

放射線遮蔽設計法に係るワークショップ第4回

原研・原子力機構における遮蔽研究の歴史

北海道大学、元JAEA

中島 宏

原研・JAEAにおける遮蔽研究の歴史

1. 黎明期（1960年～1965年）
遮蔽研究の幕開け： RI線源遮蔽実験、遮蔽コード開発委員会
2. 隆盛期（1965年～1974年）
JRR-4臨界： 原子力船模擬実験、高速炉遮蔽実験
コード開発： PALLAS, RADHEAT
3. 厳冬期（1974年～1989年）
「むつ」放射線漏洩事故： 事故検証実験、核融合炉遮蔽実験
コード開発： BERMUDA
1983年 第6回放射線遮蔽国際会議（東京）
4. 復興期（1989年～2005年）
加速器施設へ： SP-ring8、J-PARCの基礎実験と建設
1999年 第9回放射線遮蔽国際会議（筑波）
5. 展開期（2005年～）
放射線工学研究へ： コード開発： PHITS
2012年 第12回放射線遮蔽国際会議（奈良）

1. 黎明期（1960年～1965年）

最初の遮蔽研究は、1956年頃から、JRR-3 の設計と並行して、開始された。

1. RI線源 (60Co, 137Cs)を用いた実験
 国産ホウ素含有コンクリートの遮蔽性能
 迷路、貫通孔の漏洩ガンマ線の研究
 ビルドアップ係数の測定

2. 測定器開発
 円筒状電離箱、多結晶シンチレーション・スペクトロメータ、陽子反跳型中性子検出器の開発

3. 遮蔽コード開発委員会 (1960年)
 3年間で、30以上の遮蔽計算コード開発

1961年 **JRR-4 建設決定**:原子力船開発計画

1965年 **遮蔽研究室設置**

1.2.4 表 原子力計算コードの現状

(単位件数, 40. 10. 25. 現在)

番号	分類	計	原研	コード委他	会社大学他
1	熱中性子定数	12+⑦	4+③	0+②	8+②
2	高速中性子定数と共鳴積分	19+⑥	4+②	4+④	11
3	核断面積評価	12+③	3+①	(a) 7+①	2+①
4	原子炉設計一般	8+②	0	0+②	8
5	セル計算	11+①	1+①	1	9
6	1次元群計算	17+⑥	9+③	③	8
7	2次元群計算	13+⑦	2+②	③	11+②
8	3次元群計算	7+②	0+①	①	7
9	輸送方程式	12+⑦	10+③	③	2+①
10	燃焼	15+⑤	5+①	③	10+①
11	動特性	31+①	15	1+①	15
12	振動	2+②	0	1+①	1+①
13	遮蔽	77+⑦	3+③	(b) 3+④ +34	37
14	炉工学	50+③	19	③	31
15	モンテカルロ	7+①	4	1+①	2
16	その他	52+⑤	31+③	②	21
17	補助プログラム	10	10	0	0
合 計		355+⑥⑤	120+②③	52+③④	183+⑧

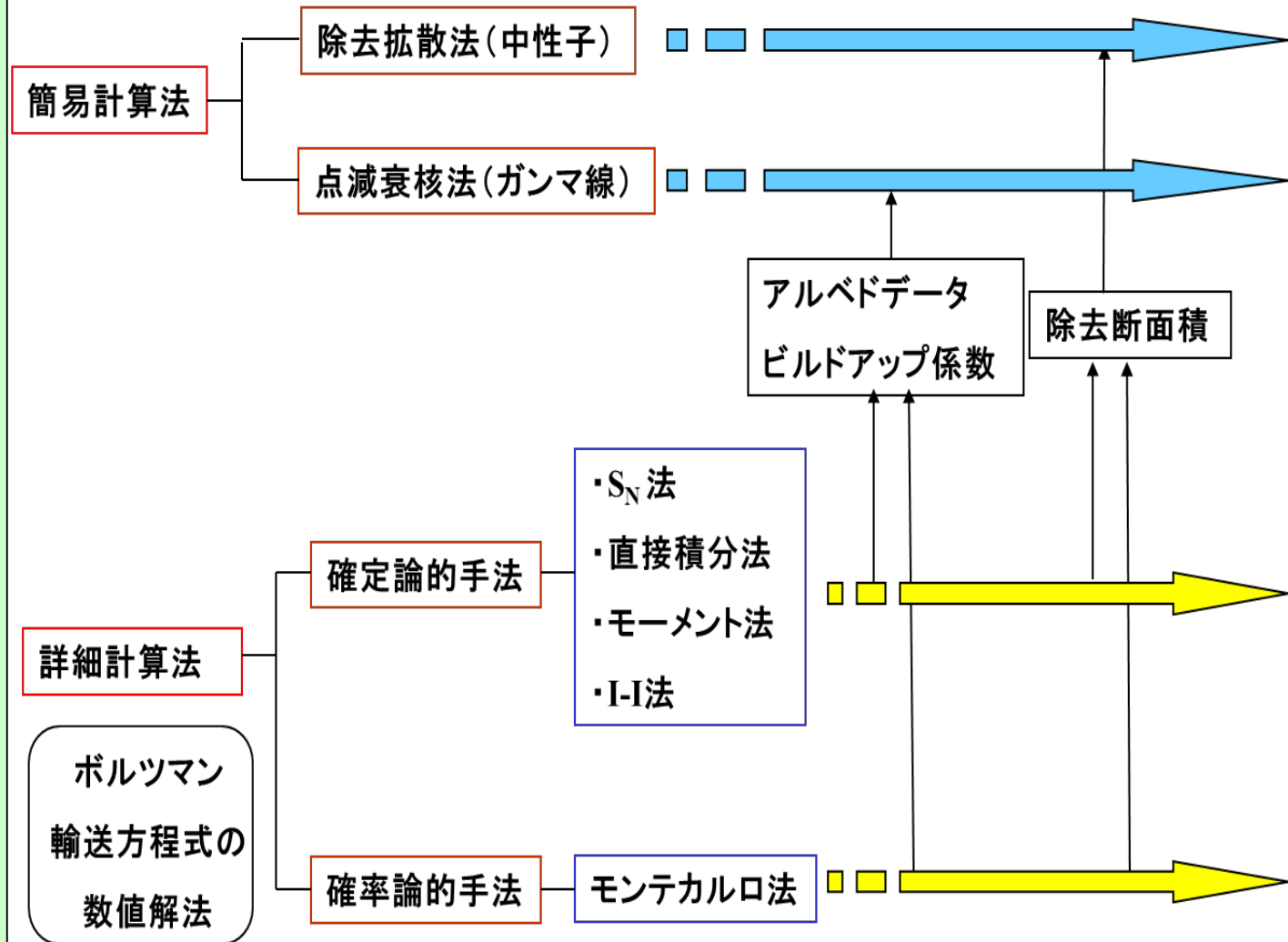
(1) ○印の数字は、外国で開発された計算コードを整備したもの

(2) (a)はシグマ研究委員会で開発したもの

(3) (b)は日本原子力船研究協会で開発したもの

当時の遮蔽計算コード

1. 除去拡散法: MAC-RAD(日立)、RASC-2D(川重)、MACM(原研)
2. 点減衰核法: QAD-PR(日立造船)、G-33(日立造船)、MARINE(船研)
3. 多重散乱法: MSM(東工大)、CBF(船研)
4. 空気散乱等: SANRAN(日立)、SKY-SHINE(MAPI)
5. レイアナリシス法: RAST(日立)
6. 拡散法: PIMG(MAPI)
7. Sn法: ANISN(ORNL)
8. 直接積分法: PALLAS(船研)
9. I-I法: SLDN、SLDG(NAIG)
10. 有限要素法: FEMSHLD(原研)
11. モンテカルロ法: CYGNUS(京大)、O5R(ORNL)、MORSE(ORNL)
12. 微分ダイナミック・プログラミング: SOLA(船研)



除去拡散法

除去拡散法の原理 (Spinney法) : 除去理論と拡散理論の弱点を相補い開発
2ステップの考え方

1. 高速中性子⇒透過(相互作用):減速過程(含水素系遮蔽)
2. 減速中性子: 拡散過程

$$\nabla^2 \phi_1(\gamma) - \kappa_1^2 \phi_1(\gamma) - \frac{\Sigma_{a1}}{D_1} \phi_1(\gamma) + \frac{1}{D_1} \cdot \frac{S_0 \cdot \Sigma_R e^{-\Sigma_R \gamma}}{4\pi\gamma^2} = 0$$

$$\nabla^2 \phi_i(\gamma) - \kappa_i^2 \phi_i(\gamma) - \frac{\Sigma_{ai}}{D_i} \phi_i(\gamma) + \frac{D_{i-1} \cdot \kappa_{i-1}^2 \phi_{i-1}(\gamma)}{D_i} = 0 \quad i \geq 2$$

第1群の線源項の速中性子の除去成分が線源項として導入される。

本手法の問題点

- 1) 対象が含水素系遮蔽体に限定
- 2) 熱、熱外中性子は対象外(二次ガンマ線評価は不可)
- 3) 除去断面積: 遮蔽実験の減衰の傾きなどから評価。直接的に断面積として測ることは不可
- 4) 拡散計算としての限界: 等方角度分布を仮定するため、遮蔽計算としては過小評価のおそれ。

ボルツマン輸送方程式

微積分型輸送方程式(オリジナルの形式)

$$\nabla \cdot \Omega \Phi(\gamma, \Omega, E) + \Sigma_t(\gamma, E) \cdot \Phi(\gamma, \Omega, E) = \int_{E'} \int_{\Omega'} \Sigma_S(\gamma, E') \cdot p(E' \rightarrow E, \Omega' \rightarrow \Omega) d\Omega' dE' + S(\gamma, \Omega, E)$$

積分型輸送方程式(微積分形を積分した形式)

$$\Phi(\gamma, \Omega, E) = \Phi(\gamma', \Omega, E) \cdot \exp \left[- \int_{\partial}^R \Sigma_t(\gamma - R', \Omega, E) dR' \right] + \int_0^R Q(\gamma'', \Omega, E) \cdot \exp \left[- \int_{\partial}^{R''} \Sigma_t(\gamma'', E) dR'' \right] dR'$$

ここでQは散乱線源項と固定線源項の和

モンテカルロ法における基本方程式(積分型ボルツマン方程式)

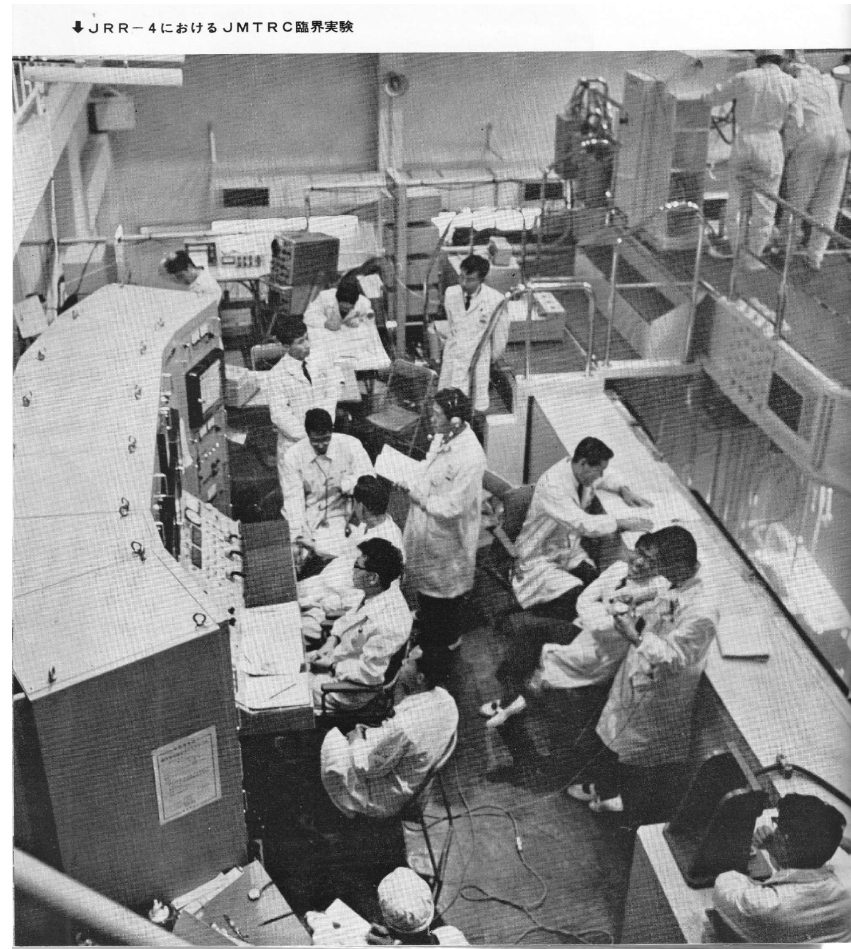
$$X(r, \Omega, E) = S(r, \Omega, E) + C(r, \Omega' \rightarrow \Omega, E' \rightarrow E) \cdot T(r' \rightarrow r, \Omega', E') \times X(r', \Omega', E')$$

ここで $T(r' \rightarrow r, \Omega', E')$: 輸送カーネル、
 $C(r, \Omega' \rightarrow \Omega, E' \rightarrow E)$: 衝突カーネル

2. 隆盛期（1965年～1974年）

原子力船開発に対する産業界の期待は大きく、JRR4の臨界は大いに歓迎された。
(1965年1月28日3時15分)

1. JRR-4を用いた実験
原子力船模擬実験
高速炉遮蔽実験
2. 検出器開発
TLD
Ge(Li)半導体検出器
3. コード開発
PALLAS
RADHEAT



JRR-4臨界

JRR-4の概要

・目的

遮蔽に関する試験研究
照射設備、BNCT等施設供用

・構造

板状燃料を用いた軽水減速冷却のス
イミングプール型熱中性子炉

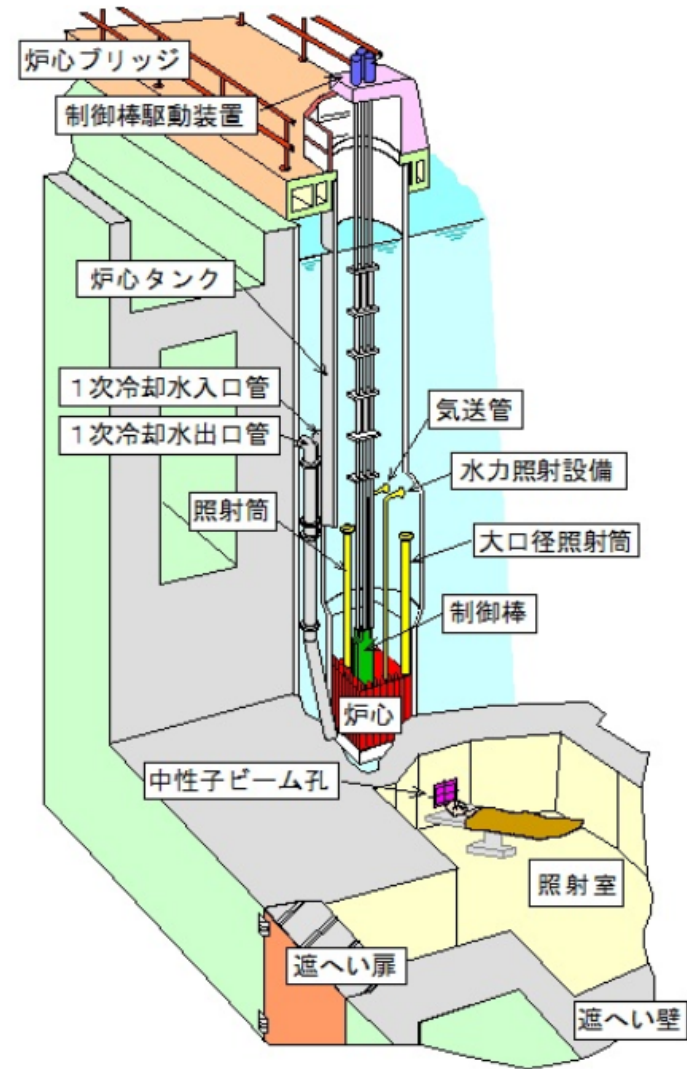
原子炉最大熱出力: 3500kW

(最大熱中性子束: $7 \times 10^{17} \text{n/m}^2 \cdot \text{sec}$)

・燃料

濃縮度: 90%~93%

平成10年20%濃縮ウラン燃料へ変更



JRR-4炉心図

JRR4を用いた遮蔽実験

1. 原子力第1船のための模型実験： 船研との共同実験

- ・1次遮蔽体(水・鉄多重層)透過実験
- ・2次遮蔽体(ポリエチレン、蛇紋岩コンクリート、水素化ジルコニウム、シリコン)透過実験

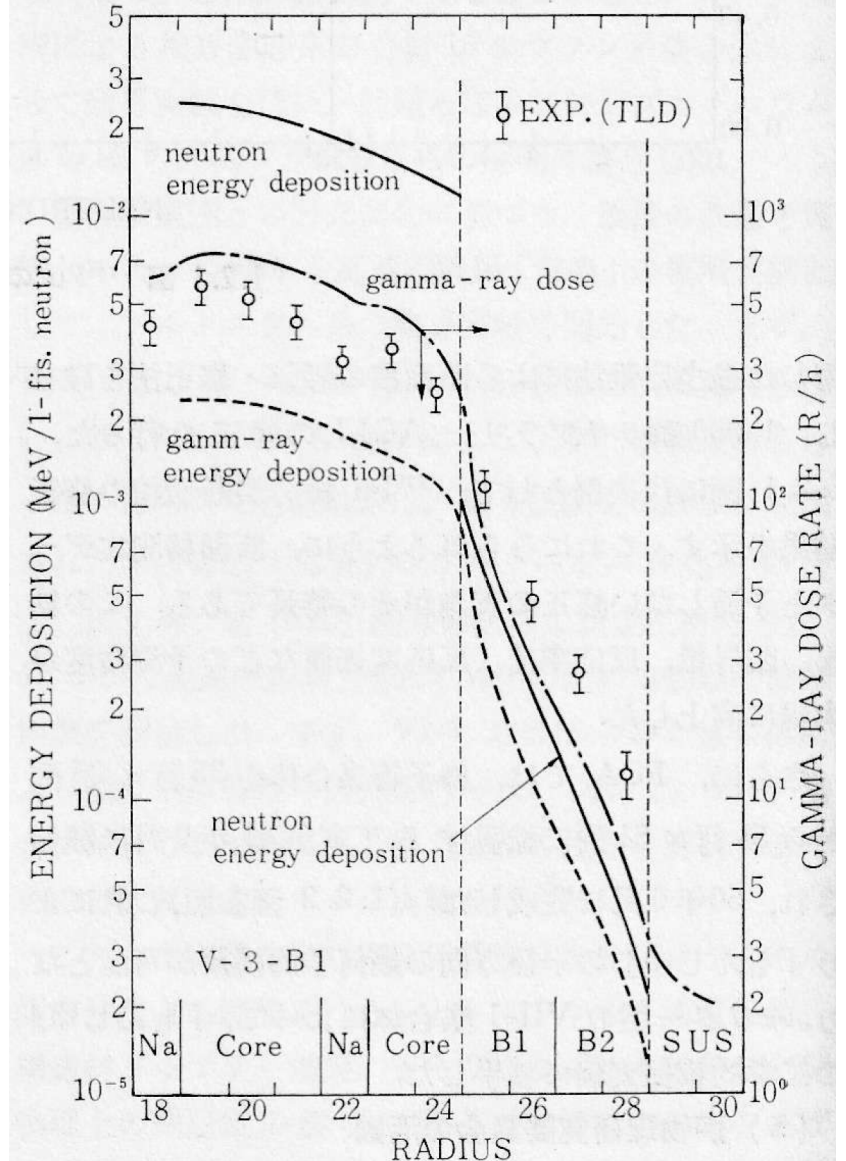
2. 高速炉の遮蔽実験

- ・非含水素物質(黒鉛、Na, Al, Fe 等)透過実験
: 動燃受託
黒鉛、水・多重層ストリーミング実験

これらの他、

東大高速中性子源炉「やよい」におけるベンチマーク実験

原研FCAにおける γ 発熱実験



1.2.3 図 FCA B1 炉心におけるガンマ線量率分布と発熱分布

PALLASの開発

PALLAS(竹内、笹本、田中)

- ・直接積分法

 - 多群近似: 群定数作成誤差

 - Weighting function の使用

 - Discrete ordinates法の問題

 - 角度分布: Ray effect→First Collision Source

 - 空間メッシュ: →進行方向に積分

 - 散乱の非等方性にルジャンドル展開近似: →断面積数値データ

 - 空間分布計算進行方向における線積分による誤差

 - 空間上の線束および線源の値による補間

- ・原子力船「むつ」の放射線漏洩原因調査

- ・ビルドアップ係数の計算

 - 制動輻射、消滅ガンマ線の寄与

RADHEATの開発

・原子炉構造体、遮蔽対中における放射線輸送・発熱の計算を群定数作成から系統的に行うコードシステム

・構成

(1)中性子、ガンマ線の輸送・発熱群定数の作成、

(2)2次ガンマ線生成定数の作成

(3)中性子輸送計算、

(4)中性子発熱計算、

(5)ガンマ線輸送計算

(6)ガンマ線による発熱計算

中性子、ガンマ線の輸送計算: SNコード(ANISN、DOT-2等)

・精度検証

FCA-V3集合体における実験

最新版: RADHEAT-V4 (山野他)

・ANISN-JRの改良版(散乱断面積表示法における、直接角度表示法DARを使用)

・DOT3.5の改良版

・MORSE-CGの改良版

3. 厳冬期（1974年～1989年）

原子力船「むつ」の海上における出力上昇試験中、放射線漏洩事故が発生した。
(1974年9月1日)

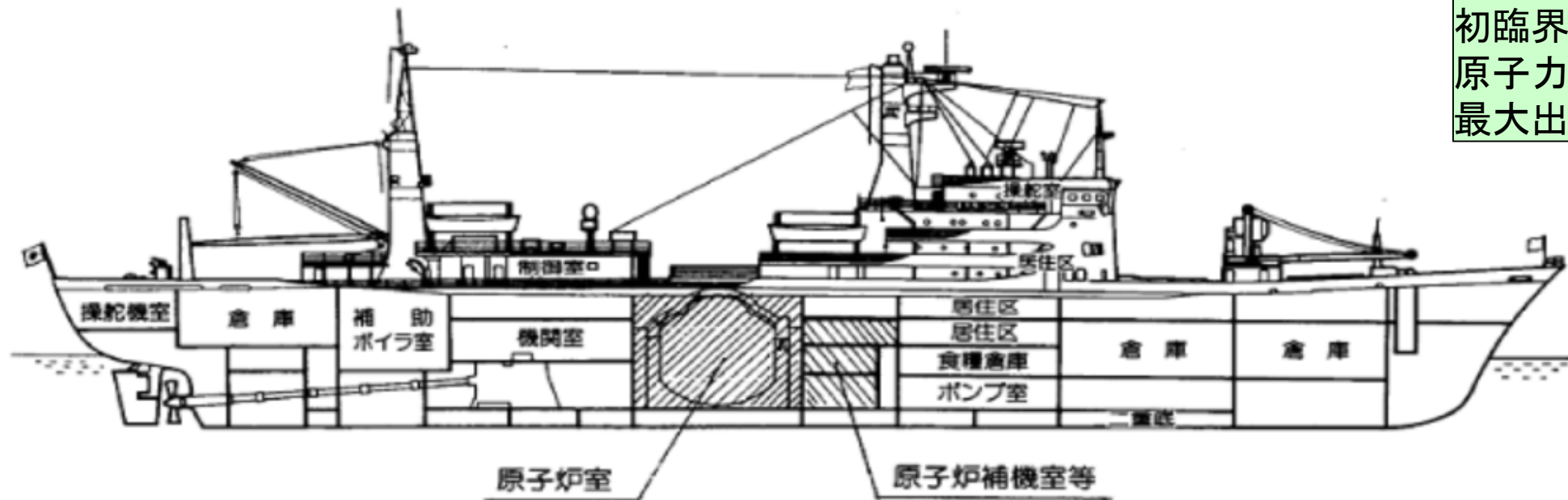
1. 遮蔽実験
事故検証実験、
核融合炉遮蔽実験
2. コード開発
BERMUDA



原子動力で太平洋上を航行する「むつ」

原子力船「むつ」

進水	1969年6月
初臨界	1974年8月
原子力動力航行	1990年7月
最大出力航行	1990年10月



用途	原子動力実験船	総トン数	約8240トン	原子炉型	加圧水型炉
全長	約130m	主機出力	10000馬力	熱出力	36MW
型幅	約19m	速度(最大)	32km/h	原子動力	145000
型深	約13.2m	速度(常用)	30km/h	航続距離	海里(計画)
吃水	約6.9m	補助動力	18km/h	乗船者定員	80名

図1 原子力船「むつ」の配置説明図

〔出典〕日本原子力研究所：原子力船「むつ」の成果、平成4年2月

原子力船「むつ」放射線漏洩事故

事故原因(抜粋)

(2) 格納容器上方向への放射線の洩れば、原子炉容器と上部一次遮蔽体との隙間からの中性子の漏洩、すなわち、ストリーミングに主として起因するものとみられる。

なお、専門家グループによる調査データと「ANISN」「TWOTRAN」及び「PALLAS-2D-CY」コードによる計算結果などから考えると、このストリーミングの主たるものは、エネルギーのかなり高い($10^4 \sim 10^6 \text{eV}$ 程度)中性子であるとみられる。

(3) 原子炉容器と一次遮蔽タンクの間隙からの中性子が、上方向と同程度に、下方向へも漏洩している。また、格納容器下部内外において、高い中性子束が形成されているのは、この漏洩した中性子が、格納容器及び船殻を構成する鋼板等によって反射され、それが格納容器一次遮蔽下端から上方向への中性子レベルを高めているためであるとみられる。

(6) 上甲板で認められたガンマ線は、一次遮蔽体の隙間から洩れ出た中性子が、二次遮蔽体中の鉄構造物等により吸収されるため、二次的に発生する捕獲ガンマ線が主成分であるとみられる。

原子力船「むつ」の放射線遮蔽に関する遮蔽小委員会の調査結果について(中間報告・要旨)

昭和49年11月5日

「むつ放射線しゃへい」技術検討委員会遮蔽小委員会

原子力船「むつ」放射線漏洩対策

1978年から1982年にかけて、長崎県佐世保において改修工事等を実施した。

原子炉遮蔽設備の改修内容は以下のとおり(図2)。

1. 上部1次遮蔽体を中性子の吸収の良い**蛇紋岩コンクリート**に変更する。
2. 二次遮蔽体の鉛とポリエチレンを**重コンクリート**に変更する。
3. 圧力容器フランジ部に中性子吸収の良い**クリソタイル保温材**を設ける。
4. 圧力容器蓋部に中性子の吸収の良い**水素化ジルコニウム**を設ける。
5. 格納容器外の二重底上下部に**ポリエチレン**の遮蔽体を新設する。
6. 格納容器下部に**蛇紋コンクリート**と**シリコン**を用いた遮蔽体を新設する。

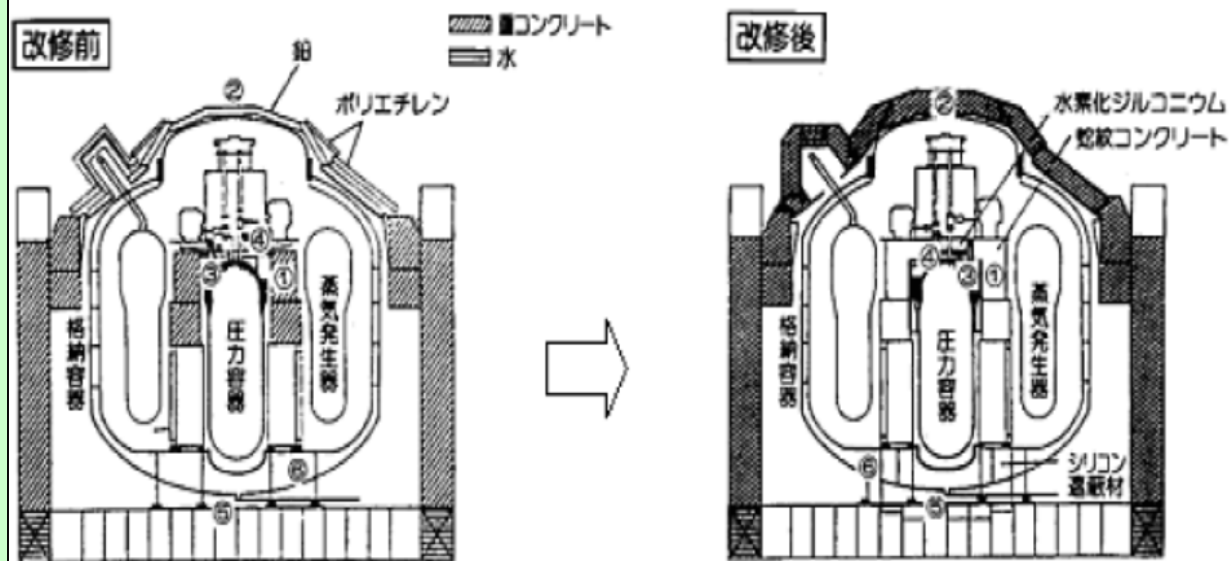


図2 原子炉遮蔽設備の改修内容

核融合炉遮蔽実験

FNS: 核融合炉物理用中性子源

緒元: d-T中性子源

D+ビーム: 400kV、20mA

中性子数: $4 \times 10^{12} \text{ n/s}$ (回転ターゲット)

$3 \times 10^{11} \text{ n/s}$ (固定ターゲット)

1981年 運用開始

1982年 迷路ストリーミング実験

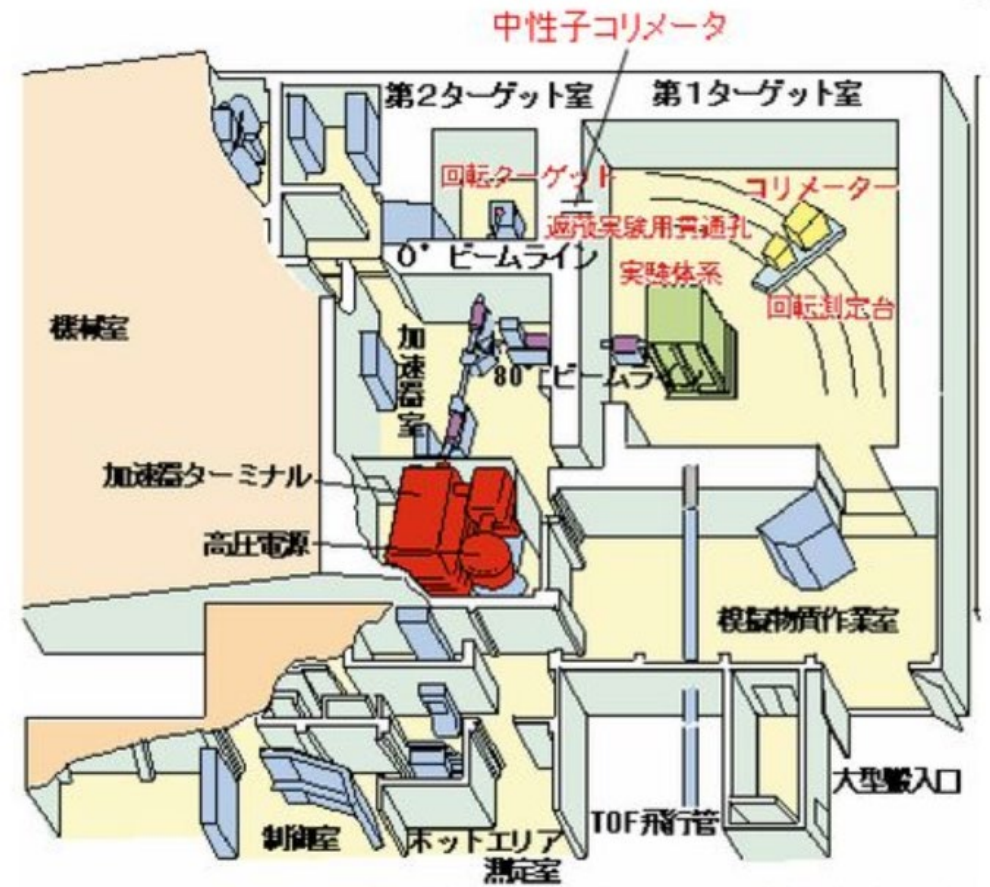
1984年 中性子深層透過実験

1985年 多重層ストリーミング実験

1986年 スリットストリーミング実験

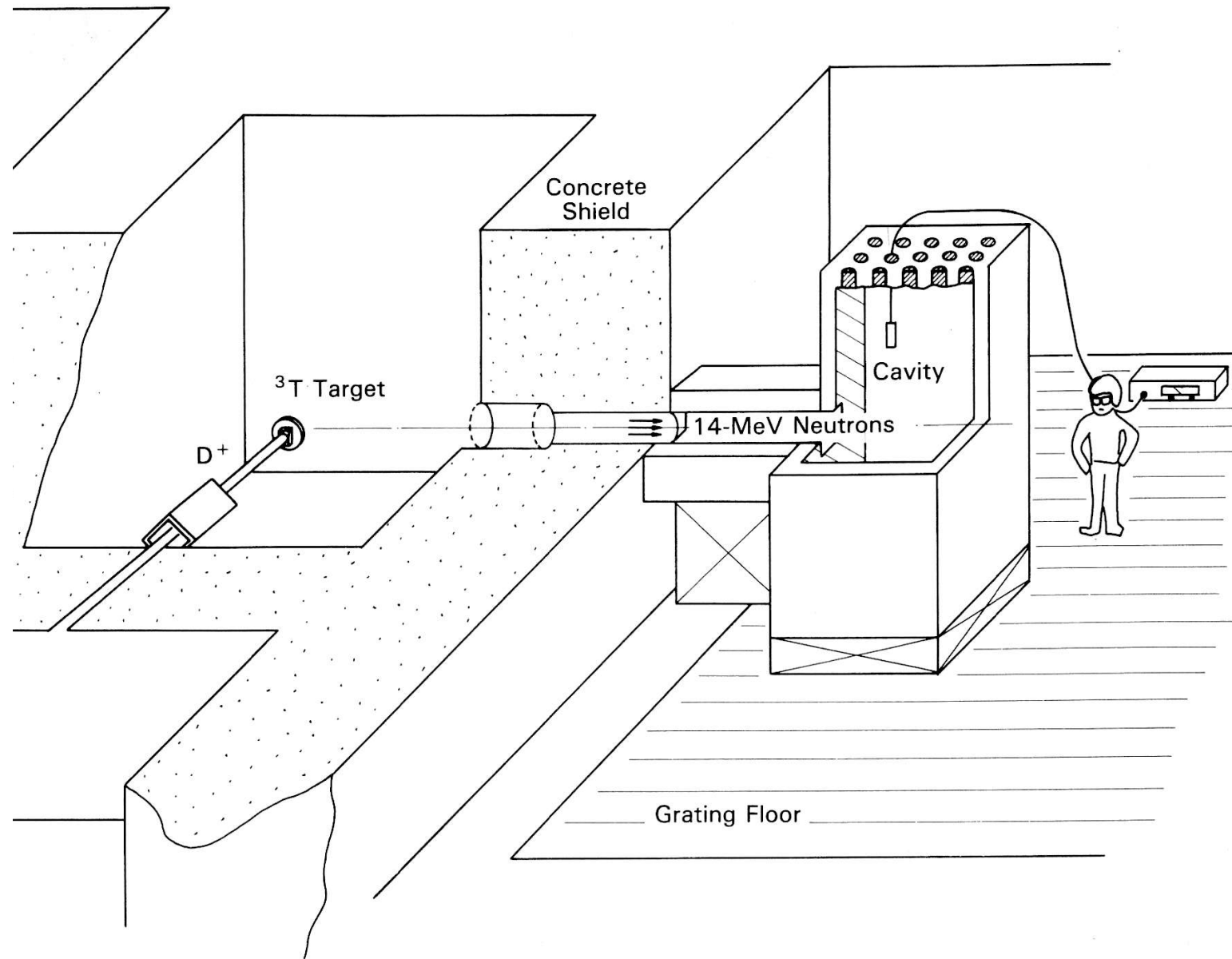
1987年 空洞散乱実験

1988年 深層透過核発熱実験

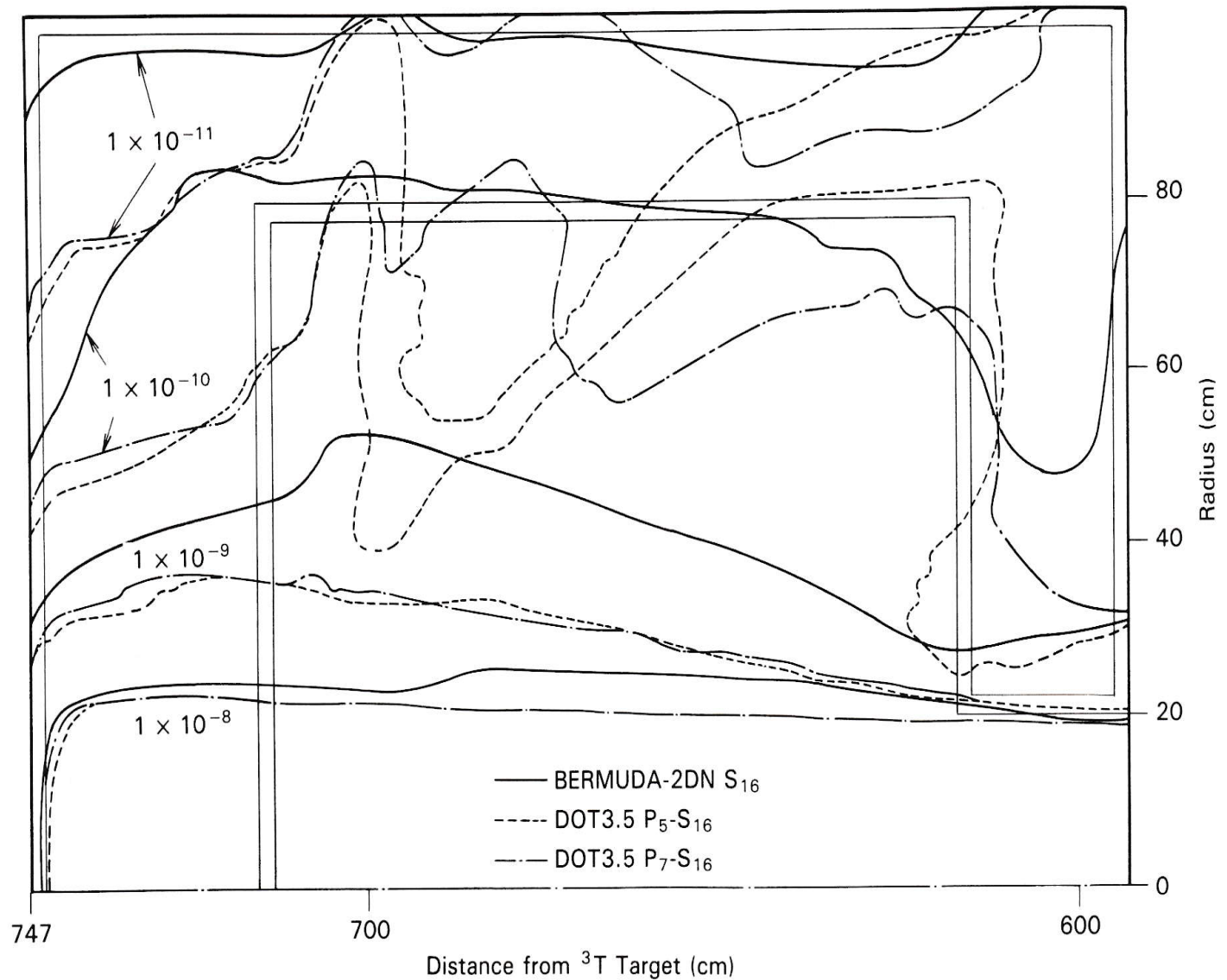
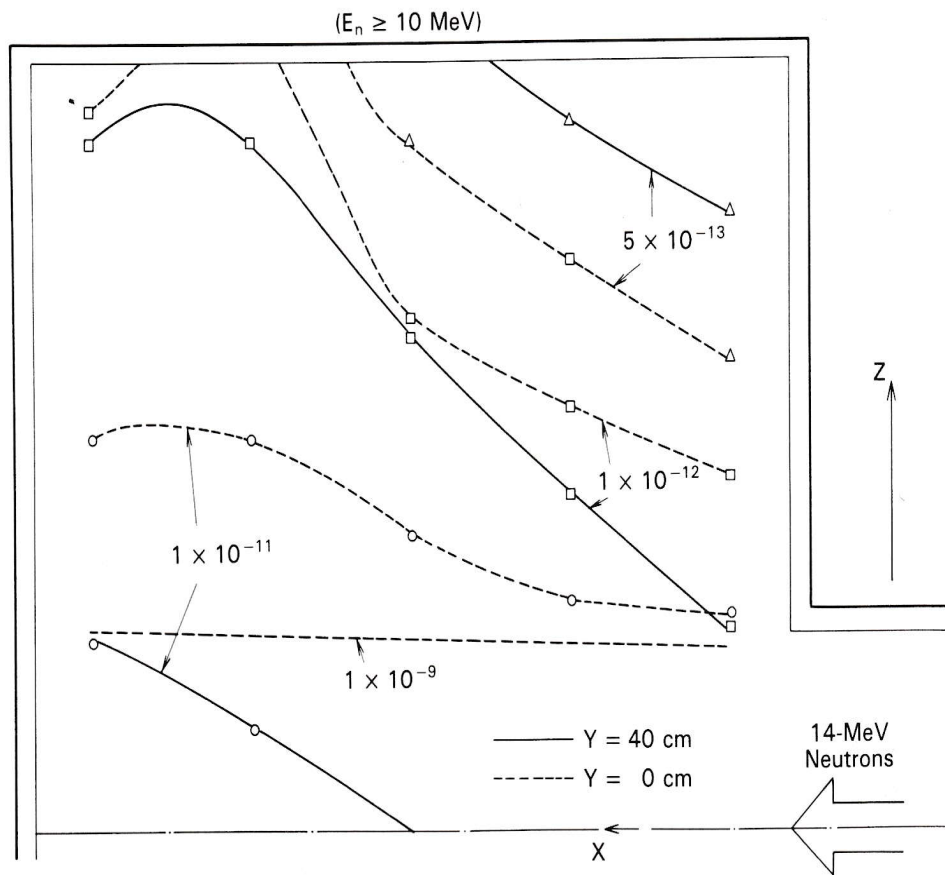


http://www.naka.jaea.go.jp/etc/h20/gaiyou_fns.html

NBI等空洞における中性子の挙動



NBI等空洞における中性子の挙動



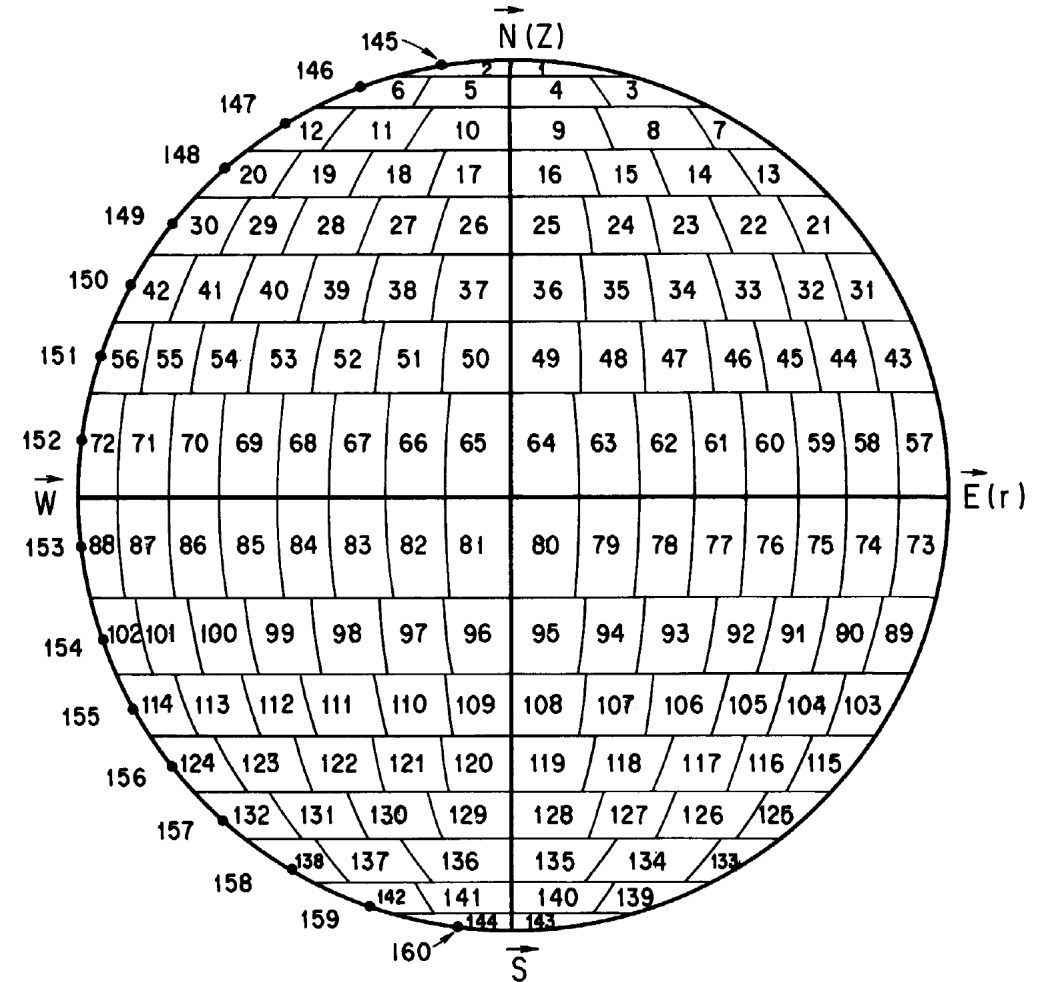
BERMUDAの概要

特徴

直接積分法とエネルギー多群モデルを組み合わせ、定常状態で、輸送方程式を数値的に解き、中性子・ γ 線及びその随伴の各線束について空間・角度・エネルギー分布を計算する。

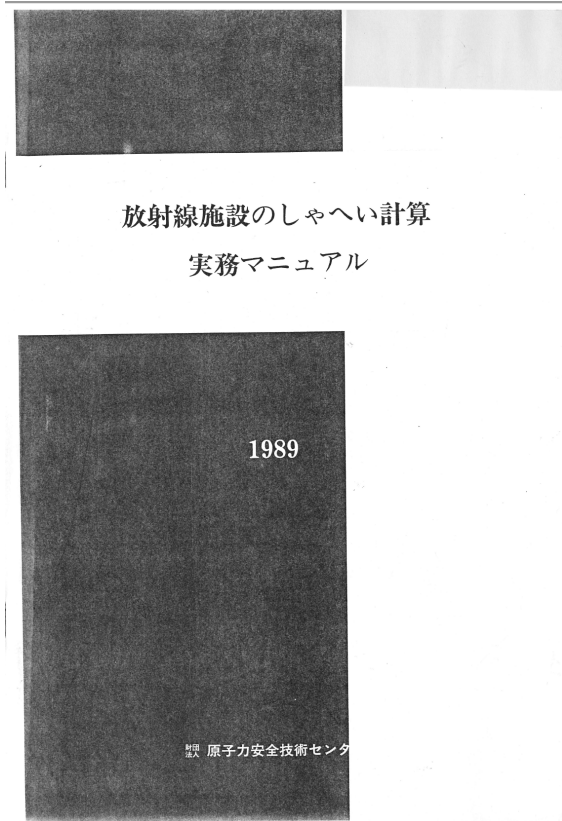
$$\Phi(\gamma, \Omega, E) = \Phi(\gamma', \Omega, E) \cdot \exp\left[-\int_0^R \Sigma_t(\gamma - R', \Omega, E) dR'\right] + \int_0^R Q(\gamma'', \Omega, E) \cdot \exp\left[-\int_0^{R''} \Sigma_t(\gamma'', E) dR''\right] dR'$$

- 散乱による群・角度遷移マトリックスの算出に二重微分断面積の数値積分
(ルジャンドル展開を用いないため、負の線束を算出しない)
- 点線源に対し、点減衰法による一回散乱源法を内蔵
(Ray Effect を緩和)
- エネルギー微細群構造を採用し、粒子のエネルギー保存を確保
- 空間分布については、粗メッシュ再釣合技法を採用し、粒子数バランスの確保



S₁₆ angular ordinates and their territories

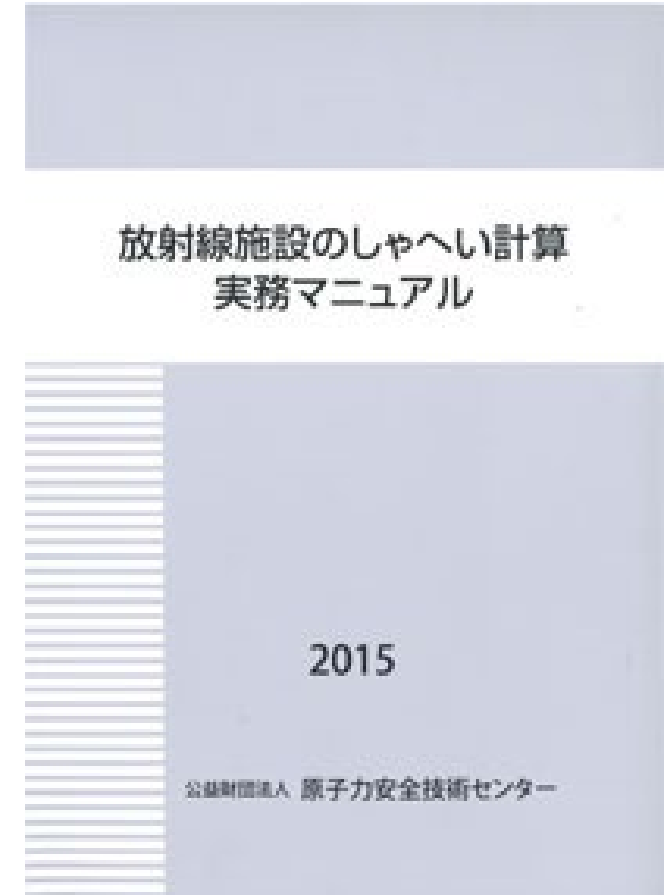
放射線施設のしゃへい計算実務マニュアル



- ・放射線施設の γ (X)線しゃへい計算実務マニュアル1989、
- ・放射線施設のしゃへい計算実務マニュアルII1990
- ・放射線施設のしゃへい計算実務マニュアルIII1991



平成12年12月刊行
(A4版、323頁)



平成27年3月刊行
(A4版、308頁)

4. 復興期（1989年～2005年）

1. 加速器施設遮蔽実験

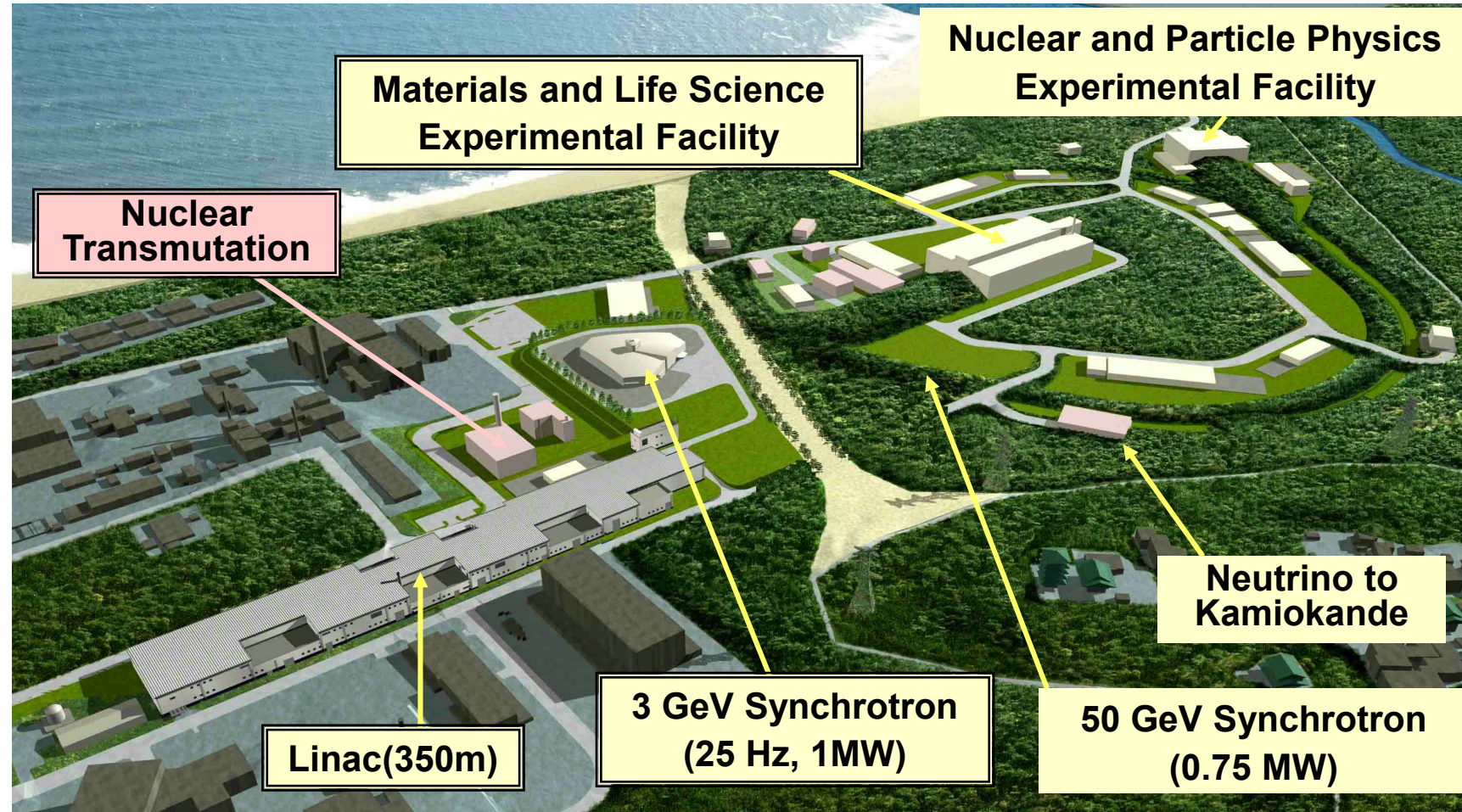
・KEK-放射光施設における
低エネルギー光子共同解析
実験

・原研・大学プロジェクト共同
実験 (TIARA)

2. 加速器施設設計・建設

・SP-ring8

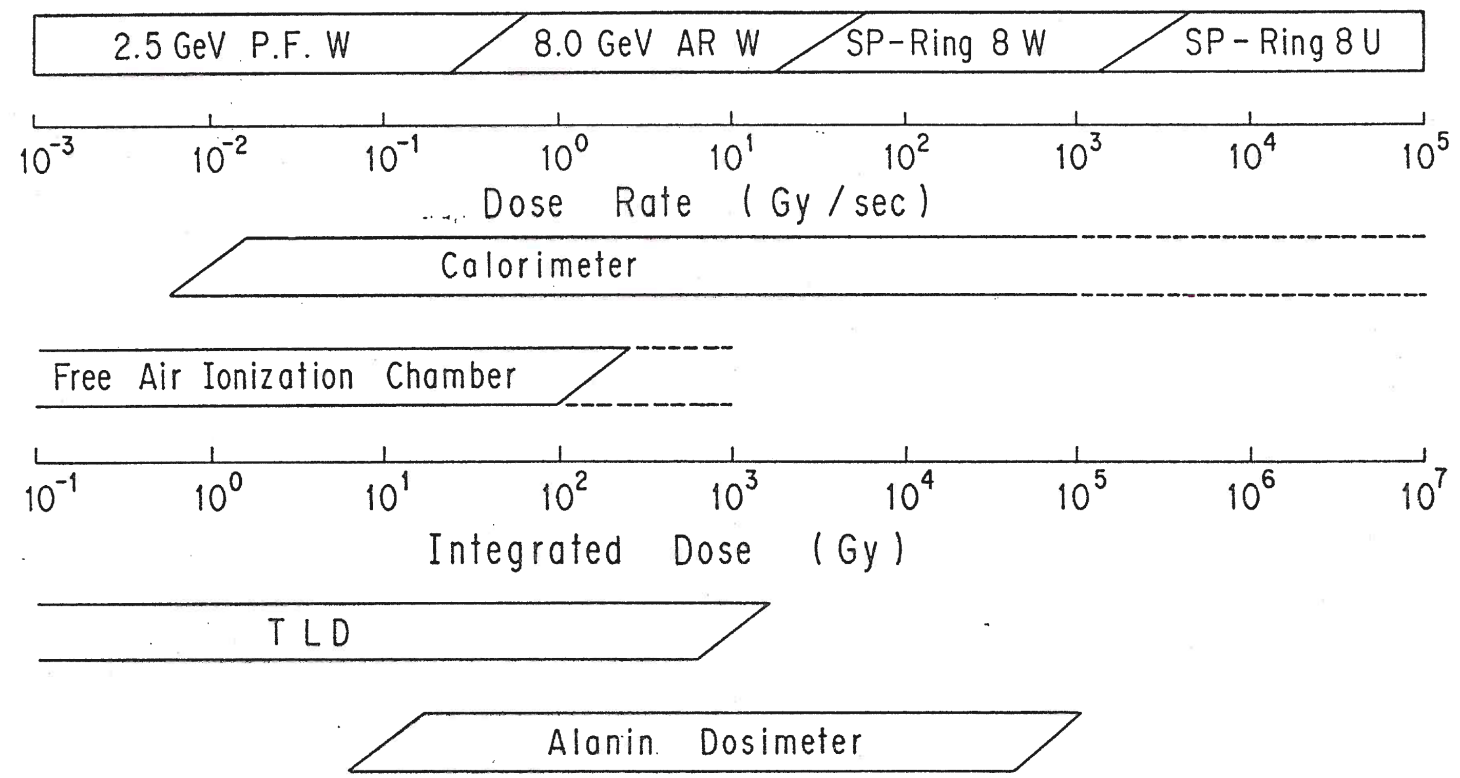
・J-PARC



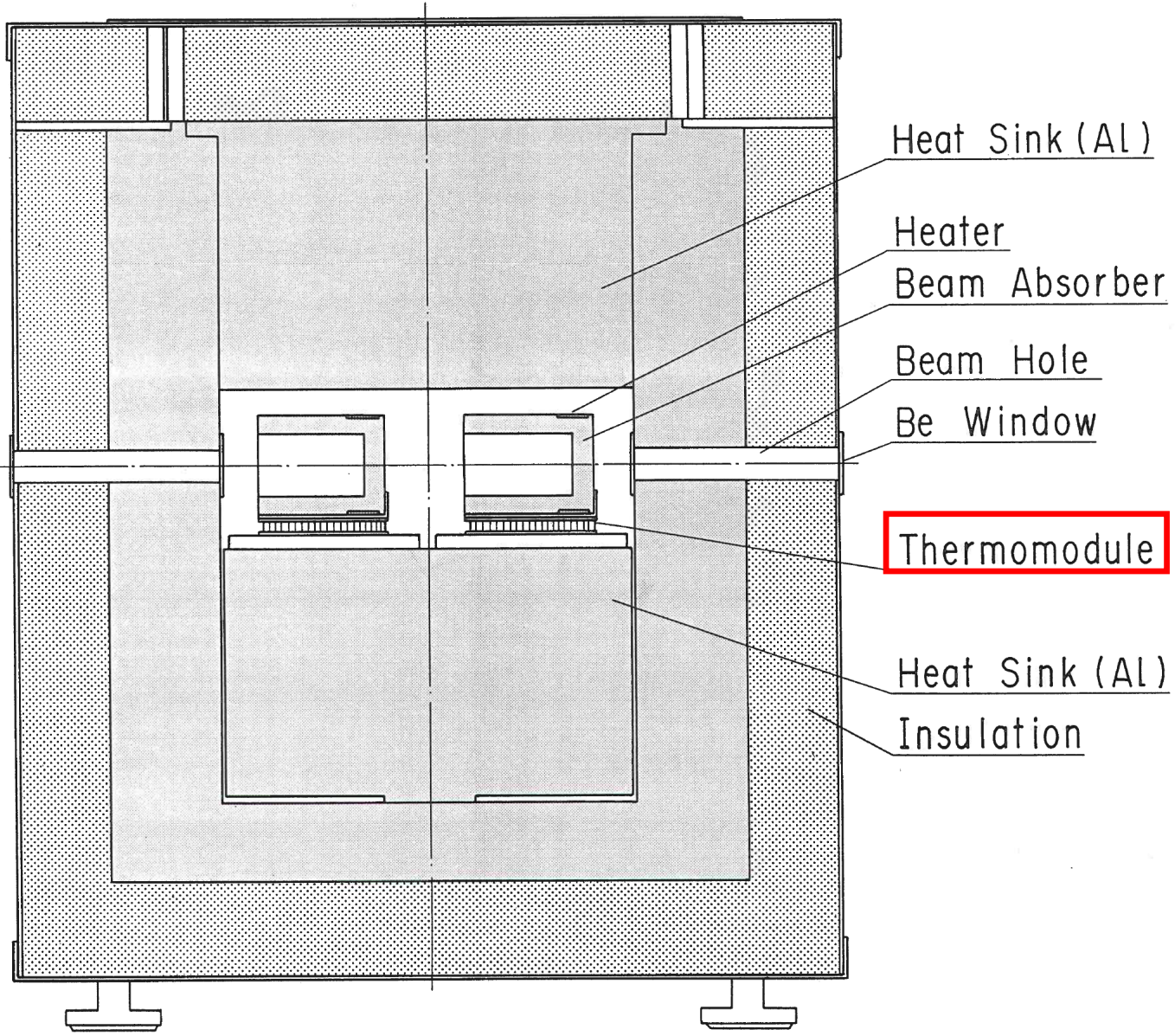
J-PARC全景

PFにおける放射光施設基礎実験

- ・放射光絶対強度測定装置
カロリメーターの開発
- ・Free Air Ionization
chamberの開発
- ・TLD、アラニン線量計、IP
等によるファントム内線量測定
- ・コンプトン散乱実験他



PFにおける放射光施設基礎実験



Thermomodule

$\text{Bi}_2\text{Te}_3 + \text{Sb}_2\text{Te}_3$: P-type
 $\text{Bi}_2\text{Te}_3 + \text{Bi}_2\text{Se}_3$: n-type
 emf : 53.34 mV / K

吸収体	直径 (mm)	長さ (mm)	重量 (g)	密度 (g/cm ³)	比熱 (J/gK)	熱容量 (J/K)
A g	29.00	36.00	74.36	10.49	0.233	17.32
	25.00	34.00				
C u	35.00	40.00	218.27	8.96	0.877	191.42
	25.00	34.00				

熱量計の測定範囲

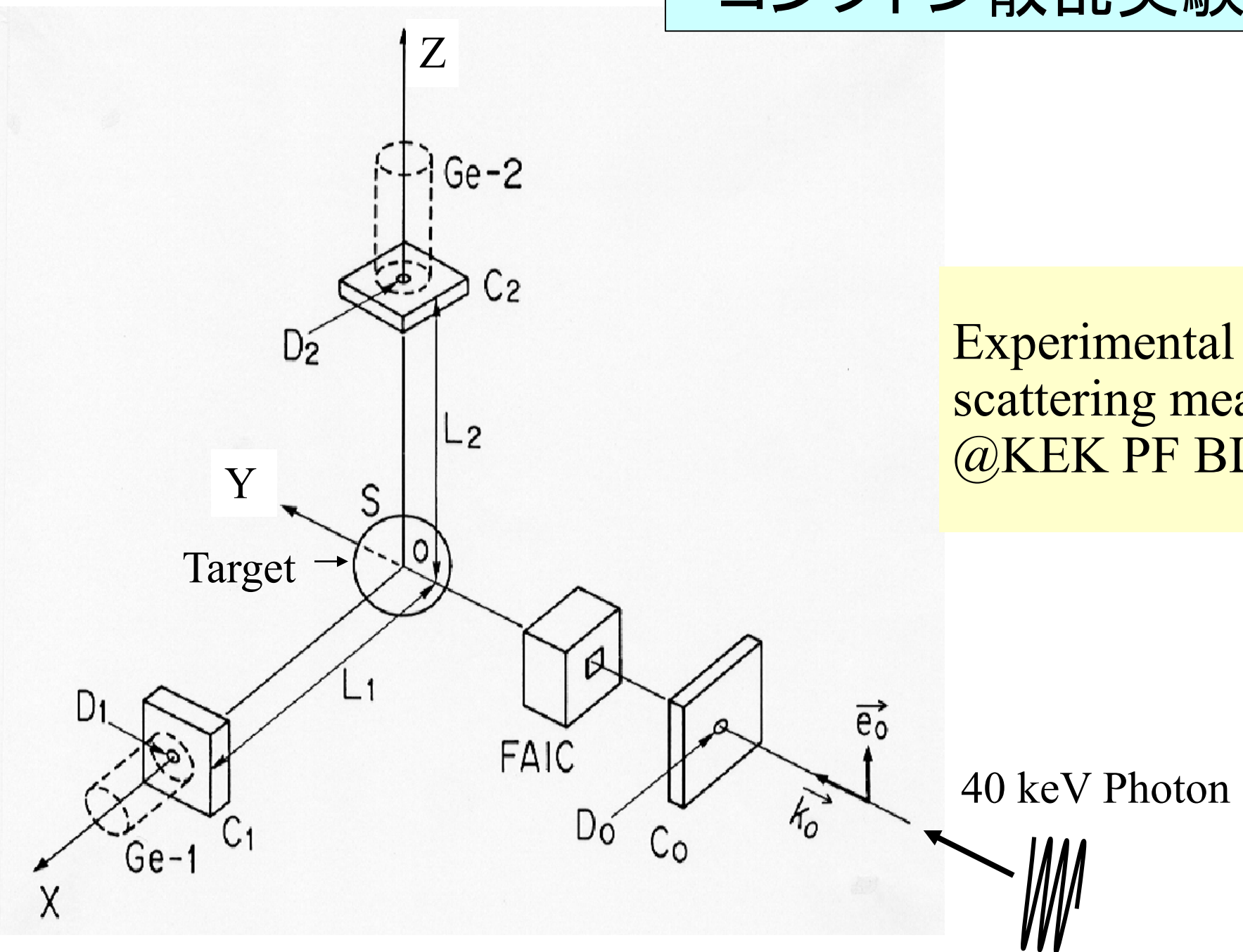
恒温槽型 :

熱量 : > 数 μW
 エネルギー : < 60 keV (Cu)

真空槽型 :

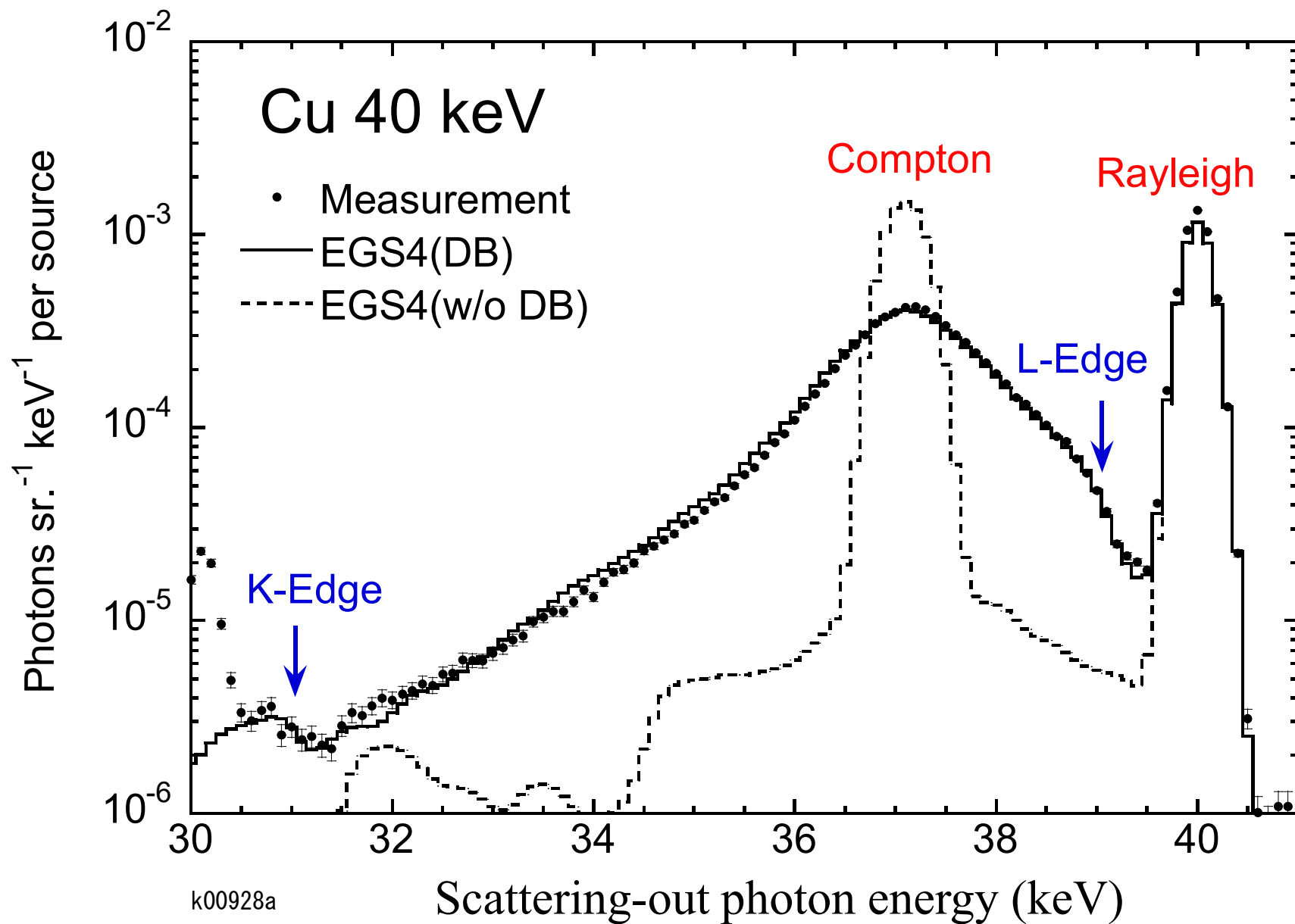
熱量 : > 10 μW
 エネルギー : < 100 keV (Ag)

コンプトン散乱実験



Experimental setup for Compton scattering measurement @KEK PF BL14c

コンプトン散乱実験



Doppler Broadening:

The broadening of spectral lines due to the Doppler effect caused by a distribution of velocities of atoms.

The distribution is caused by thermal motion of atoms in this case.

TIARAにおける加速器遮蔽共同実験

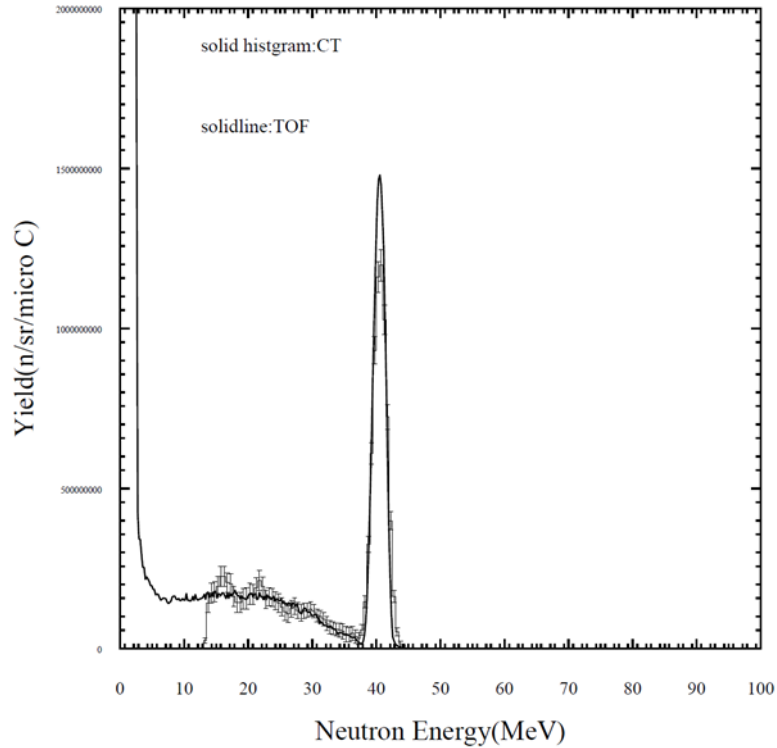
原研・大学プロジェクト共同実験（原研、KEK、理研、東北大、京大、九大）
：1994年から3期15年以上継続

1. 中性子場の確立
2. 深層透過実験
3. ストリーミング実験
4. 断面積測定（二重微分断面積、放射化等）
5. 荷電粒子による中性子生成断面積測定
6. 検出器開発（TEPC等）



TIARA全景

深層透過実験



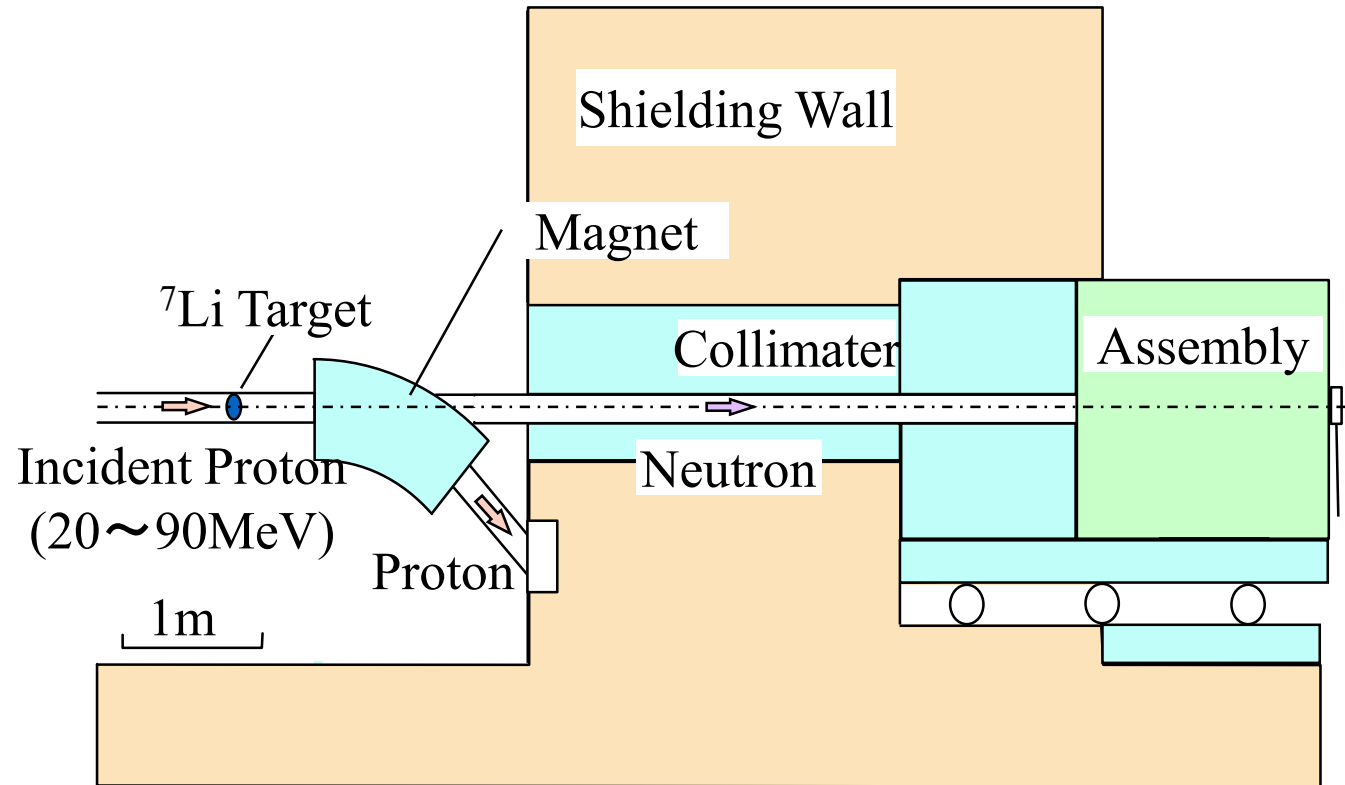
線源中性子スペクトル

陽子エネルギー: 43, 68 MeV

実験体系:

鉄 : 120cmまで

コンクリート: 200cmまで



検出器: BC501A

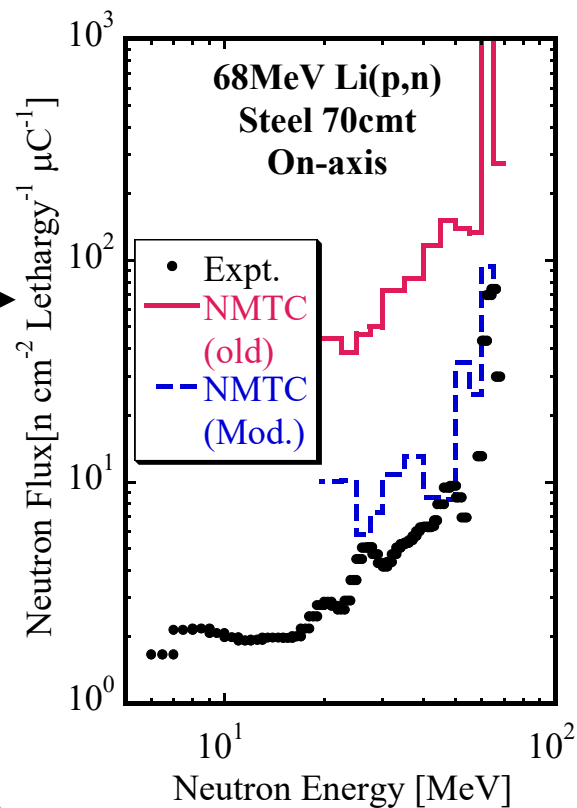
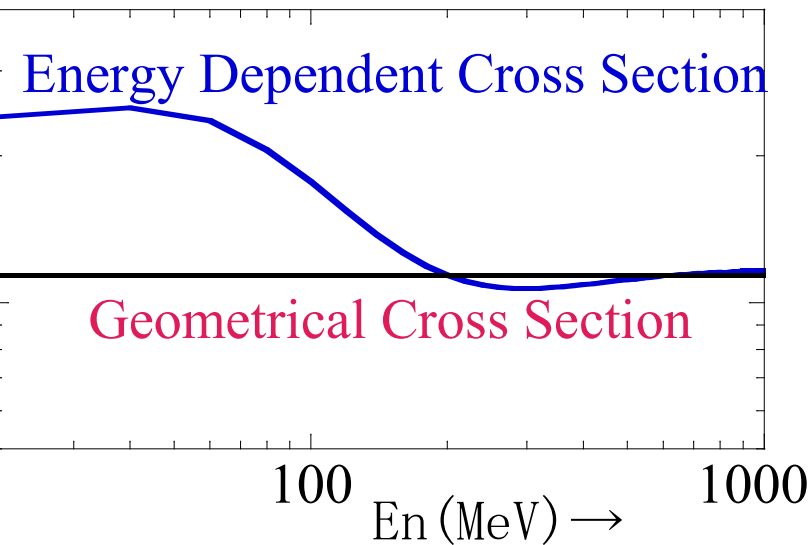
測定: 中性子スペクトル

(軸上、軸外)

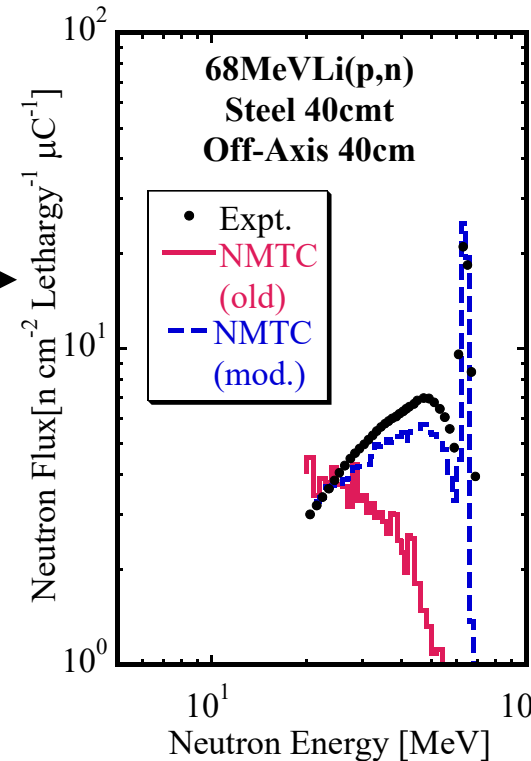
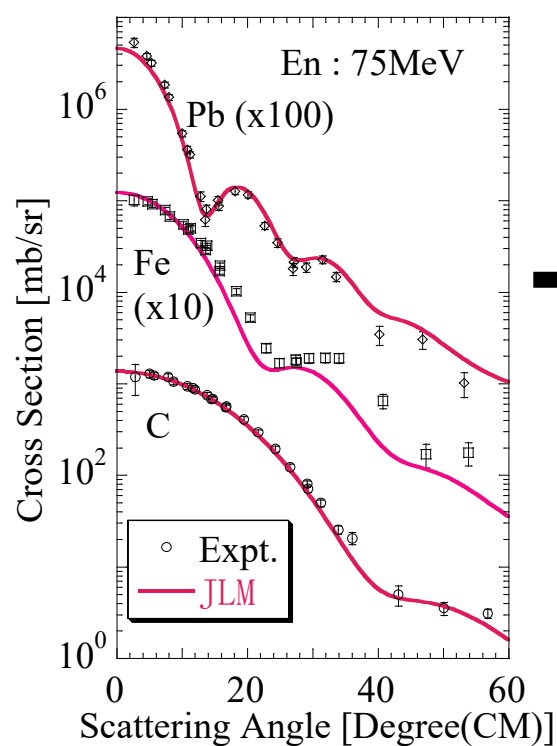
NMTCの改良

エネルギー依存全断面積及び
散乱断面積の導入

- Pearlstein's systematics
- Niita systematics



Bessel関数を用いた角度依存
散乱断面積の導入



$$U(E, \rho) = N_R \cdot V(E, \rho) + N_i \cdot iW(E, \rho)$$

SP-ring8の遮蔽設計(1990～)

1. バルク遮蔽: 前方

Swansonの式: ガス制動放射線の前方指向性を前提

(イ) 中性子²⁾

高エネルギー中性子:

$$H_{nr} = (P/r^2) \times 4.0 \times \exp(-d/\lambda_2) \times 2.0^* \quad (\text{Sv/h})$$

巨大共鳴中性子:

$$H_{nr} = (P/r^2) \times 22.7 \times \exp(-d/\lambda_3) \times 2.0^* \quad (\text{Sv/h})$$

* 中性子の線質係数を従来の2倍とする。

(ロ) 光子²⁾

$$H_{\gamma f} = (P/r^2) \times 10^6 \times \exp(-d/\lambda_1) \quad (\text{Sv/h})$$

(ハ) μ 粒子¹⁾

$$H_{\mu} = \frac{25}{25 + X/X_0} \cdot \frac{X(E_0) - X}{X(E_0)} \cdot H_0 \quad (X(Ee) > X)$$

$$H_{\mu} = 0.0 \quad (X(Ee) \leq X)$$

ここで、 H_0 は遮蔽体の無いときの線量当量率であり、次式で与えられる。

$$H_0 = 8.0 \times 10^{-15} \times J \times E_e \times (1/r^2) \quad (\text{Sv/h})$$

2. バルク遮蔽: 側方光子

Jenkinsの式: 15GeV測定値に基づき、低エネルギー側に補正項を加えた。

光子

a) 点状線源問題⁶⁾

$$H_{\gamma s} = 3.6 \times 10^{-14} \cdot J \cdot E_e \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \left[\frac{133 \cdot \exp(-d/\lambda \sin \phi)}{(1-0.98 \cos \theta)^{1.2}} + \frac{f_1 \cdot 0.267 \cdot \exp(-d/\lambda_1 \sin \phi)}{(1-0.72 \cos \theta)^2} \right] \quad (\text{Sv/h}) \quad \dots (2.7)$$

$(30^\circ < \theta < 130^\circ)$

b) 線状線源問題¹⁰⁾

$$H_{\gamma s} = \frac{3.6 \times 10^{-14}}{r} \cdot E_e \cdot \frac{J}{L} \cdot \int_{\theta_1}^{\theta_2} \left[\frac{\exp(-d \cdot \text{cosec} \theta / \lambda)}{(1-0.98 \cos \theta)^{1.2}} + \frac{f_1 \cdot 0.267 \cdot \exp(-d \cdot \text{cosec} \theta / \lambda_1)}{(1-0.72 \cos \theta)^2} \right] d\theta \quad (\text{Sv/h}) \quad \dots (2.8)$$

$(30^\circ < \theta < 130^\circ)$

SP-ring8の遮蔽設計(1990~)

ビームライン遮蔽

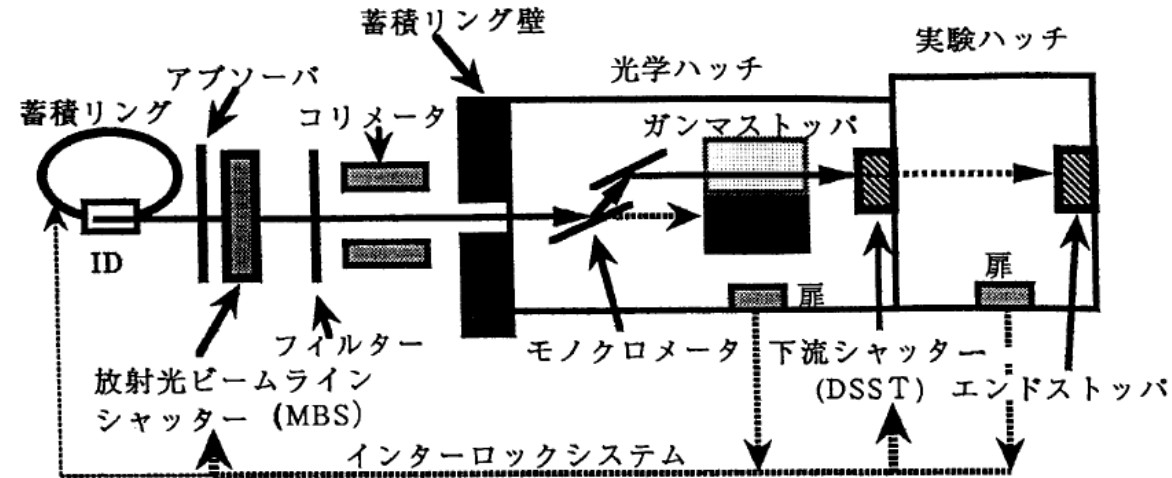


図4.1 主ビーム1系統のみの遮蔽安全設計に係わる放射光ビームライン概念図

STAC-8の概要

挿入光源装置及び偏向電磁石の放射光源スペクトルから、フィルターにおける熱負荷量及び透過スペクトルの計算、光学素子等からの散乱放射光による漏洩線量の計算を直線変更による散乱や再生効果も考慮して、一貫して計算できるコード

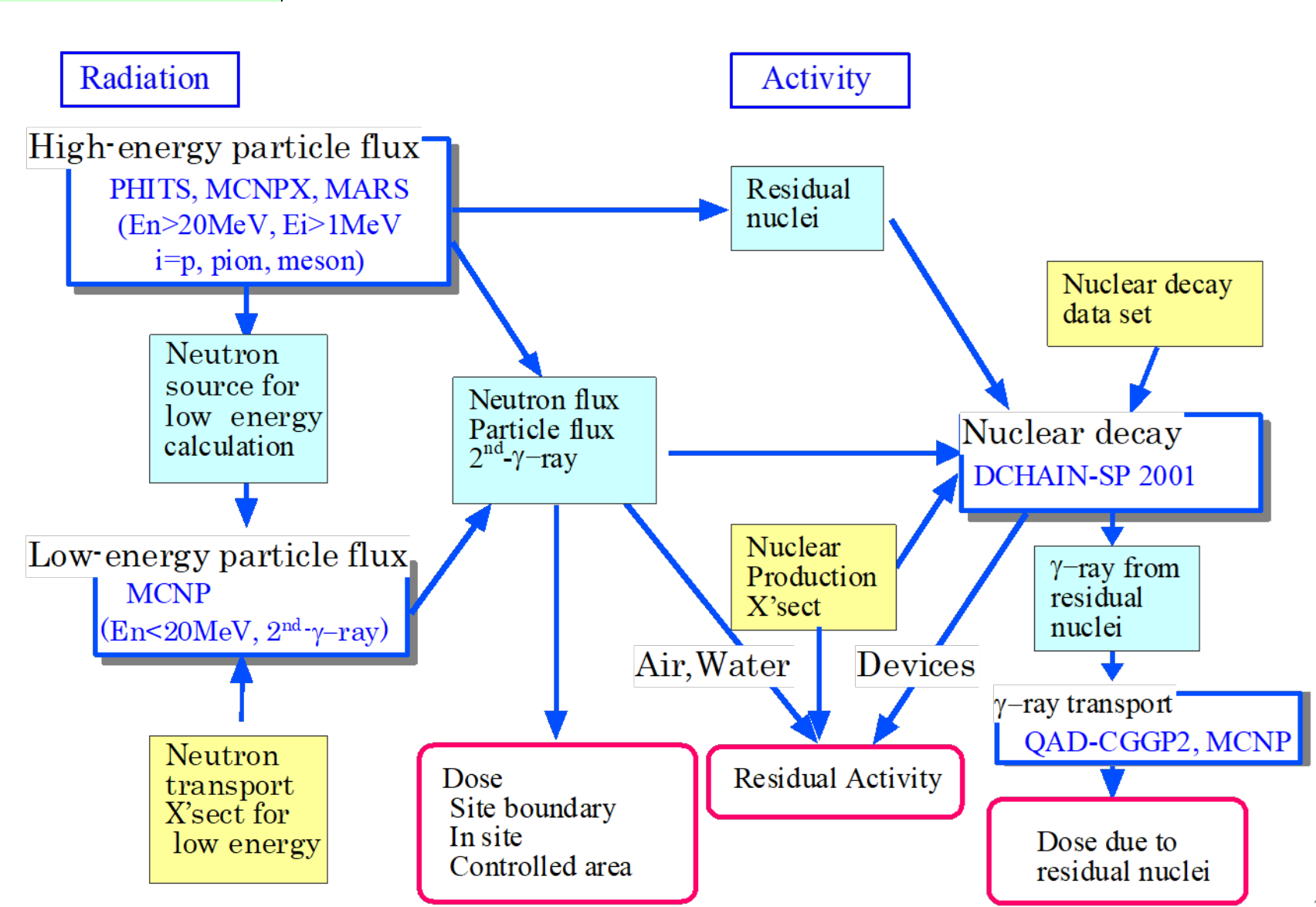
表4.2 放射光遮蔽評価に用いた線源毎の計算手法

線源	計算手法	確認詳細計算
放射光 γ (X)	STAC8	G33-GP2 ITS3.0
蓄積電子ビーム損失 γ 、 n 、 μ	ESRF の式 Jenkins の式 Swanson の式	EGS4 MORSE-CG (HIL086R)
ガス制動放射線 γ 、 n	伴の方法 (KEK) Liu の方法 (SLAC)	EGS4 MCNP4a

J-PARCの遮蔽設計(1998~2006)

簡易計算法と詳細計算法のベストミックス

- 簡易計算法:SSCAT
 - 深層透過
 - ・Moyerモデル [$>1\text{GeV}$]
 - ・Teschの式 [$<1\text{GeV}$]
 - ストリーミング
 - ・中村・上叢の式
 - ・DUCT-III(秦の式)
 - スカイシャイン
 - ・Stapletonの式
- Monte Carlo法
 - ・PHITS, MARS, MCNPX
- パラメータ
 - ・線量換算係数



低放射化コンクリートの使用

低放射化コンクリートの分類

作業環境保全 (停止後数週間) : ^{24}Na

環境保全 (解体廃棄) : ^{22}Na , ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{152}Eu , ^{154}Eu

($T_{1/2}$: 2.6019, 5.2714, 30.07, 13.542, 8.593 yrs.)

^{24}Na に対する基準作成

^{24}Na 当量 $\text{g}/\text{m}^3 =$

$\sum ^{24}\text{Na}$ 生成率 % \times ^{24}Na 生成親核種量 g/m^3

(同位体存在比 %)

^{24}Na 生成率: $^{23}\text{Na}=1$, $^{24}\text{Mg}=0.02$, $^{27}\text{Al}=0.01$, $^{28}\text{Si}=0.002$

$^{23}\text{Na} (n, \gamma) ^{24}\text{Na}$, $^{24}\text{Mg} (n, p) ^{24}\text{Na}$, $^{27}\text{Al} (n, \alpha) ^{24}\text{Na}$, $^{28}\text{Si} (n, X) ^{24}\text{Na}$

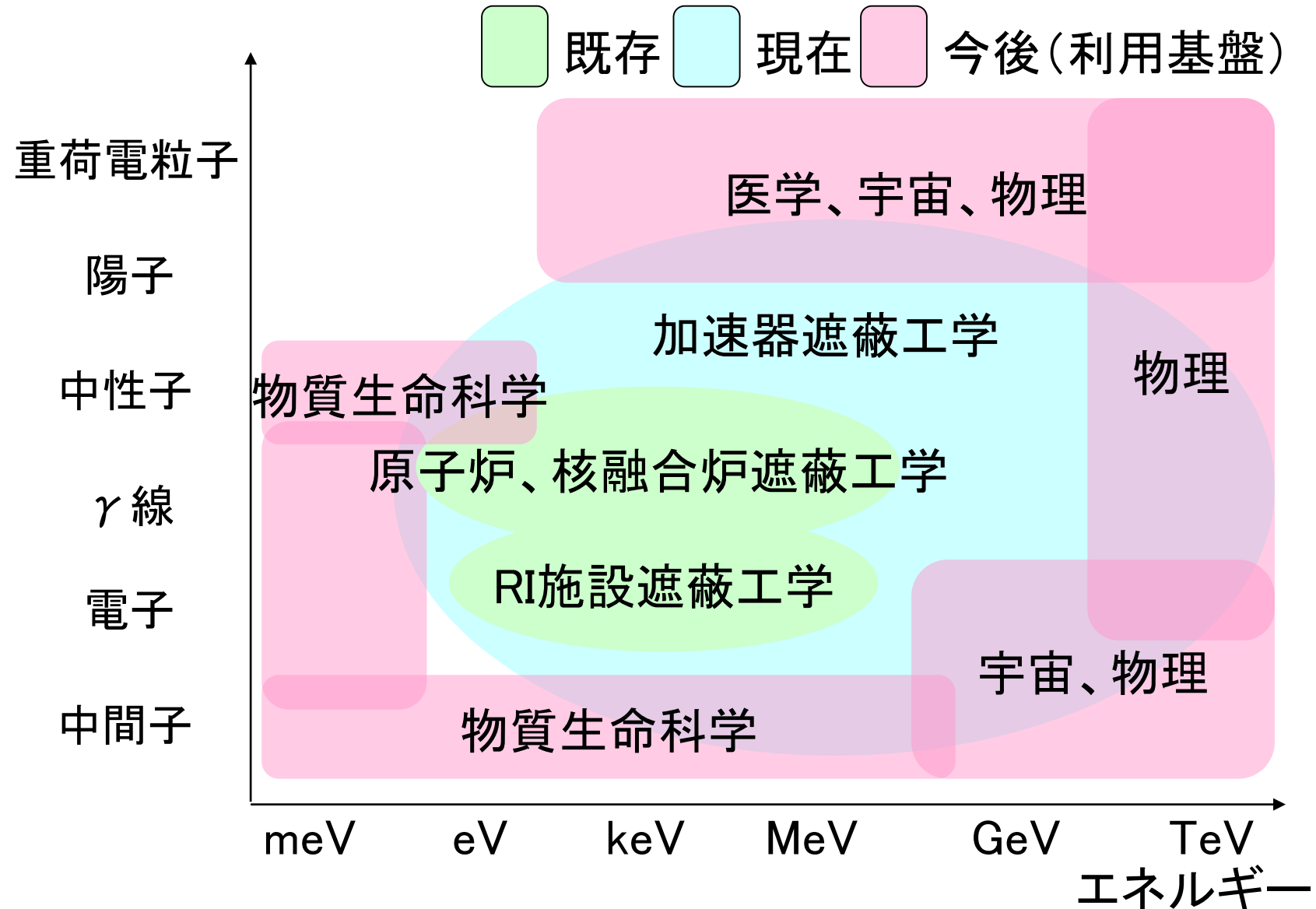
コンクリート骨材(石灰岩)の産地を限定し、 ^{24}Na 生成率を低減し、残留線量を約1桁低減させた。

5. 展開期（2005年～）

原研からJAEAへ（2005年）

放射線工学研究への展開：
より多様な粒子、エネルギーへ

放射線工学研究Gの設立
PHITS開発チーム



コード国産化の必要性

- ・原子力産業は国家基幹産業、エネルギー産業の中核
 - ・エネルギー問題は国家安全保障上最重要課題のひとつ
 - ・対外戦略において基幹産業主要部分の国産化が必須
 - ・国際競争力を持った国のみが、対等な国際協力に加担可能
- ・炉心設計、遮蔽設計、安全解析など放射線挙動解析は原子力産業の根幹
- ・現状として、放射線挙動解析技術の大半は外国製
- ・国家基幹産業を維持するため、放射線挙動解析技術の国産化が肝要

放射線挙動解析技術の維持管理のために、

- ・維持管理体制の整備(利用の普及、品質保証)
- ・優秀な後継者の育成

MCNPの維持管理費: 20人年x30年=約60億円

PHITSの開発費: 約1億円(10年間)(J-PARC予算の一部)

: 日本の技術は米国の資金の上に成り立っている。

放射線利用技術への適用

- ・放射線利用技術のGDPにおける経済効果は、原子力エネルギー産業のほぼ10倍
- ・放射線利用技術の医療、工業、宇宙産業における著しい進展
 - ・医療用加速器施設建設数の急速な増加、治療効果の評価精度向上の必要性
 - ・J-PARC、SPring-8、X-FELなど大型加速器施設建設及び産業利用推進
 - ・宇宙実験施設における実験開始等、宇宙開発の進展

放射線利用技術進展のためには、科学的知見に基づく放射線挙動解析が必須



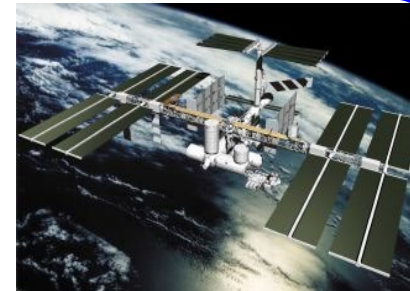
原子力施設
(許認可、輸出)



加速器施設
(照射効果等)



医療分野
(治療、Mo等)



宇宙開発分野
(人体影響等)

放射線解析技術とその利用分野



計算コードは、物理的知見の集大成であり、知識データベースである。



中性子利用プラットフォームの構築(案)

