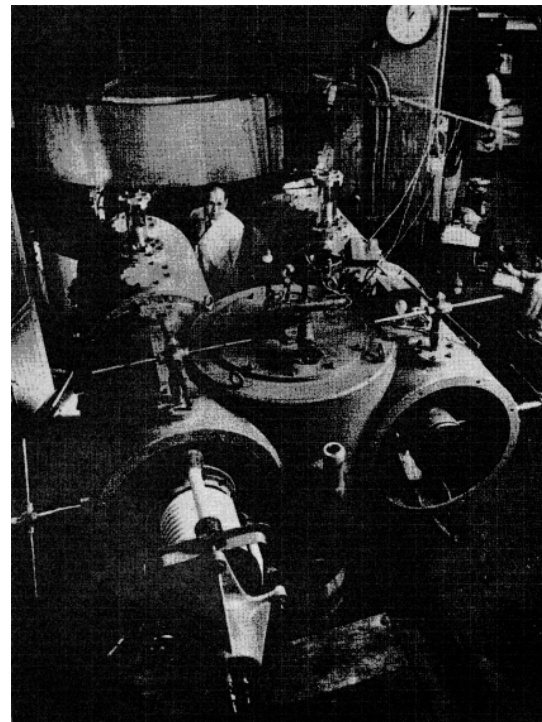
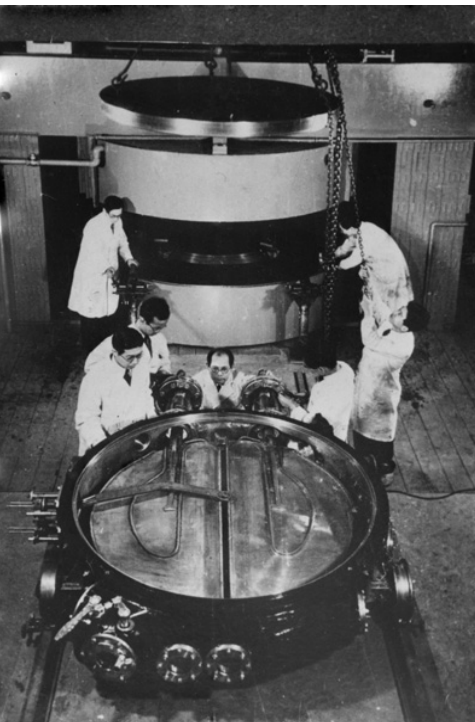


バークレイ60インチサイクロトロン



**理研スタッフ (飯盛、矢崎、渡邊) と
マクミラン (Sep.2, 1940, Berkeley)**

日野川静枝「サイクロトロンから原爆へ」 續文堂、p.45,
(2009)より



理研60インチ大サイクロトロン

改造前 (左) 改造後 (右)

仁科は金を出した陸軍に対しては原爆開発
の核データをとるために有効と説明していた



戦前のハーバード大学のサイクロトロン

原爆開発用の核データをとるため、ロスアラモスへ密かに運ばれた

Otto Hahnの核分裂の発見 (1938) と原爆開発

マイトナーが核分裂の発見をボーアに伝え、アインシュタインはシラードに勧められルーズベルト大統領に手紙を書いた。

マンハッタン計画



Lise Meitner

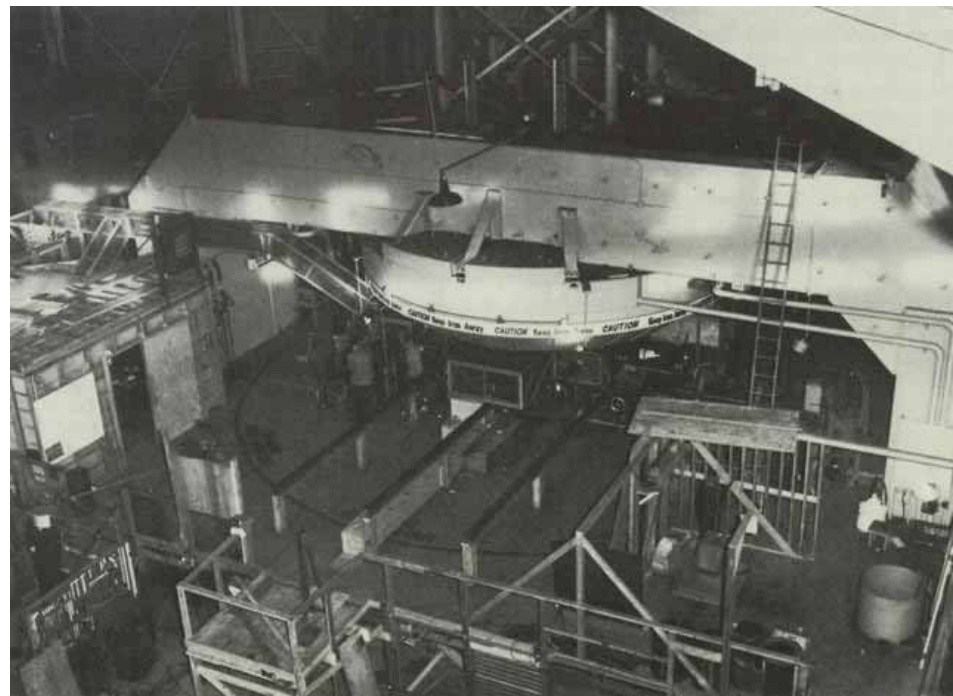
Otto Hahn



J. R. Oppenheimer E. Fermi E. O. Lawrence



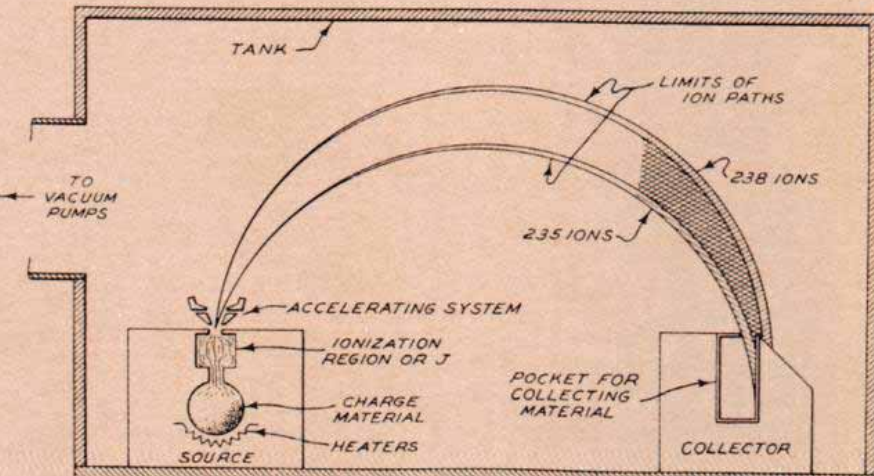
184インチサイクロトロン用電磁石



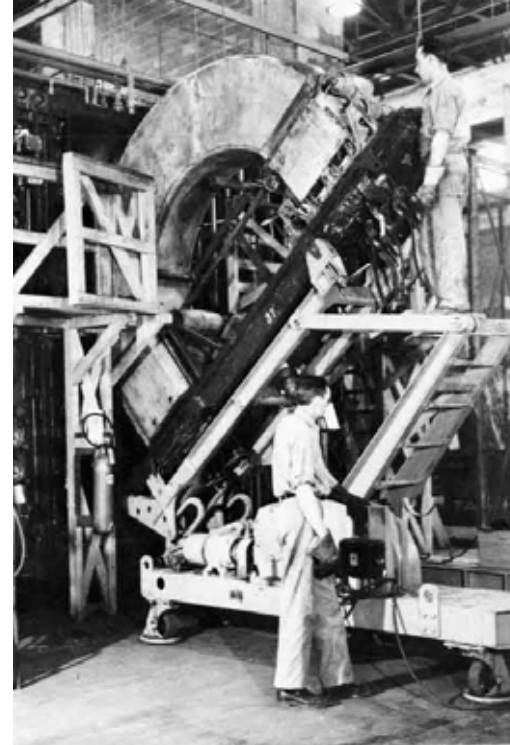
カルトロン試験用に使われているところ

ローレンスは184インチの巨大サイクロトロンを作るために電磁石を製造したが、これを急速ウランの電磁分離用の質量分析器（カルトロン）の開発のために試験用の磁石として転用することにした。

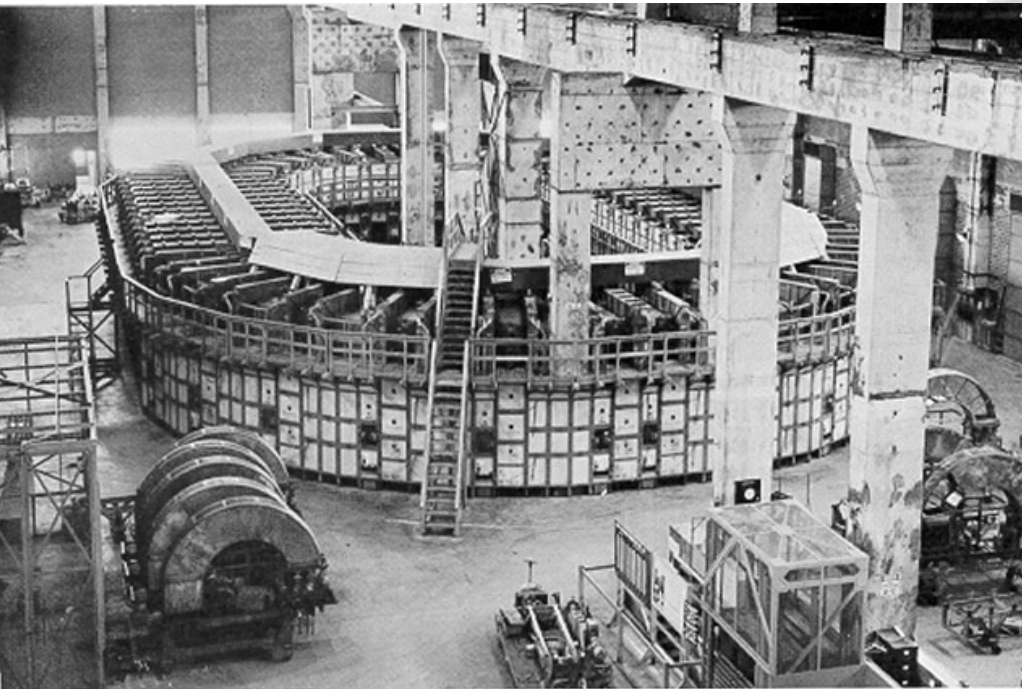
THE E M METHOD OF SEPARATING
THE COMPONENTS OF TUBALLOY



カルトロンの原理



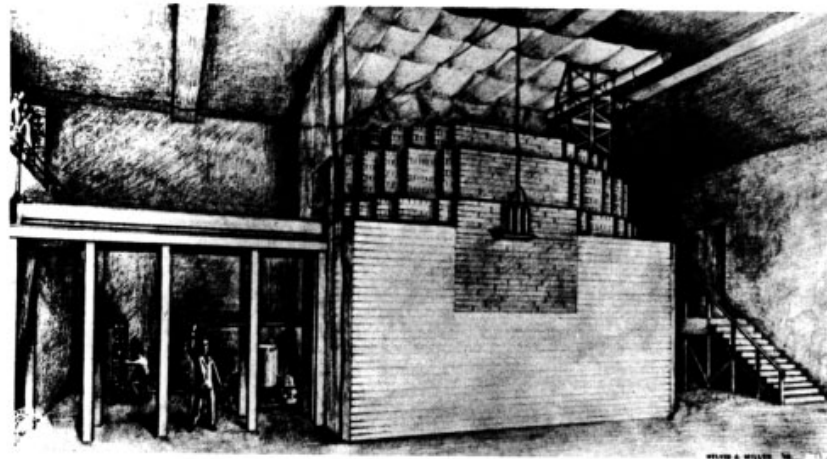
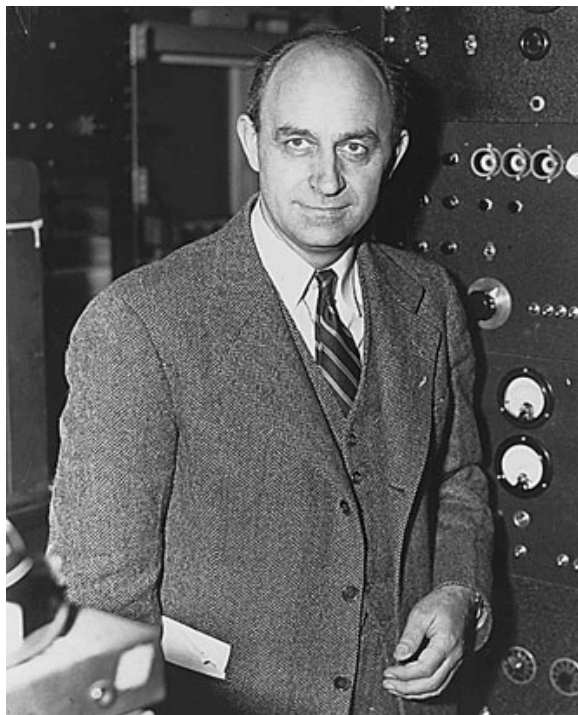
アルファ・カルトロンのタンクの一つ



アルファ・カルトロンの レーストラック

このようなレーストラックを9台作った
(1レーストラックに96個のカルutron
磁石)

ガス拡散ーアルファカルutronーベータ
カルutronの順に濃縮度を上げて原爆
用のウラン235を得た。



フェルミの原子炉シカゴパイル (絵)

1942年12月2日臨界実験成功

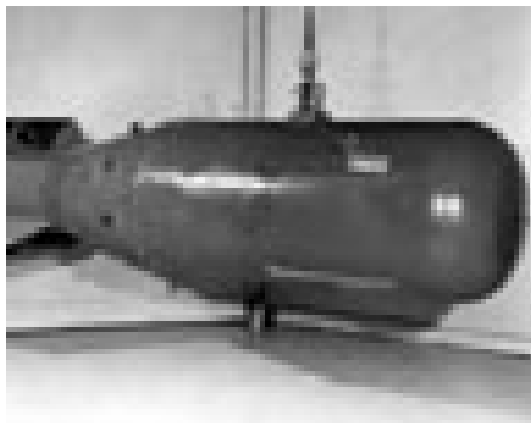


**ウイグナーはAlvin Weinberg等と
プルトニウム生産用の原子炉を
設計した (実際のプルトニウム生
産用原子炉建設はDuPontに発
注されHanfordに設置された)**

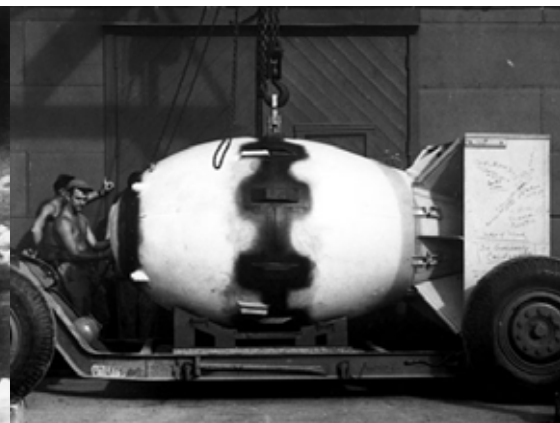
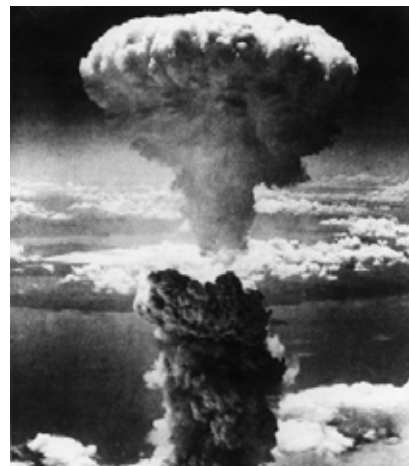
Eugene Paul Wigner



Eugene Wigner Alvin Weinberg



ウラン型原爆



プルトニウム型原爆



1945.8.6 広島



1945.8.9 長崎

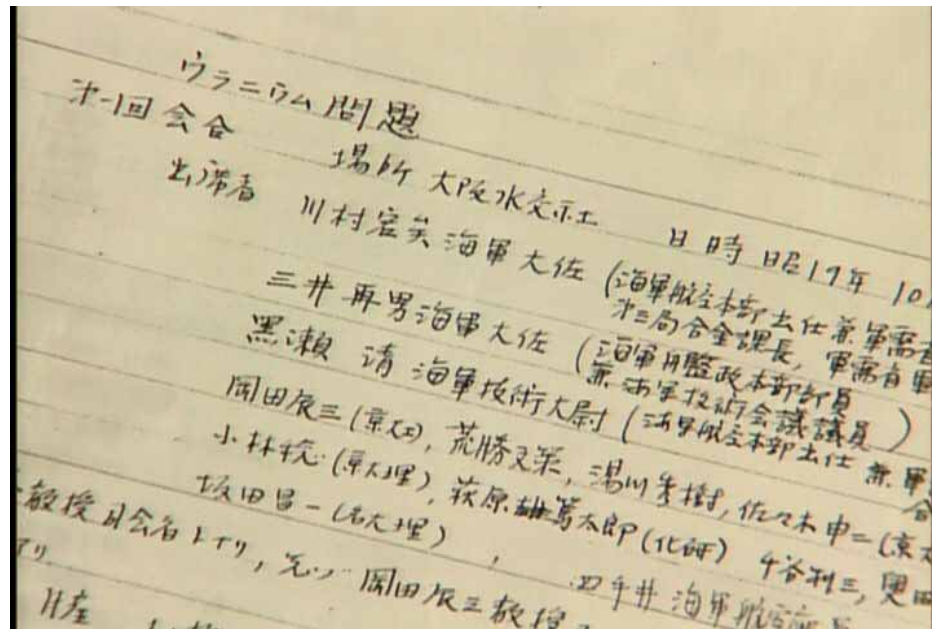
日本の原爆研究

理研仁科 二号研究 (陸軍)

熱拡散分離筒の試作研究、阪大でも軍の指導で学生が行った(理研のものは空襲で破壊され、阪大のものは戦後すぐ学生が川に捨てた)

京大荒勝 F研究 (海軍)

遠心分離法の研究 (製作までに至らなかった)



F研究ノート

戦後の原子力

**日本の原子核研究禁止と
米ソの水爆開発
そして平和利用へ**



理研サイクロトロン
の占領軍による破壊撤去



海洋投棄(1945. 11. 30 横浜沖)

(米国国立公文書館)

当時写真誌ライフに掲載されたもの



阪大サイクロトロン破壊撤去(1945.11.24)
(米国国立公文書館所蔵)

サイクロトロン の破壊撤去

1945年11月



京大サイクロトロン破壊撤去(1945.11.24)
(米国国立公文書館所蔵)

サイクロトロン破壊に対する米国の科学者達の批判

陸軍長官の謝罪

極東委員会での米国の提案

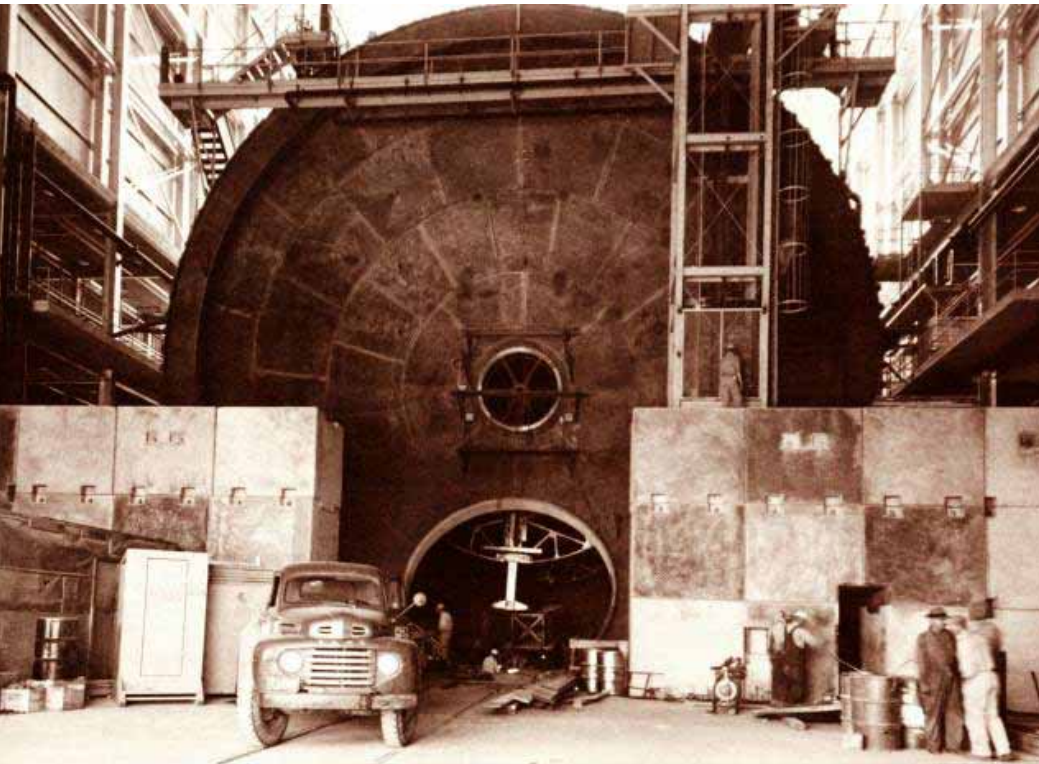
**(Fundamental scientific researchとBasic researchに分けて、
Fundamental scientific researchは認めてはどうか：米国立公文書館：
政池 明)**

しかし極東委員会は拒否し、以後日本での原子核研究は禁止される。

数年後ローレンスが来日して研究再開を勧める

米国からアイソトープ到着、理研小サイクロトロン再建

ローレンスは核燃料製造用加速器を試作する



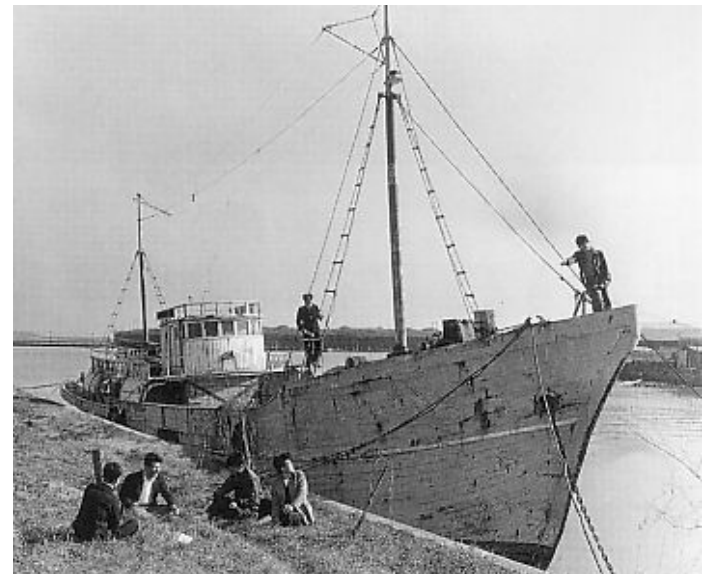
MTA mark I

(25MeV deuteron linac) (直径18m
長さ18m)

Materials Testing Accelerator (MTA),
was found at the Livermore Auxiliary
Naval Air Station



水爆実験1954.3.1



第五福竜丸の被爆

清水榮たちが水爆であることを示す
データを発表した

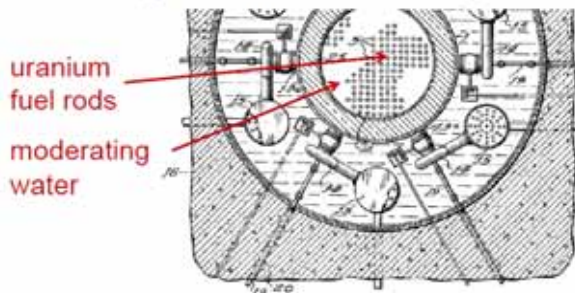
Atoms for Peace



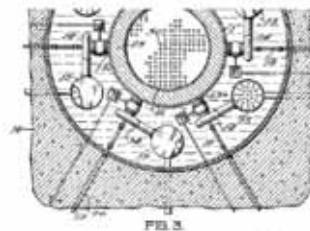
- 1953年12月8日アイゼンハワー米国大統領が国連総会でAtoms for Peace という演説を行った
- 我が国では学者たちの意見がまとまらない中で議員立法により原子力予算が認められた
(1954年) (学者がボヤボヤしているから札束で頬をひっぱたいてやった)
- それを追って原子力基本法が成立し (1955年)、科学技術庁が設置された。



Weinberg's PWR was heterogeneous.



Weinberg had proposed the PWR to Rickover's team for naval propulsion.



*Inventors:
Stephen Phillips
Leo A. Ohlinger
Gale Young
Alvin A. Weinberg
By Robert A. Lawrence
Attorney*

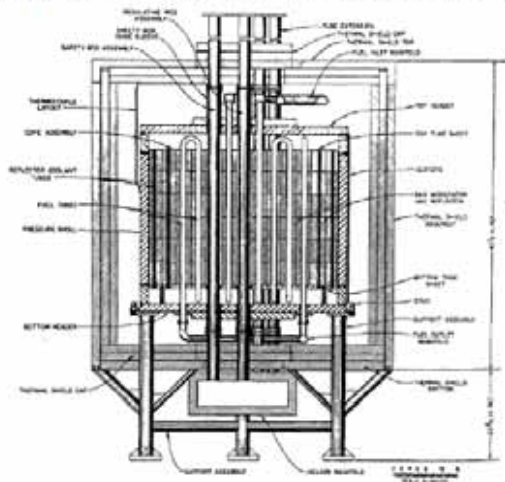
*Inventors:
Stephen Phillips
Leo A. Ohlinger
Gale Young
Alvin A. Weinberg
By Robert A. Lawrence
Attorney*

Alvin Weinberg

軽水炉だけでなく溶融塩炉も開発

Why wasn't this
(MSR) done?

Weinberg and Oak Ridge developed the first molten salt nuclear reactor in 1954.



860 C

Red hot!

100 hours

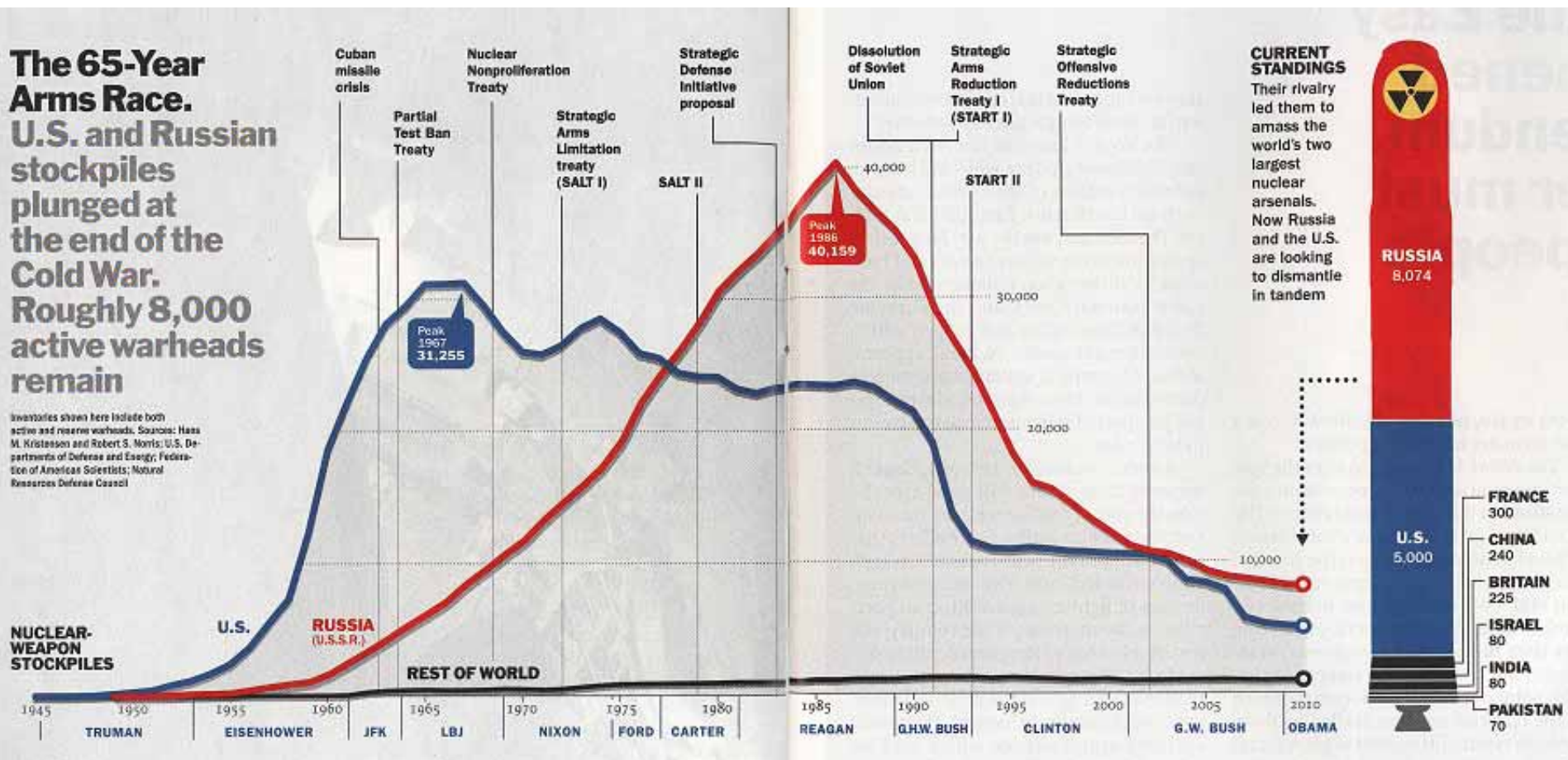
2.5 MW

"I've already given the political reason: that the plutonium fast breeder arrived first and was therefore able to consolidate its political position within the AEC.

"It was a successful technology that was dropped because it was too different from the main lines of reactor development... I hope that in a second nuclear era, the [fluoride-reactor] technology will be resurrected."

I suppose part of my admiration for Dr. Nishibori arose from the enthusiastic support he gave, even until his death in his late eighties, to the molten-salt system. But despite his powerful political connections and his prestige, his support for the molten-salt reactor in Japan never got very far.

しかし核兵器増強競争は続いた



TIME, vol. 176, no. 13, pp30-31, Sep. 27, 2010

日本の学者達の対応

日本では原爆に対する忌避の気持ちから科学者たちの原子力に対する対応が遅れた。

茅・伏見提案、武谷提案など

原子力基本法 (1955年) **平和目的に利用する**
(原子力3原則) **民主 自主 公開**

矢内原原則と国会決議 (原子力予算は大学には使わない)

科学技術庁ができ、原研・放医研ができ、原子炉研究・建設が始まったが、その後の原子力行政は通産省が主導する軽水炉輸入路線へと移行 (Basic Researchのスキップ)

文部省は京大原子炉実験所・有力大学の原子力工学科設置



物理学者の思い

湯川と中間子がん治療
(中村誠太郎)

湯川秀樹

朝永振一郎

坂田昌一

初期には湯川ら素粒子研究者が原子力問題に関わった(湯川は原子力委員となるが、後に辞任)。その後、原子力は工学系の研究者が主導。
物理学者は原水爆反対運動に重点を移す。パグウォッシュ会議。湯川の世界連邦構想。



吉岡斉

日本の原子力の歴史については、

吉岡斉「原子力の社会史」その日本的展開(1999年)、
朝日選書624 が要領よくまとまっている

湯川の世代は物理研究と原子力問題の双方に一身で立ち向っていたが、弟子たちの世代は純粋物理学と原子力工学に分かれ関係が薄くなっていった。

物理屋：原子力はダーティだから近寄らない・・・原水爆反対へ

核兵器反対運動をすることによって社会的責任の免罪符を手に入れつつ、研究者としては純粋学問のカラに閉じこもる－国家制度的科学の中で純粋学問を拡大する矛盾が生じている－大規模実験施設・ポスドク問題

(考えるヒント：佐藤文隆「職業としての科学」岩波新書2011.1.20)



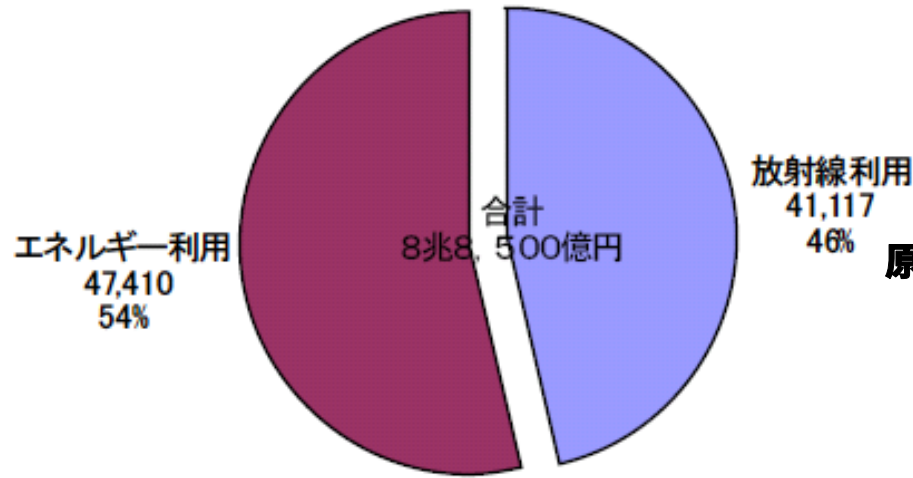
原子力屋：物理屋は役に立たなく信頼できない・・・原子力ムラ

国民の社会生活に有用であると自負しつつも、ムラの中でのみ正義を共有し、社会に対しては専門家である自分たちに任せておけば安全であると説明してきたが、事故が起こってその信用が失墜した。

21世紀の物理学者の原子力との関わり方は？

日本の原子力の現状

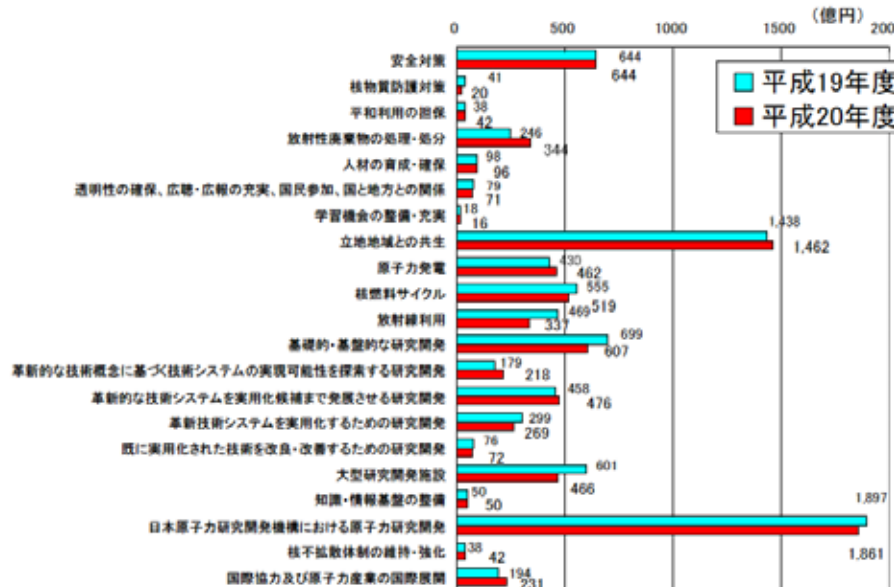
放射線利用(工業+農業+医学医療)と原子力エネルギー利用(電力需要端+機器輸出)



日本の原子力の経済規模

平成17年度 原子力利用経済規模 単位:億円

原子力委員会資料より(日本原子力研究開発機構の調査)



日本の原子力予算

図1-1 平成19年度予算額と平成20年度予算額の推移

平成23年度文部科学省原子力関係政府予算案

2,441億円 (平成22年度当初予算は2,478億円)

I. 元気な日本復活特別枠を活用し、日本発「人材・技術」の世界展開を推進

高度な**3S**「人材・技術」を活かした日本発原子力の世界展開 110億円

日本発の重粒子線がん治療技術の高度化・海外展開 5億円

II. 原子力の推進に必要な取組を着実に推進

(1) 重要な研究開発プロジェクト

・高速増殖炉サイクル技術 402億円

・ITER (国際熱核融合実験炉) 計画 114億円

・J-PARC (大強度陽子加速器施設) 169億円

(2) 原子力基盤を支える基礎研究及び人材育成の強化

(3) 立地地域との共生・国民の理解増進のための取組の推進

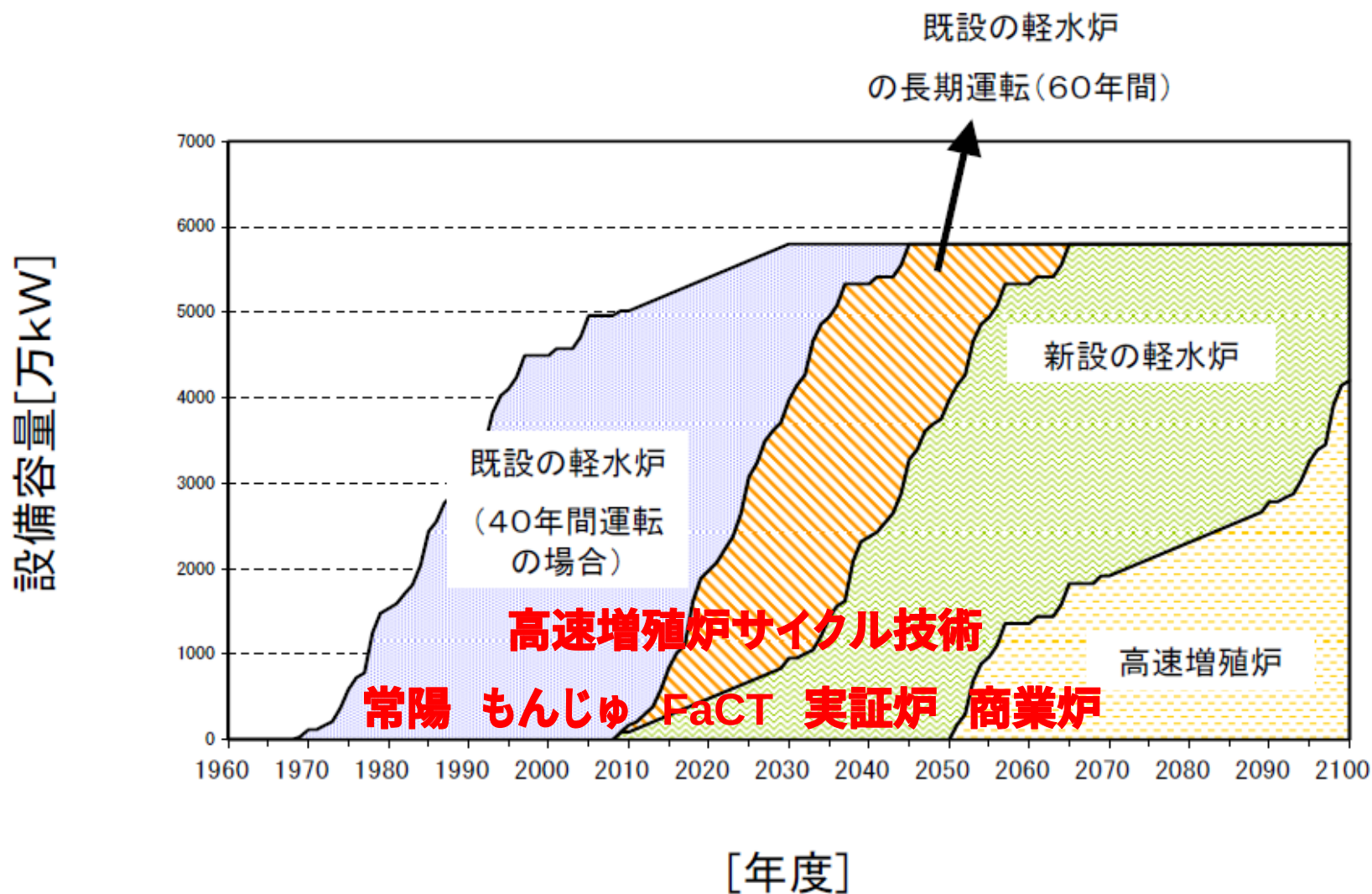
(4) 原子力の安全確保や放射性廃棄物処分に向けた取組の推進

(5) 原子力平和利用確保のための取組の推進

3s: nuclear non-proliferation/safeguards safety security:

核不拡散/保障措置 安全 核セキュリティ

(参考) 原子力発電の中長期的方向(イメージ)



※上の図は、イメージを示すためのものであり、設備容量は58GWで一定と仮定。

核セキュリティ

核測定、核検知・鑑識に関する技術開発 ～核測定技術、核検知・核鑑識技術～

■核物質測定技術

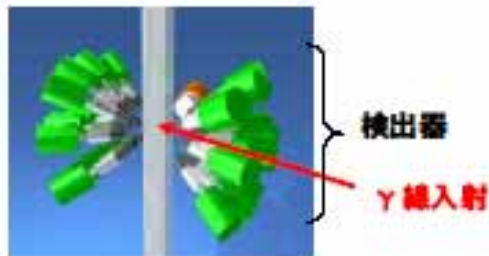
より精密で厳格な核物質計量管理の実現

(目的)

現在は測定が難しい使用済核燃料中のプルトニウムを、燃料を破壊することなく測定する技術の開発

(期待される成果)

我が国が高い優位性を持っている光源（ γ 線）の発生技術を用いて、核物質の高度な測定を実施。この技術により、使用済燃料中の核物質管理の信頼性が向上する。世界で新しく建設される原子炉において使用されることで、世界の核物質管理の向上及び核不拡散に貢献できる。



質の高い γ 線を入射し、放出される γ 線により、使用済み燃料中のプルトニウムを燃料を破壊することなく測定する。

■核物質検知・鑑識技術開発

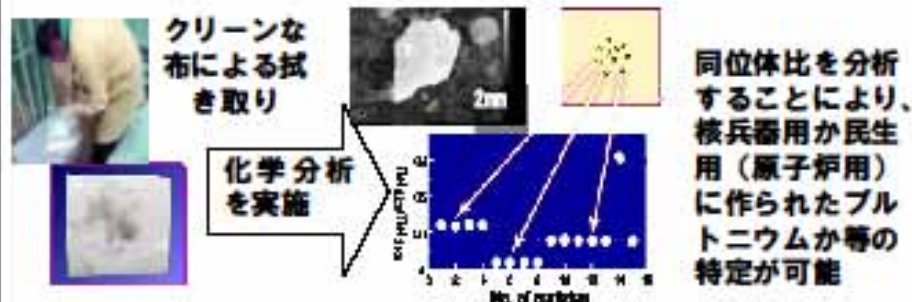
不法な核物質の起源（国・施設）の特定

(目的)

ごく微量の核物質について、超精密測定によりプルトニウムの同位体比を測定。同位体比の違いを見ることにより、核兵器用か民生用（原子炉用）かの特定が可能となる。

(期待される成果)

我が国は世界の最先端の分析技術を持っており、データベースなどを活用することにより核テロ等で使用された核物質の起源（国・施設）を特定できる。



原子力に対する批判的意見

物理学会における活動

「物理学者の社会的責任」シンポジウム
において原子力の問題もしばしば取り上げ
られている

NPO法人
原子力資料情報室

<http://cnic.jp/>

脱原子力



武谷三男



高木仁三郎
(撮影・嶋田達也)

高木仁三郎の部屋
<http://cnic.jp/takagi/>

原子力安全研究グループ
今中哲二、海老澤徹、川野真治、
小出裕章、小林圭二、(瀬尾健)



小出裕章



久米三四郎



萩野晃也



市長・住民運動の案読誌



ロシナンテ社

1970年『月刊地域闘争(ちいきと
うそう)』、現在は『むすぶ～自治・
ひと・くらし～』

人々が原子力関係者に期待していること

原子力がエネルギー源として役立つことはよくわかっている。

放射線の利用が生活や医療に役立っていることもわかっている。

これらのことを強調しても原発建設を認めることにはならない。

人々の心配は**原子力システムの安全**と**使用済み燃料の処理処分**である。

この国民の心配を解消するための研究をすることをこれからの研究の中心にしなければならない

科学者としてとるべき態度・・・、重要なのは・・・どうすればわれわれの生活を、現状から脱してより良く、かつ安全なものにできるかという問題に取り組んでいくことである。(森永晴彦)

物理学者が取り組むべき課題があるか？



1997年 草思社

森永さんの提案

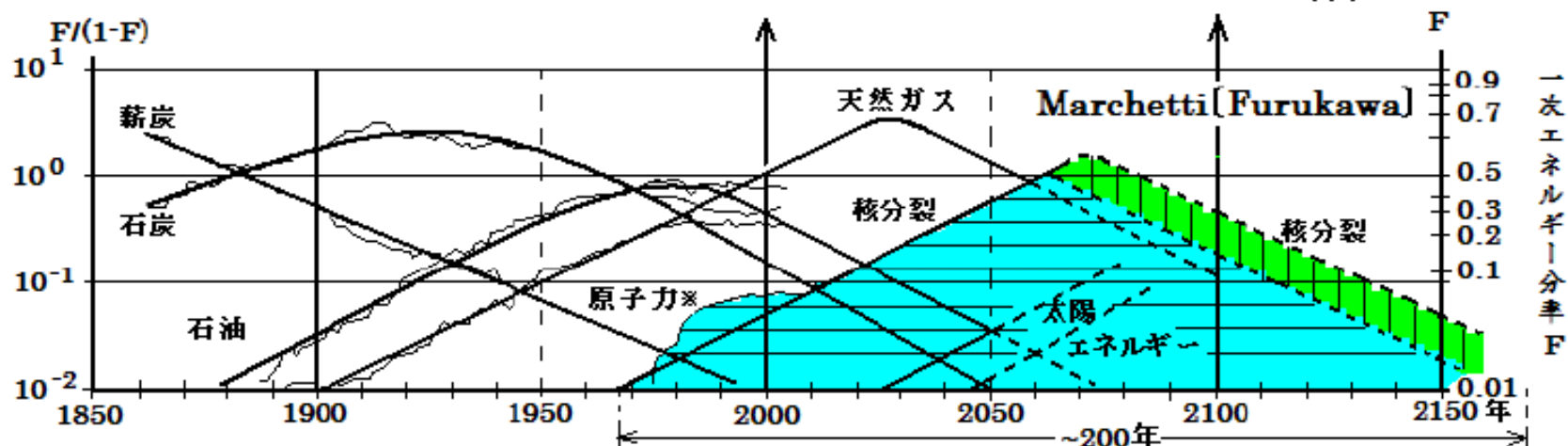
絶海の孤島に原子炉を作ってもっぱら太陽電池の生産に使う。必要な量が生産できたら原子炉を眠らせる

太陽電池の生産に要した電力は3年で返せると推進者は主張している（最近ではもっと短くてすむともいう）。

太陽電池の寿命は10年以上あるのでその後は太陽電池で作る電力で回っていく。

ということは日本で使っているすべての電力を太陽電池生産だけに使う（他は全て停電する）としても3年間かかる。1割節電して太陽電池生産に回す場合なら30年かかることを意味する。

$$\frac{\text{人工的熱放出量}}{\text{地球への太陽熱入射量}} = \frac{1}{10,000} \xrightarrow{\frac{(2.3\%/年)}{10 \text{ times}}} \frac{1}{1,000} \left(\begin{array}{c} \text{局所} \\ \text{気象} \\ \text{異常} \end{array} \right)$$



古川和男さんの考え

☆基幹エネルギー

(今世紀前半)

(今世紀中・後期)

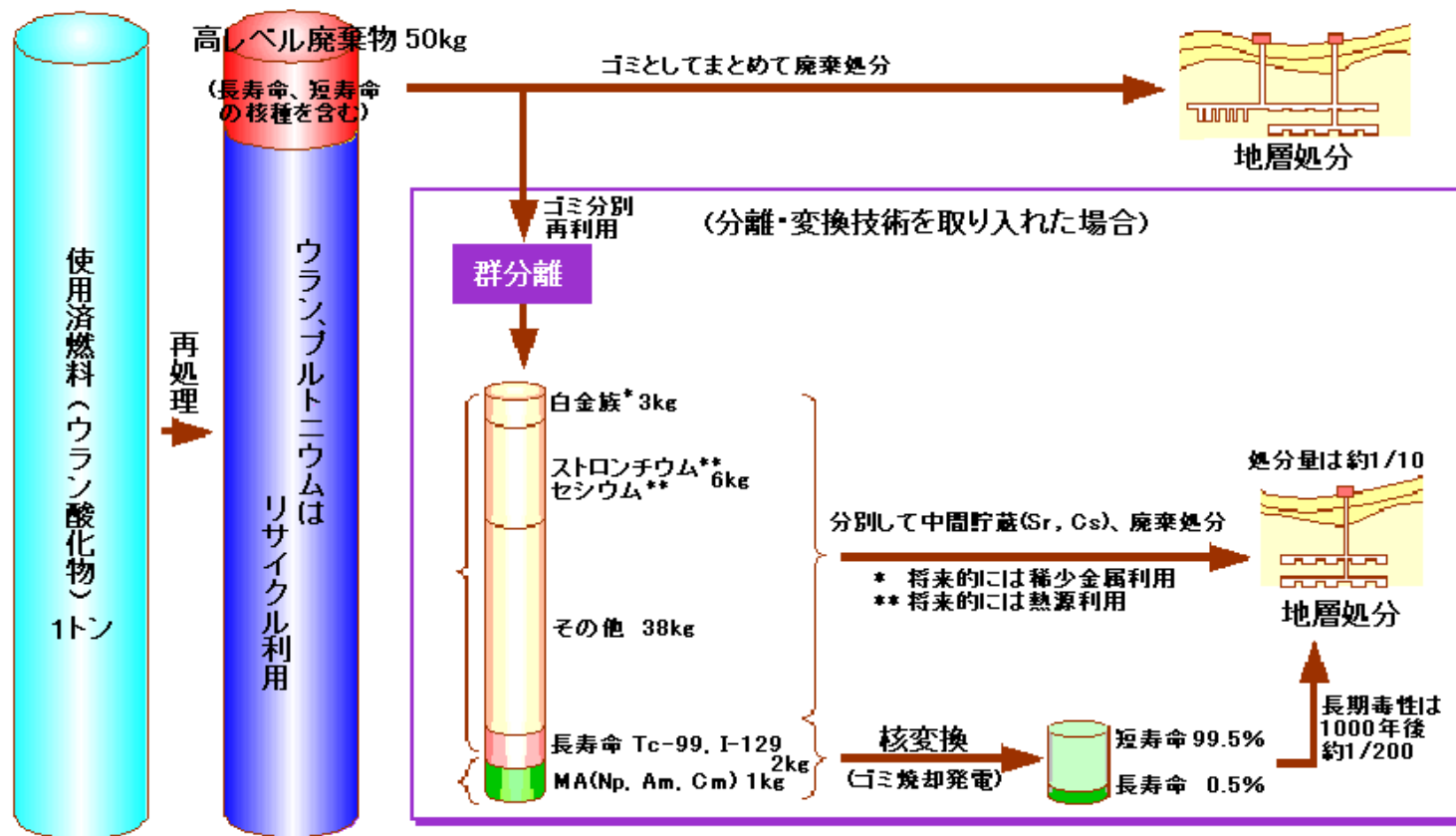
太陽エネルギーの主流化: 今後100年は必要

(今世紀末～来世紀)

石炭 → 石油 → 天然ガス → 核分裂 → 太陽関連エネルギー

使用済燃料の処理処分

ワンススルー (直接地層処分) の考え方と分離変換処理 (高速炉、加速器駆動システム) の考え方がある。



長寿命核種: 1~1000万年程度で放射能消滅する。 短寿命核種: 1000年程度で放射能消滅する。

図1 高レベル廃棄物の分離核変換技術とは

[出典] 高野 秀機: 加速器駆動炉核変換における核データ、連載講座 核データ③ 核データの測定と応用、日本原子力学会誌、Vol.43、No.7、p.659(2001)。

加速器駆動システム Accelerator Driven System (ADS)

旧原研時代にOMEGA計画というものがあったが、現在要素技術実験施設としてJ-PARCの2期計画で核変換実験施設が提案されている

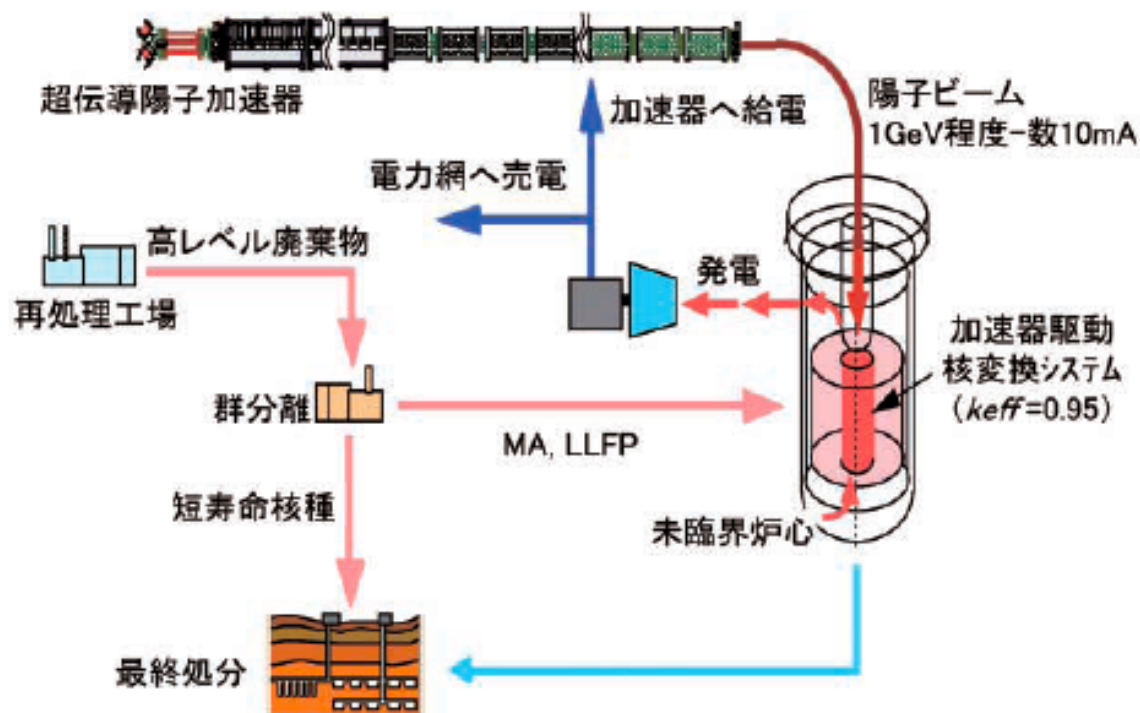


図4 ADSによる核変換システムの基本概念 (JAEA)

“Neutron
multiplication
factor”

$$M = 1 + k_{eff} + k_{eff}^2 + k_{eff}^3 + k_{eff}^4 + \dots = \frac{1}{1 - k_{eff}}$$

ヨーロッパの加速器駆動システム(ADS)の研究

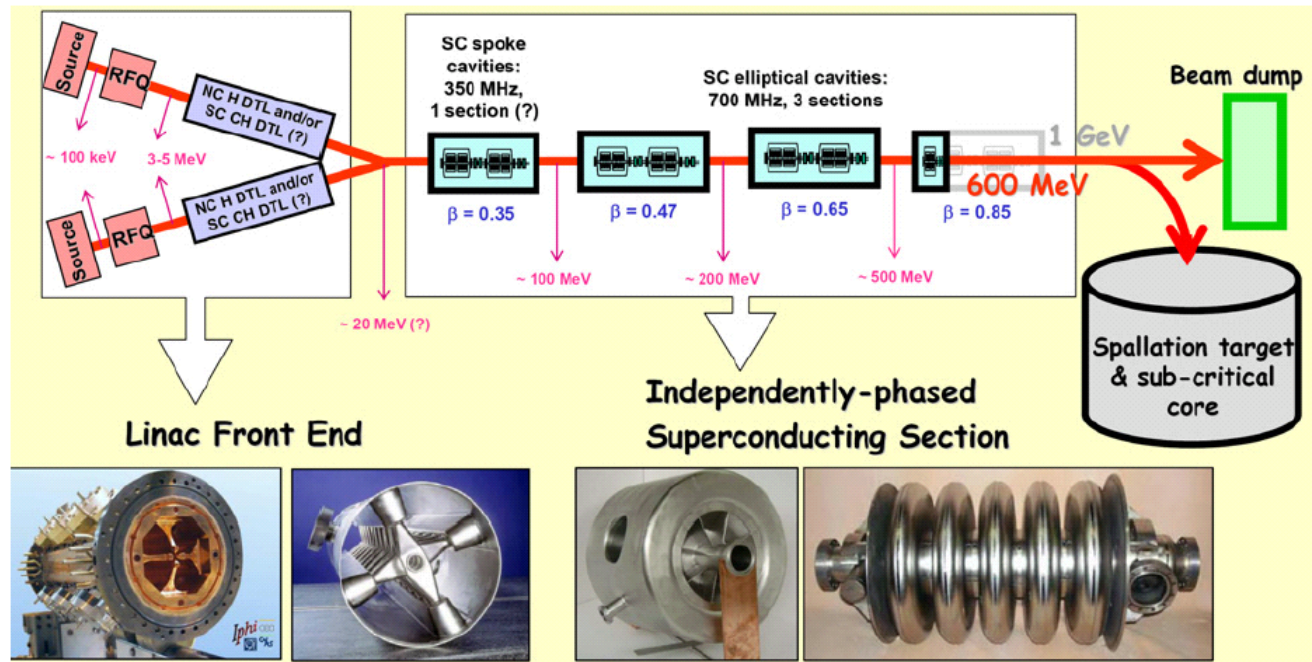


Figure 1: European ADS accelerator conceptual scheme.

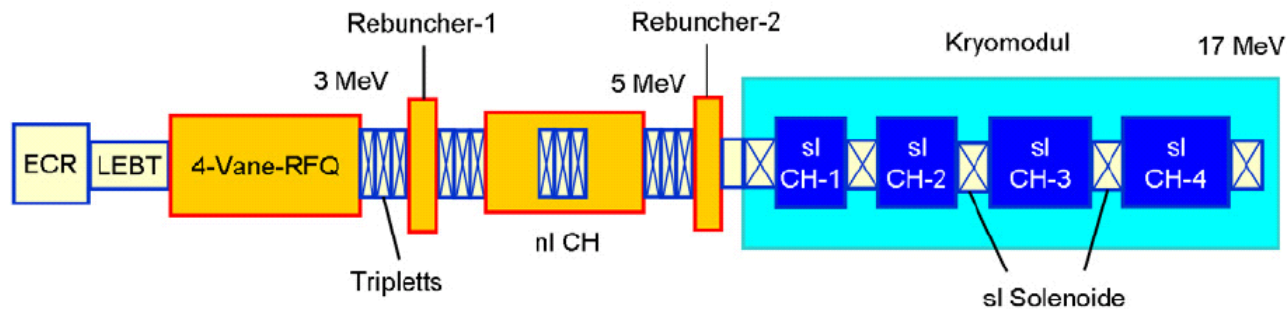


Figure 2: The reference linac front-end.

n-TOF ADS用中性子核データ精密実験

TABLE I. Main features of the n_TOF facility (CERN)

Neutron energy range	1 eV-250 MeV
Proton beam energy and intensity	20 GeV/c; 7×10^{12} p/pulse
Pulse repetition frequency	0.25 s^{-1} (average in dedicated mode)
Neutron flux at 187.5 m (uncollimated)	$4 \times 10^5 \text{ n/cm}^2/\text{pulse}$
Neutron flux with $\Phi=1.9 \text{ cm}$ collimator	$1.4 \times 10^5 \text{ n/cm}^2/\text{pulse}$
Fraction of flux in 1 eV - 1 MeV range	2/3
Resolution $\Delta E/E$	3×10^{-4} at 1 eV; 1.5×10^{-3} at 30 KeV
Background (fluence out/in beam)	10^{-5}

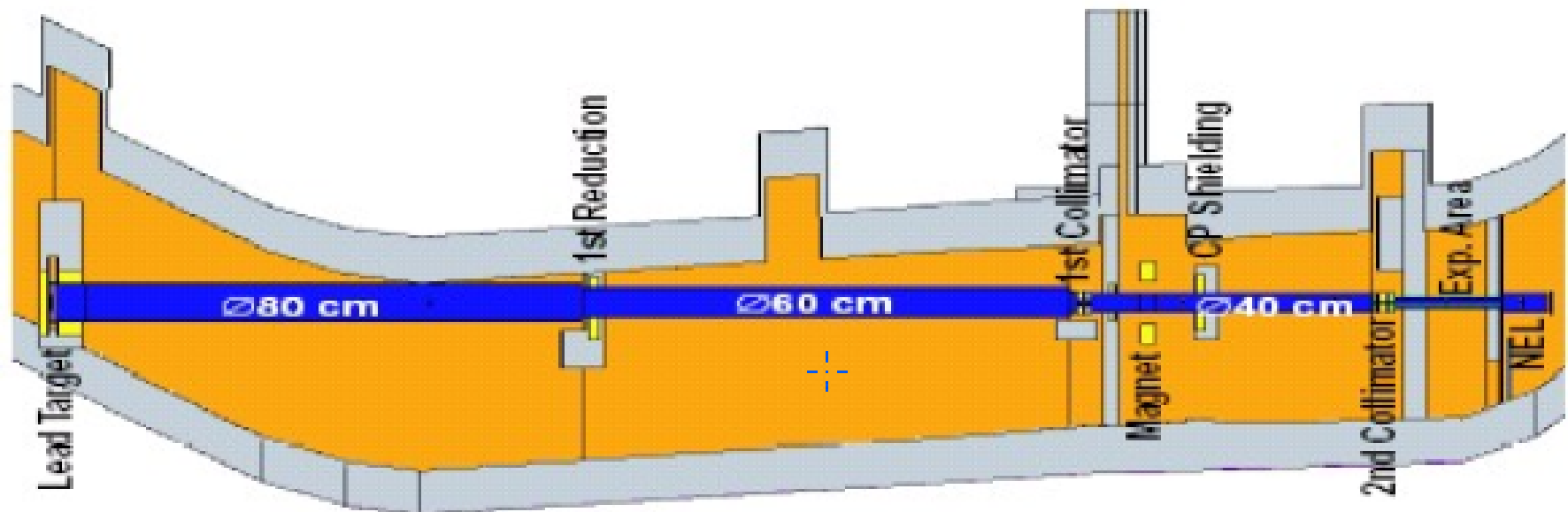


Figure 1. Lay out of the TOF tube.

TRL

(NASAの技術成熟度基準)

TECHNOLOGY READINESS LEVELS
A White Paper
April 6, 1995
John C. Mankins
Advanced Concepts Office
Office of Space Access and Technology
NASA

Technology Readiness Levels Summary

TRL 1	Basic principles observed and reported	基礎技術研究	
TRL 2	Technology concept and/or application formulated		1. 2. 3. 概念開発段階
TRL 3	Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof-of-concept	フィージビリティ	
TRL 4	Component and/or breadboard validation in laboratory environment	技術開発	4. 5. 6. 原理実証段階
TRL 5	Component and/or breadboard validation in relevant environment		
TRL 6	System/subsystem model or prototype demonstration in a relevant environment (ground or space)	技術実証	
TRL 7	System prototype demonstration in a space environment	システム開発	7. 8. 9. 性能実証段階
TRL 8	Actual system completed and "flight qualified" through test and demonstration (ground or space)	システム試験・打上・運用	
TRL 9	Actual system "flight proven" through successful mission operations		

TRLを適用して分離変換技術の現状を評価 日本原子力学会「分離変換・MAリサイクル」研究会ではFBRによる方法はTRL4、ADSによる方法はTRL3であると
している。日本原子力学会誌「アトモス」第52巻第12号28頁(2010)

物理学者の貢献が可能な段階にあるのでは？

より安全な原子力システムを求めて

トリウムサイクル

特徴：トリウムをウラン²³³に変換して燃料とする。

核不拡散性。環境負荷低減。

トリウム溶融塩炉はかつて米国で成功している

トリウム炉の開発は現在ほとんどが中止された。例外はインド

加速器駆動システム (ADS) にすれば未臨界なのでより安全。

古川和男 トリウム溶融塩炉 加速器燃料増殖

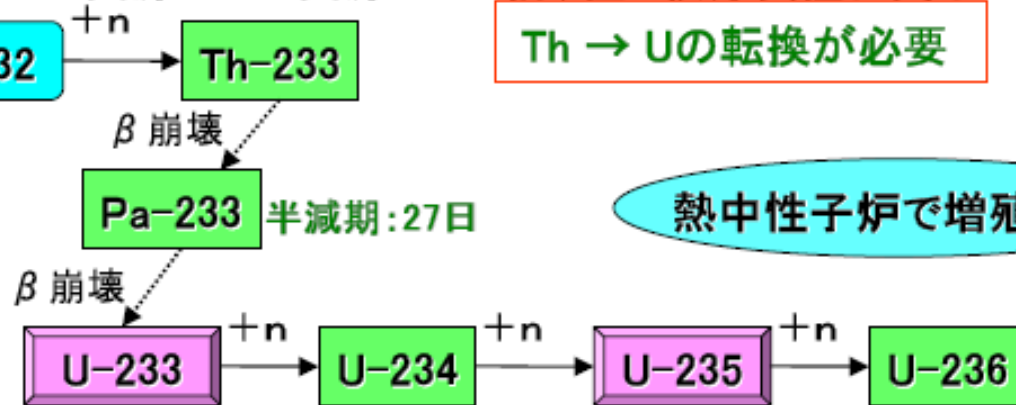
高橋 博 加速器駆動トリウム炉提唱

カルロ・ルビア 加速器駆動トリウム炉計画

トリウムサイクルとウラン・プルトニウムサイクルの違い

Th-Uサイクル

地球上のTh資源量はU資源量の3倍、但し核分裂性物質なし



Th → Uの転換が必要

熱中性子炉で増殖可能

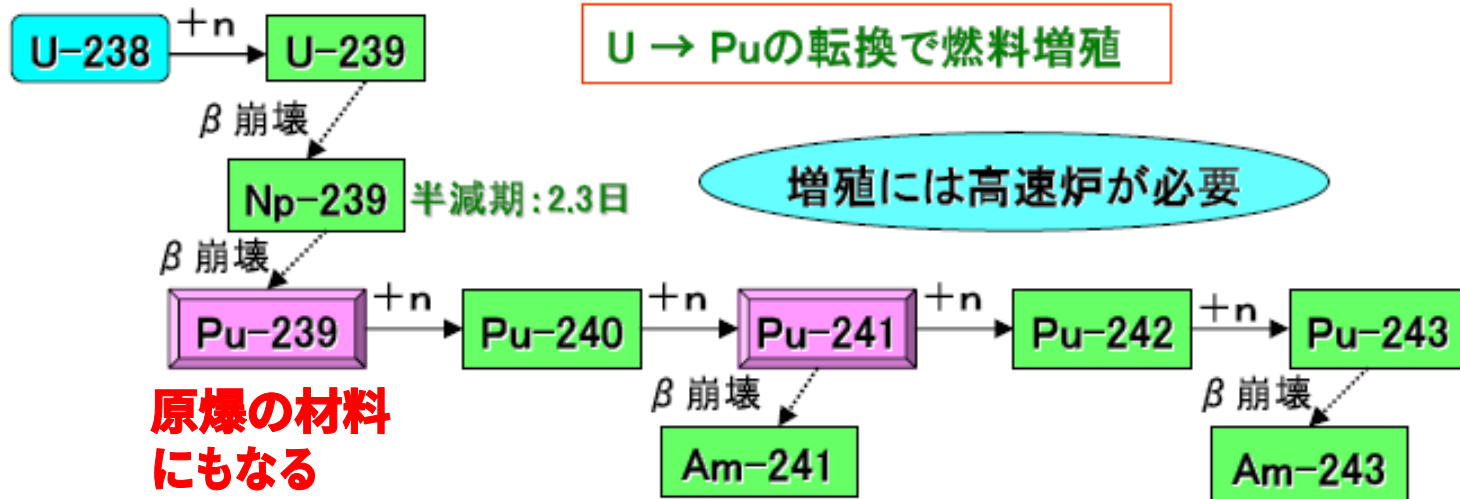
強いガンマ線を伴う
ので兵器には利用し
にくい

TRU発生量が少ない

長寿命の放射能が少ない

U-Puサイクル

U資源中には核分裂性のU-235あり、99%以上がU-238



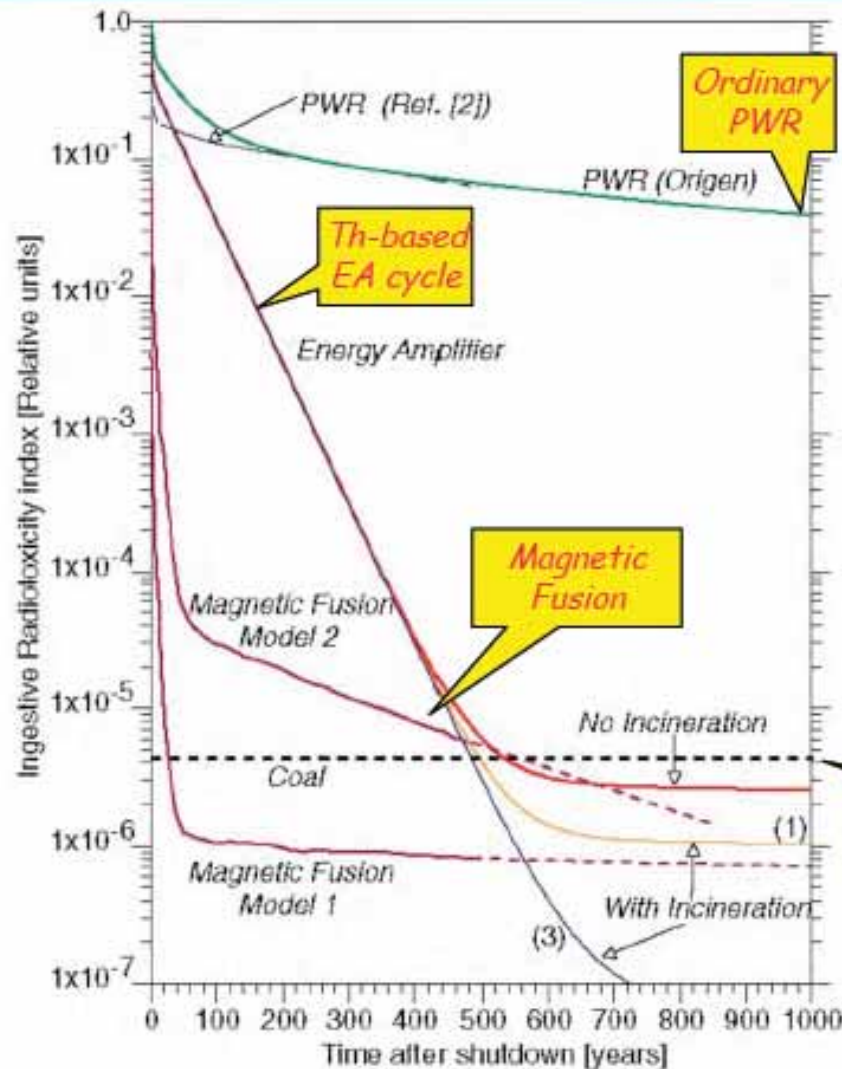
U → Puの転換で燃料増殖

増殖には高速炉が必要

原爆の材料
にもなる

使用済み燃料中に長期間放射能が残る

Residual radio-toxicity of waste as function of time



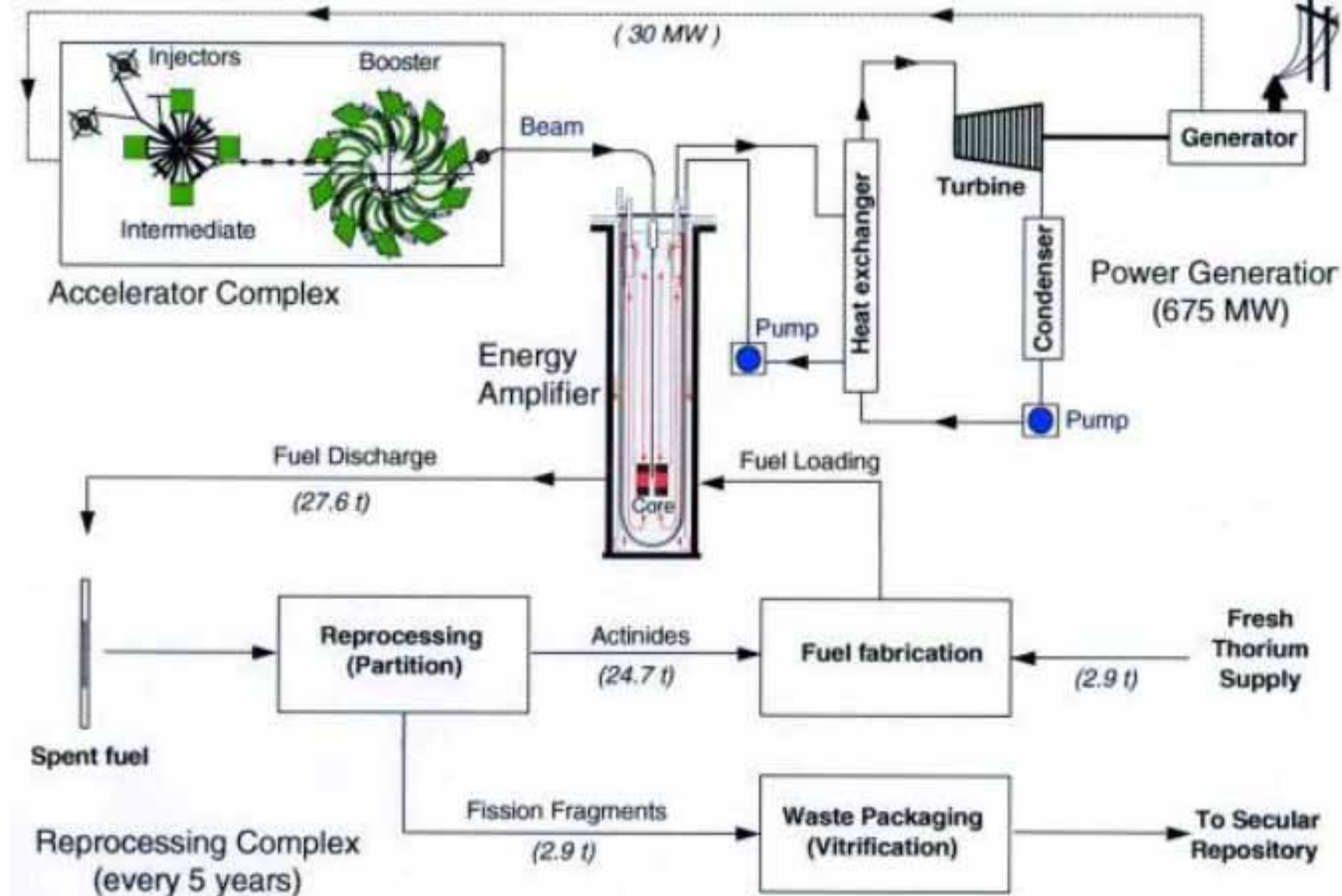
Comparing :

(1) ordinary reactor (PWR)

(2) Thorium based EA

(3) two T-D fusion models

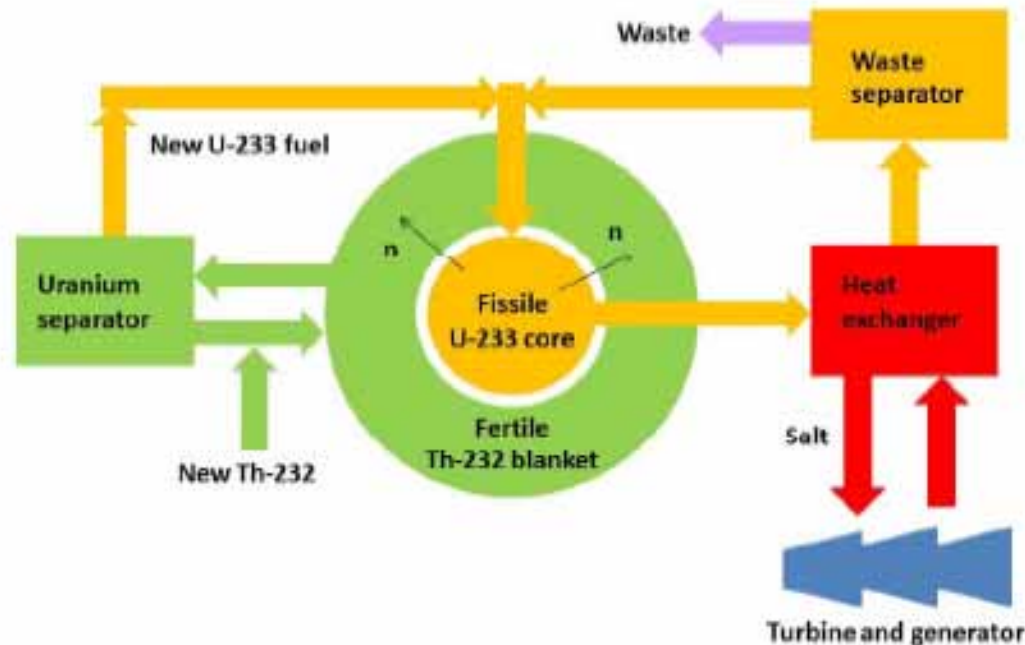
Waste may return to the environment



(エネルギー増幅器:ルビア:1993年)

加速器駆動未臨界炉

Liquid Fuel Nuclear Reactors



Molten salt coolants

with dissolved
uranium and thorium
fluorides

promise reactors that
can generate electric

power cheaper than
from coal.



古川和男

**2006年佐藤栄作賞
「核拡散防止」**

最優秀賞

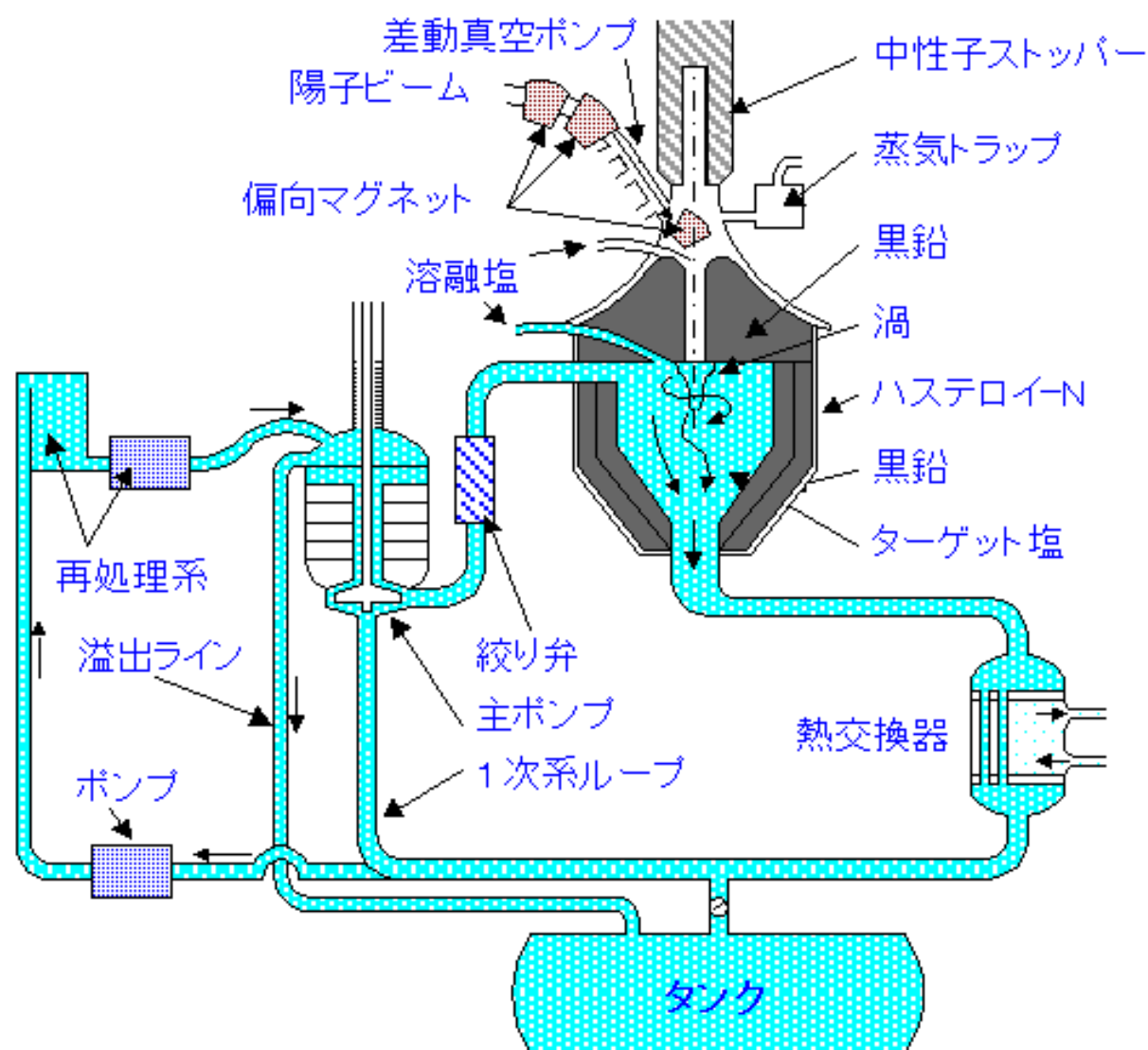


図8 加速器駆動増殖炉の概念図

[出典] IAEA: IAEA WORKING MATERIAL, THE STATUS OF THORIUM-BASED FUEL OPTIONS (to be published as IAEA TECDOC), (1996年) p.163

インドの原子力政策

国産のトリウム資源を活用して、最終的には、高速増殖炉による「トリウム・サイクル」の確立を目標。現在は第2段階。

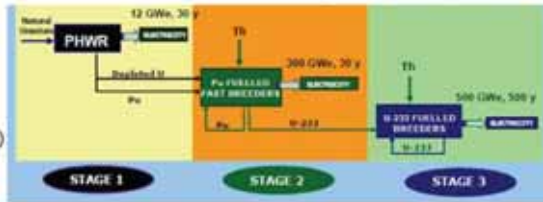
<国内資源>

- ・ウラン資源: 低品位のものしか発見されておらず、確認資源量は約5.2万t。
- ・トリウム資源: 約36万t。

<原子力政策>

国産のトリウム資源を利用する「トリウム・サイクル」の確立を目指して次の3段階からなる。

- ①天然ウランを燃料として加圧重水炉(PHWR)で発電し、使用済燃料を再処理してプルトニウムを生産。
- ②プルトニウムを燃料として高速増殖炉(FBR)で発電するとともに、ウラン238とトリウム232を照射、再処理してプルトニウム239とウラン233を生産。
- ③ウラン233を燃料として高速増殖炉(FBR)で発電するとともに、トリウム232を照射、再処理してウラン233を生産。(トリウム・サイクル)



出典: CURRENT STATUS OF FAST REACTOR PROGRAM IN INDIA
S.C.CHITRAL INDIRA GANDHI CENTRE FOR ATOMIC RESEARCH

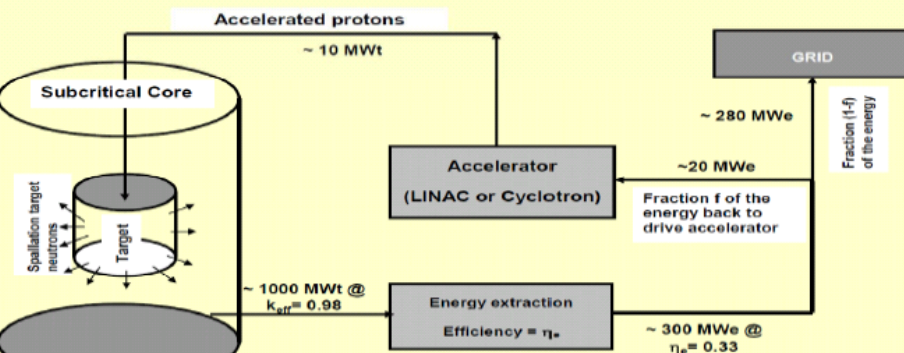
2006-04-28 原子力委員会国際問題懇話会

7

US-India Joint Development



Schematic of ADS- energy balance



19

NEUTRON DATA of Interest to ADS programme

Need for more and improved quality data(abs, fiss, fissionprod, n mult) for Th – U Cycle Nuclei (231-233 Pa, 232,233U)- radioactive target

Data for Minor Actinides required (Np, Am, Cm)

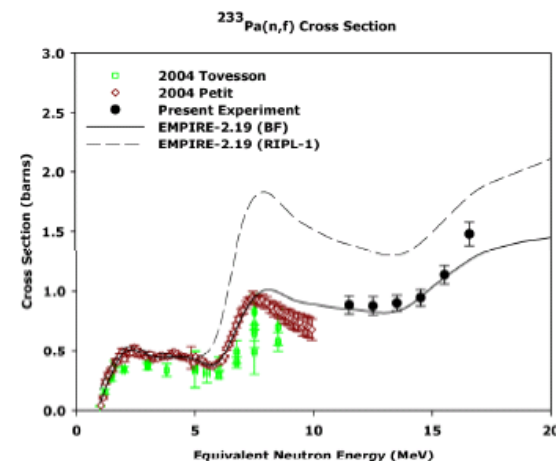
Need for data for Pb, Bi , Structural Materials at energies Higher than 20 MeV

Prediction and Measurement of Rare Earth Alpha Emitters Produced in LBE spallation target

Production of Light Radioactive/toxic nuclei like 7Be

Neutron capture data for long lived FF – 129I, 135Cs,107Pd,93Zr

Determination of the $^{233}\text{Pa}(n, f)$ reaction cross-section from 11.5 to 16.5 MeV neutron energy by hybrid surrogate ratio approach



$^{232}\text{Th}+6\text{Li}$

$^{232}\text{Th}+4\text{He}$
($^{235}\text{U}+n$)

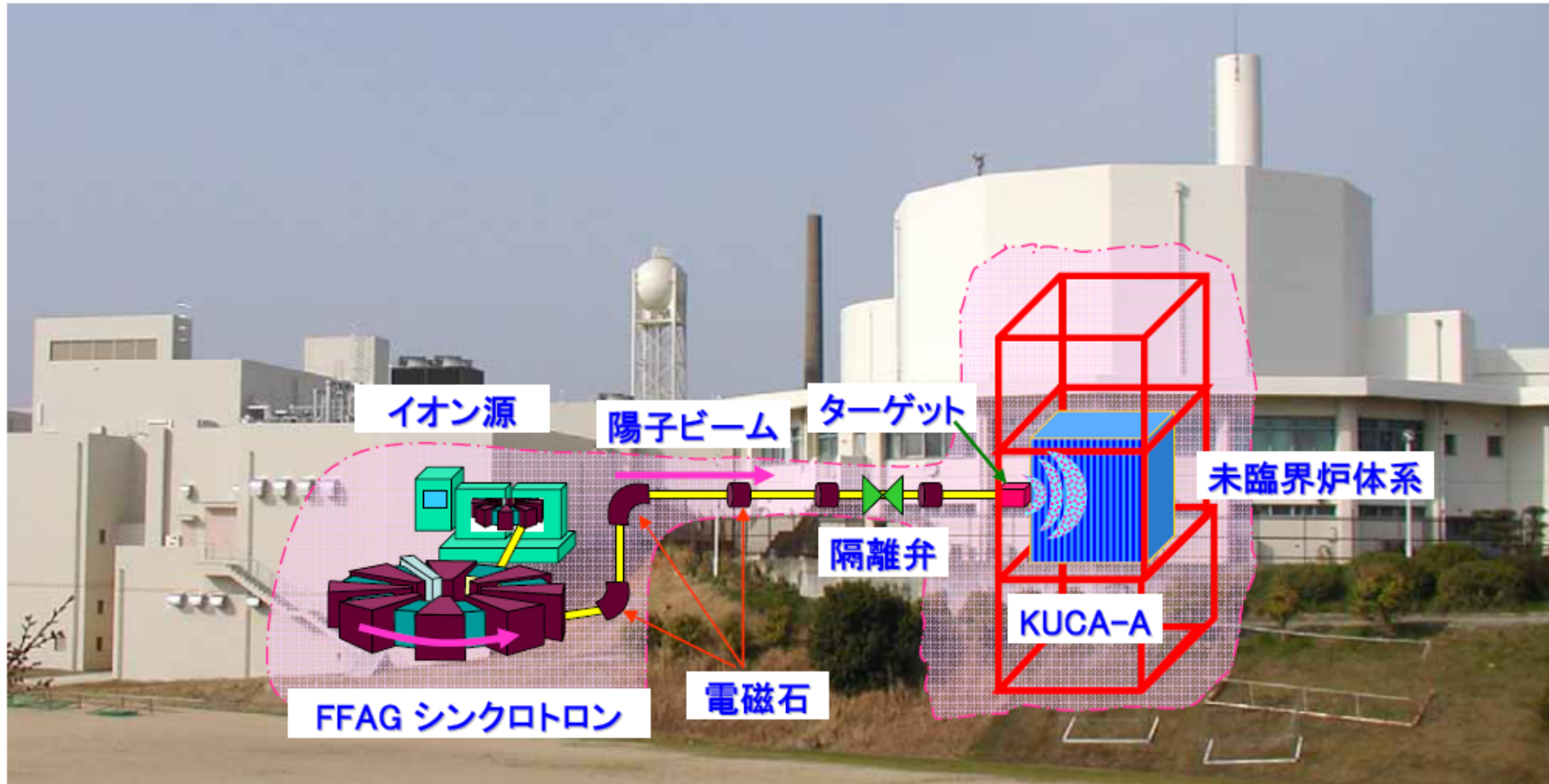
$^{232}\text{Th}+2\text{H}$
($^{233}\text{Pa}+n$)

B.K.Nayak(Phys Rev. C (2009)rapid

加速器駆動未臨界炉の基礎実験開始

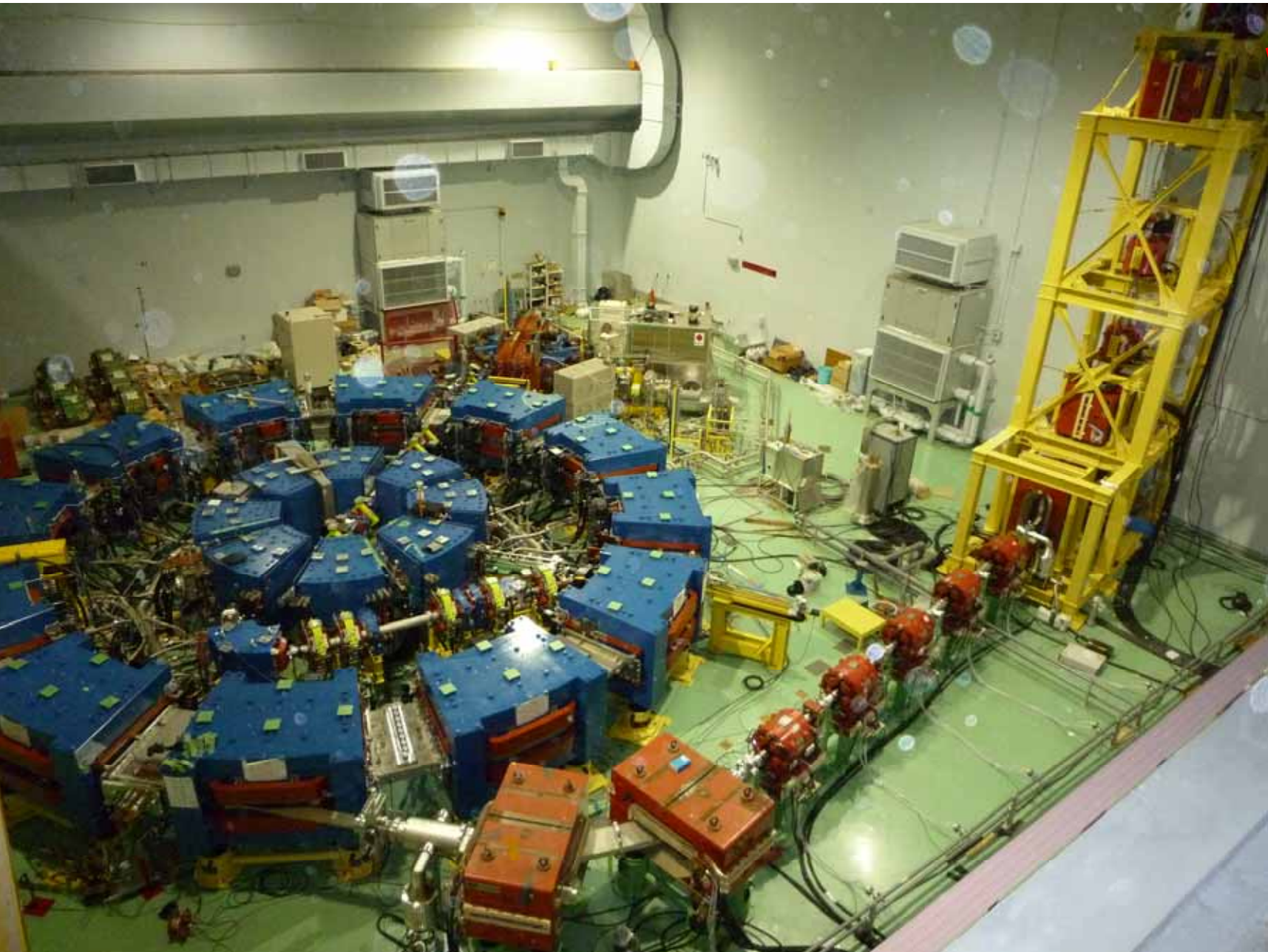
京都大学原子炉実験所における取り組み－5

世界初の加速器駆動未臨界炉実験: SCIENCE Vol.302 17 Oct. 2003 – News Focus



KART (Kumatori Accelerator-driven Reactor Test facility)プロジェクト

FFAG complex at KURRI



Beam
to
KUCA

Beam
from
FFAG

KUCA as a sub-critical target of the ADS

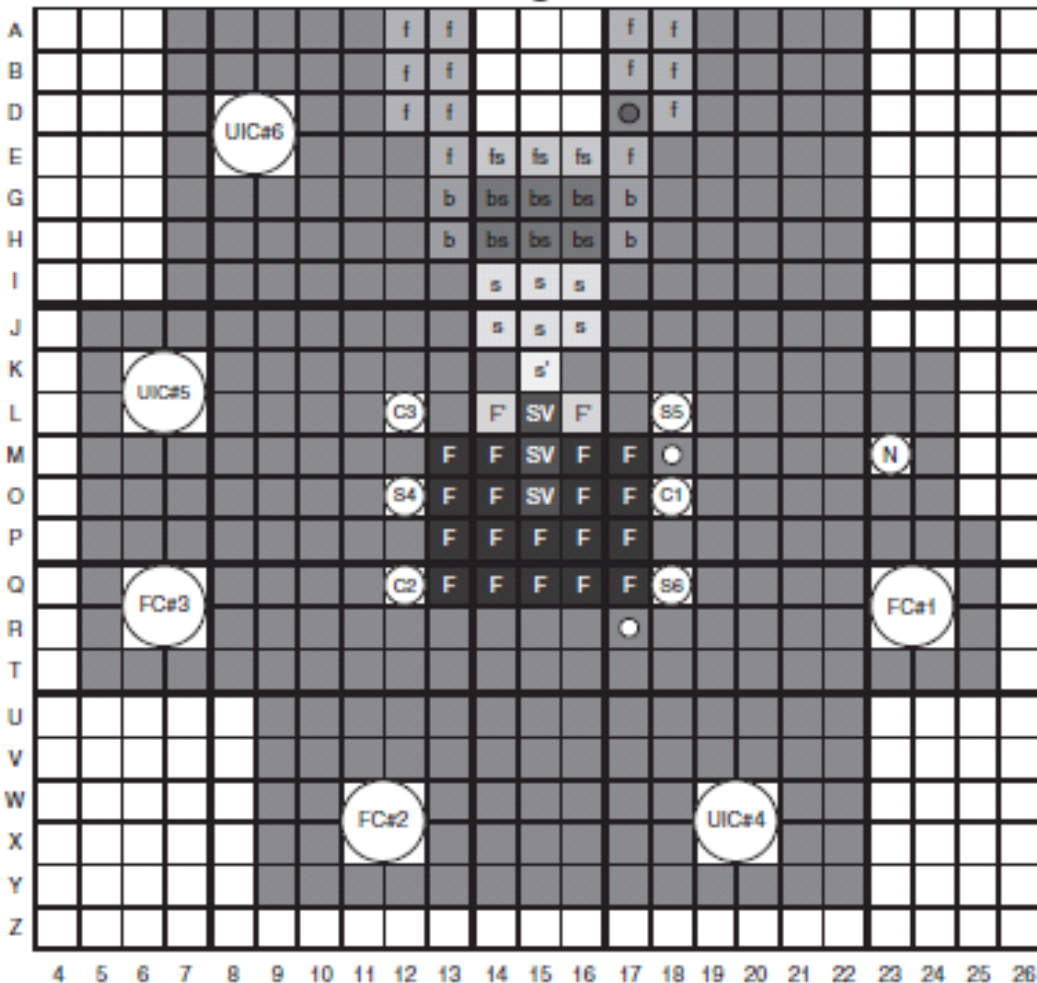
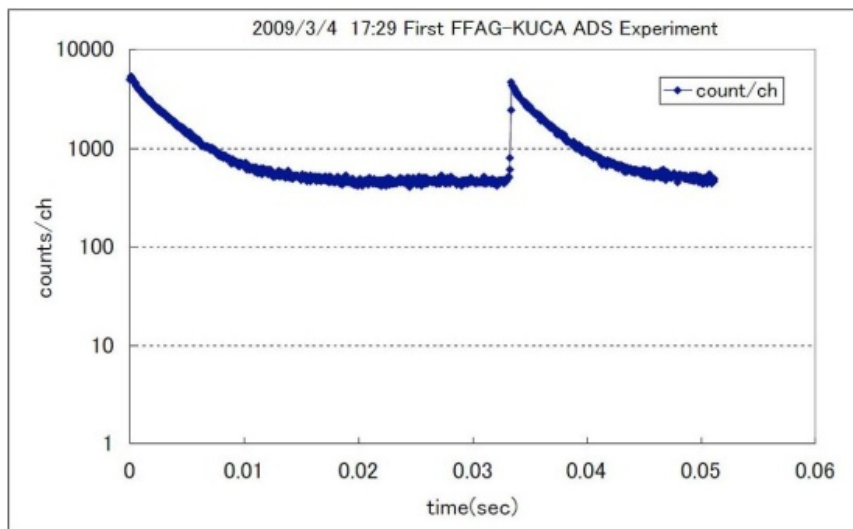


Fig. 1 Top view of the configuration of A-core in the ADS experiments with 100 MeV protons



最初のADS実験 (2009.3.4)



トリウムによる実験(2010.3.3)

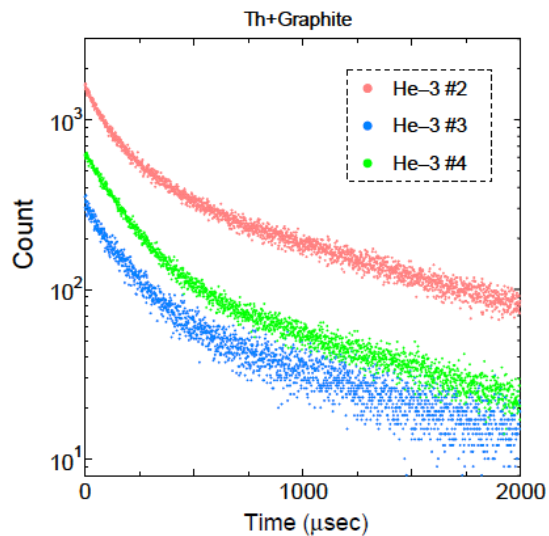
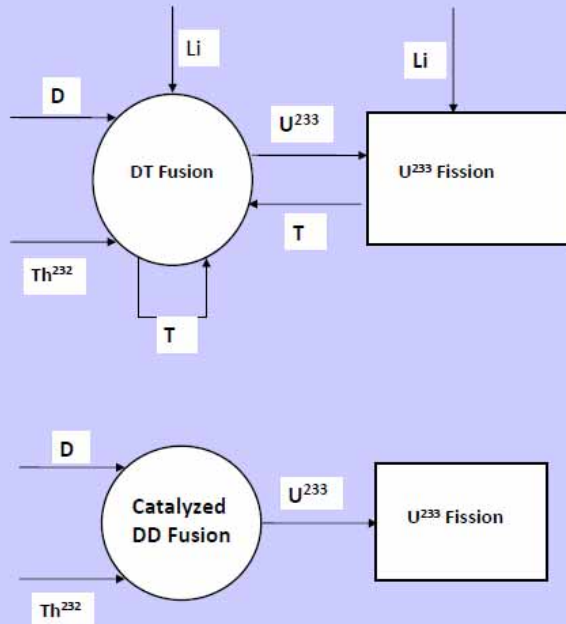


Fig. Results of pulsed neutron method at Th-Graphite core



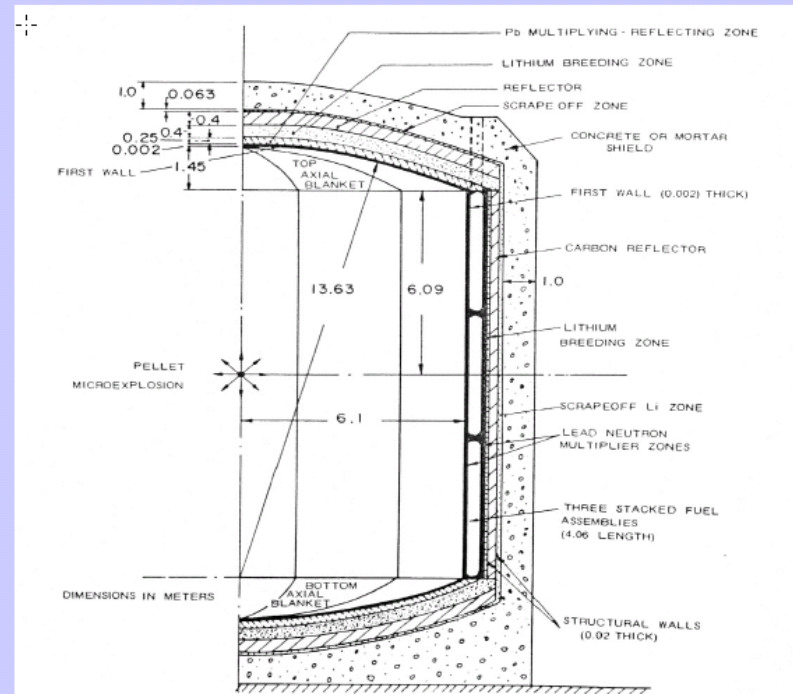
Fusion-fission hybrid thorium fuel cycle alternative

(ADSの加速器部分を核融合で置き換えたもの)



Material flows in the DT (top) and Catalyzed DD fusion-fission hybrid (bottom) Fuel Factory alternatives with U²³³ breeding from Th²³².

Laser fusion fissile generator plant with U²³³ breeding.



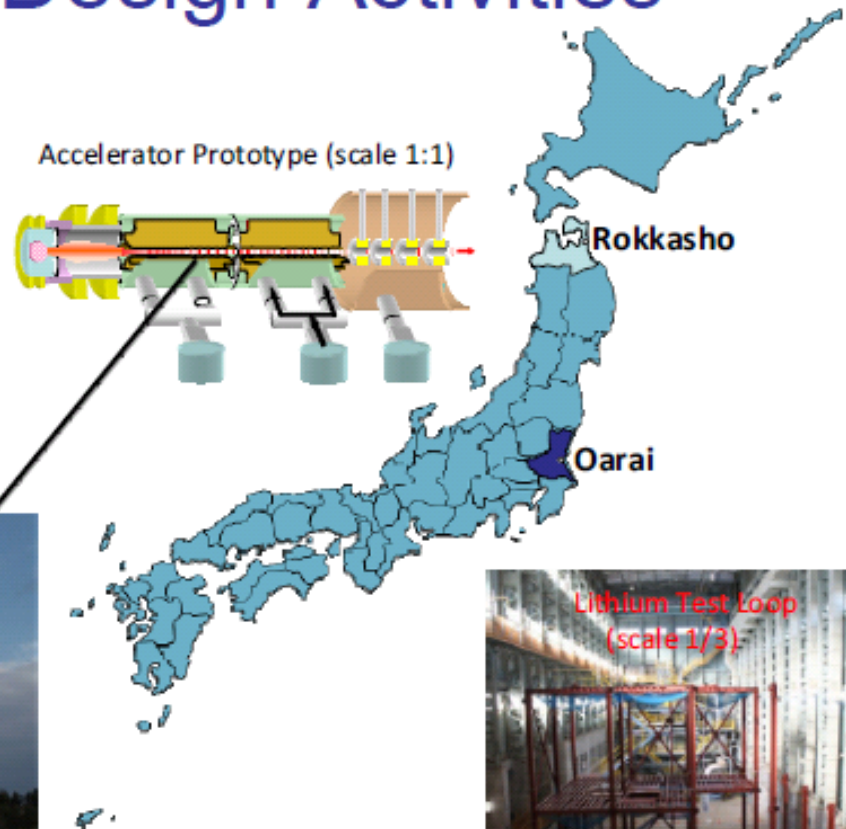
Magdi Ragheb

Graduate seminar, department of nuclear, plasma and radiological engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, 103 Talbot laboratory, USA, February 10, 2010

核融合炉材料試験用加速器(IFMIF)開発

Engineering Validation & Engineering Design Activities

- Engineering Validation
 - The Accelerator Prototype
 - The Lithium Test Loop
 - High Flux Test Modules
- Engineering Design
 - Of the whole IFMIF Plant



IFMIF/EVEDA Accelerator Building



Lithium Test Loop
(scale 1/3)

1st IPAC 2010, Kyoto, 23-28 May 2010

まとめ

人々の期待に応えること

社会的にはリスク管理の観点から

現在の原発のリスクを説明して、安全に関する正しい理解を求めことも大切。

しかし、工学者としてなすべきことは

原子力システムの安全と放射能の軽減に関する革新的技術の研究開発。

このような革新的技術開発ができる人材を育成すること。

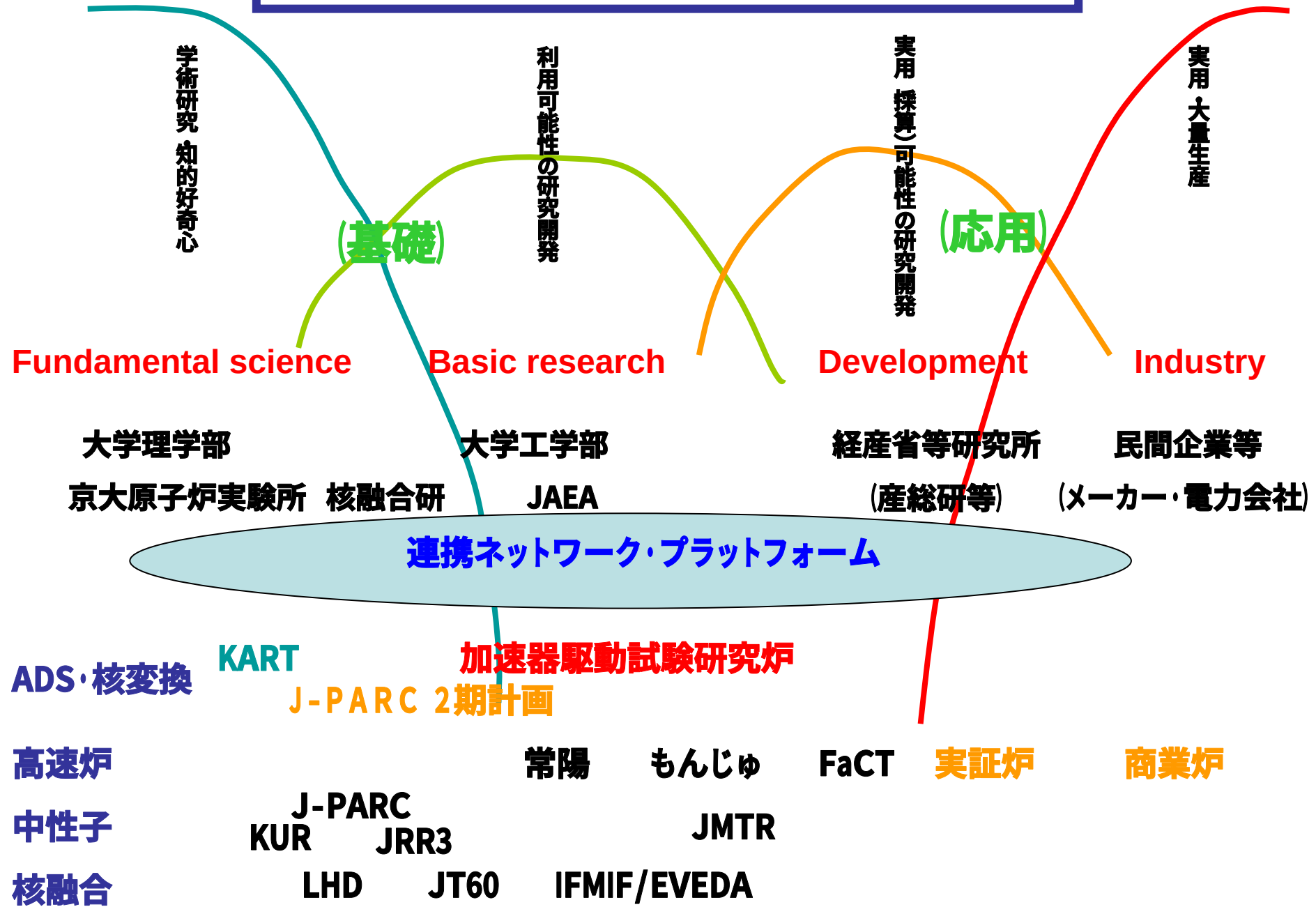
さらに、革新的技術開発の基礎となる物理学研究が必要になり、

現代的意味での原子力と物理学者の関係の再構築を考えるべき。

具体的例：・革新的安全原子力システムとしての加速器駆動未臨界システム、
エネルギー増幅と核変換による使用済燃料の放射能の減量
トリウムサイクルは核兵器に利用されにくく使用済み燃料の中に長寿命の放射能ができにくい

研究用実験装置：大強度中性子発生用加速器と核燃料集合体の組み合わせで、まず Basic Research を

原子力研究開発の分担・連携



ご静聴有り難うございました