

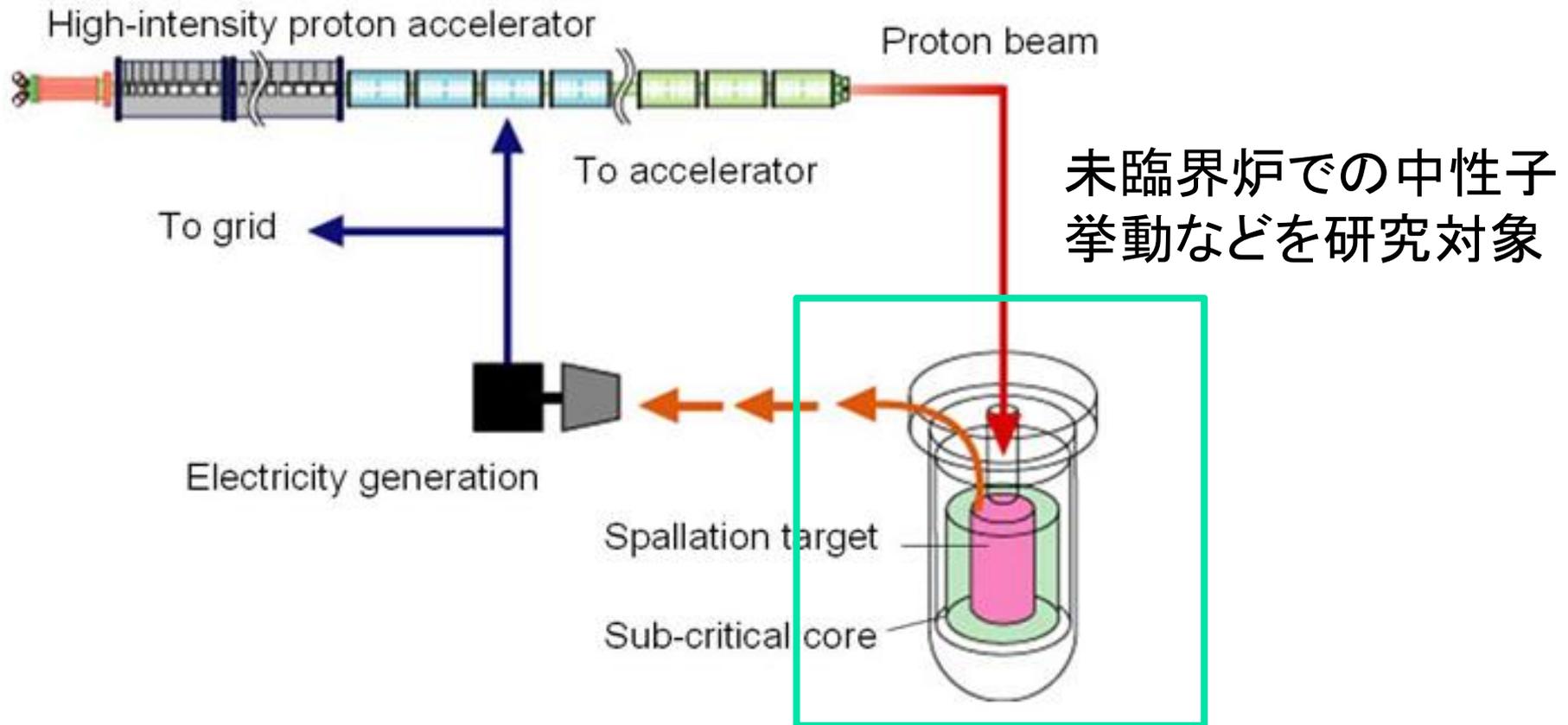
大阪大学でのADS研究

工学研究科 環境・エネルギー工学専攻

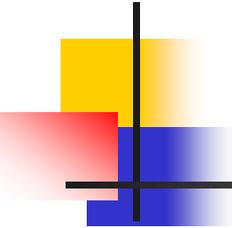
北田 孝典

kitada@see.eng.osaka-u.ac.jp

ADS:加速器駆動未臨界(システム、炉)



加速器駆動未臨界炉システム概念図



ADSの利用

エネルギー増倍・中性子増倍

未臨界炉で10倍～100倍に増倍、未臨界度に依存

核変換による廃棄物処理

長寿命放射性廃棄物(MA, LLFP: $T_{1/2}$ ～ 万年)

⇒ 短寿命放射性廃棄物($T_{1/2}$ ～ 数10年)

核変換による核燃料生成

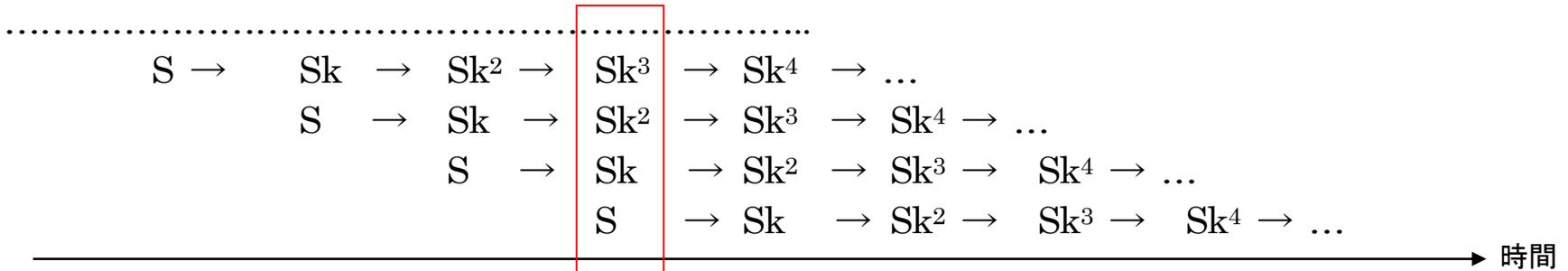
$^{238}\text{U}(99.7\%) \Rightarrow ^{239}\text{Pu}$ 、 $^{232}\text{Th}(100\%) \Rightarrow ^{233}\text{U}$

エネルギー増倍・中性子増倍

未臨界の臨界からの深さ(\approx 実効増倍率 k_{eff} の評価)

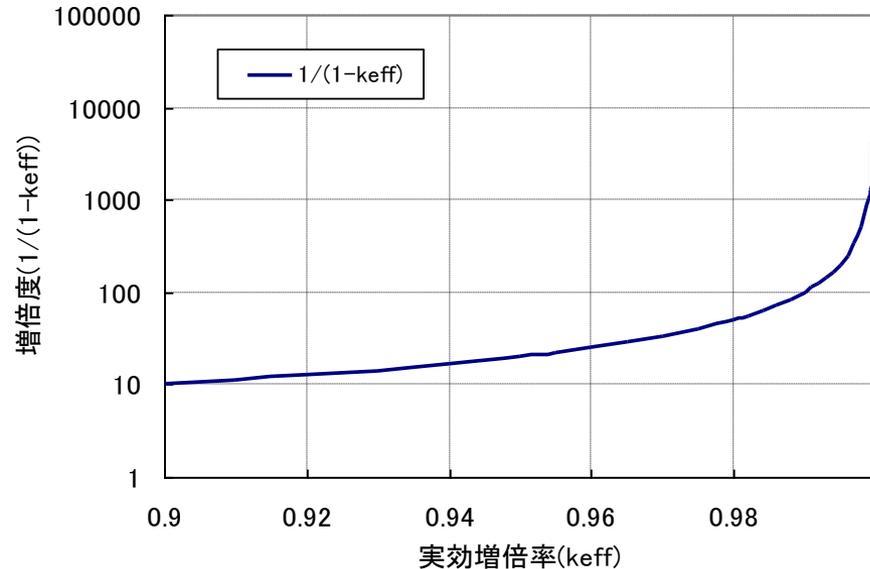
中性子を介して、エネルギー増倍 \Rightarrow 体系内の中性子数が重要
原子炉内の中性子数は、核分裂によって増倍(核分裂連鎖反応)
 \Rightarrow 体系の**実効増倍率: k_{eff}** によって**増倍度: M** が変化

未臨界原子炉内の中性子数は、中性子源強度 S を用いて



ある瞬間での中性子数は $\frac{S}{1 - k_{eff}}$ \Leftrightarrow 増倍度 $M = \frac{1}{1 - k_{eff}}$

増倍度

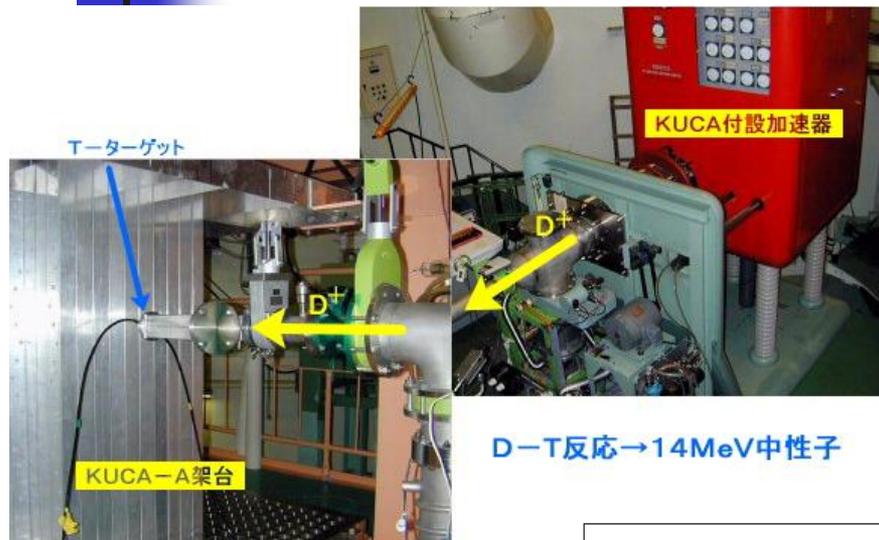


未臨界体系内の中性子数は、増倍度によって大きく変化

⇒ k_{eff} (~ 1) ではなく $1-k_{\text{eff}}$ (~ 0) の精度検証

⇒ KURRIで実験 & 未臨界計算ベンチマーク

KURRIで実験

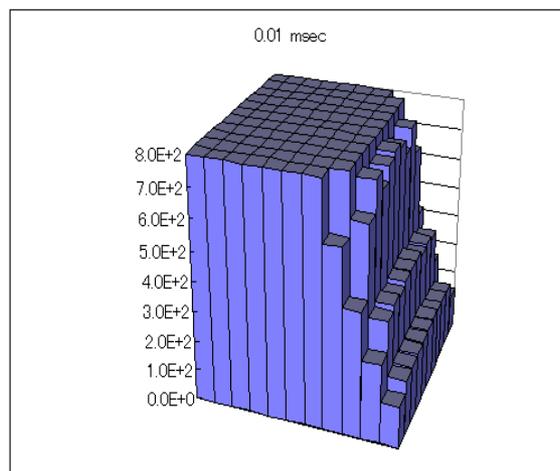
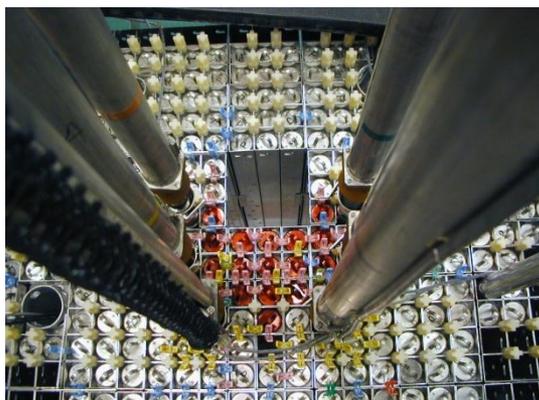


KUCA既設加速器でADS予備実験

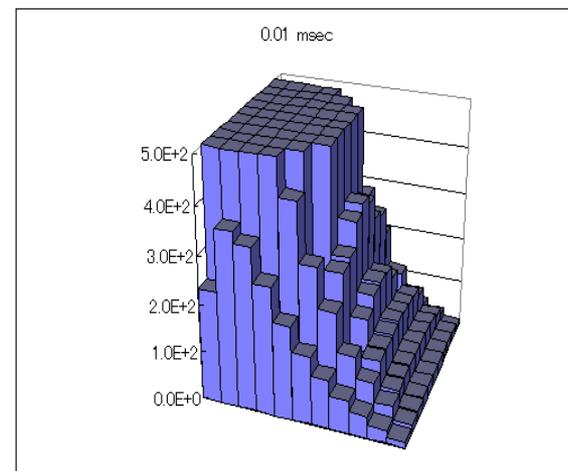
DT中性子源(14MeV)を未臨界炉に打込み

- ・未臨界度: $k_{\text{eff}}=0.95\sim 0.98$
検出器位置依存性の検討

- ・中性子束減衰特性
未臨界度・エネルギー依存性の検討



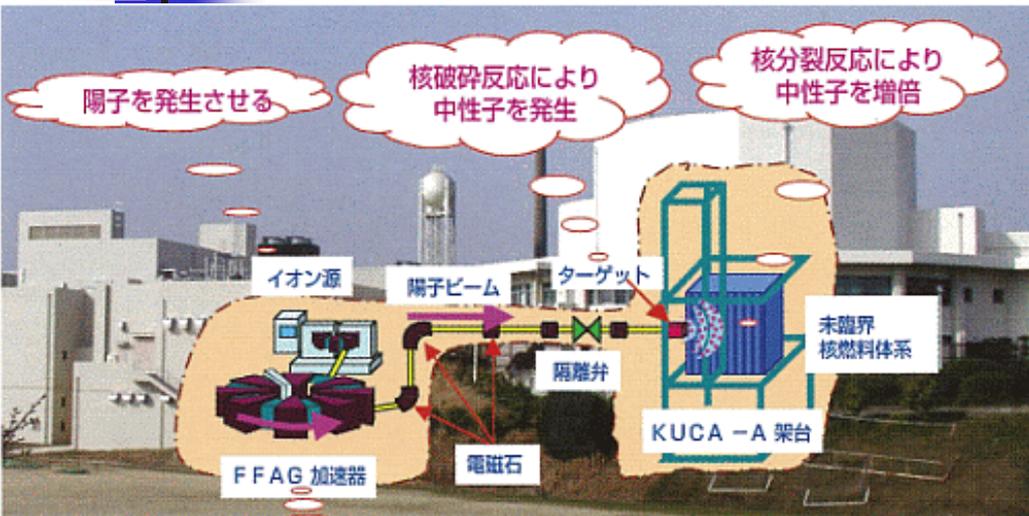
20 [MeV] ~ 1 [eV]



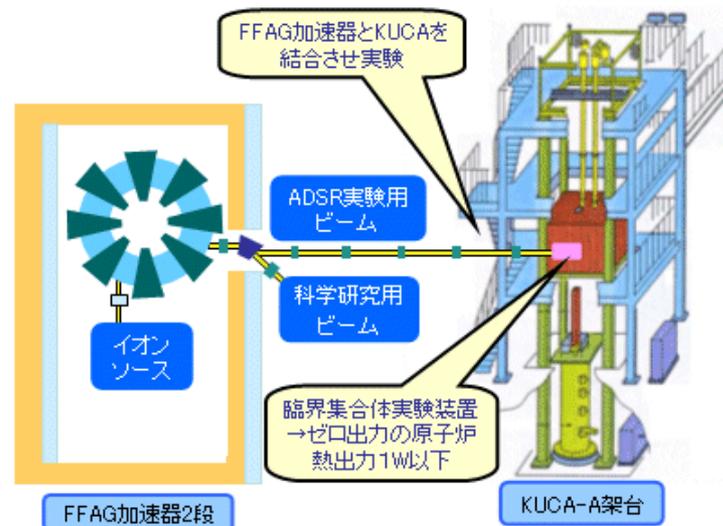
1 ~ 1e-5 [eV]

KURRIでの加速器増強 (陽子)

未臨界炉基礎実験概念図



陽子を150MeVのエネルギーまで加速



Proton

未臨界炉心への打込みで
2.5~150MeV、1 μ A が目標
(現状は1nA)

ターゲットはW

未臨界計算ベンチマーク

臨界体系

固有値計算(k_{eff})

中性子束の大きさは不定
空間分布は固有モード

$1\sigma(k_{\text{eff}}) = 0.1\% \Delta k$ ほど

未臨界体系

固定源計算

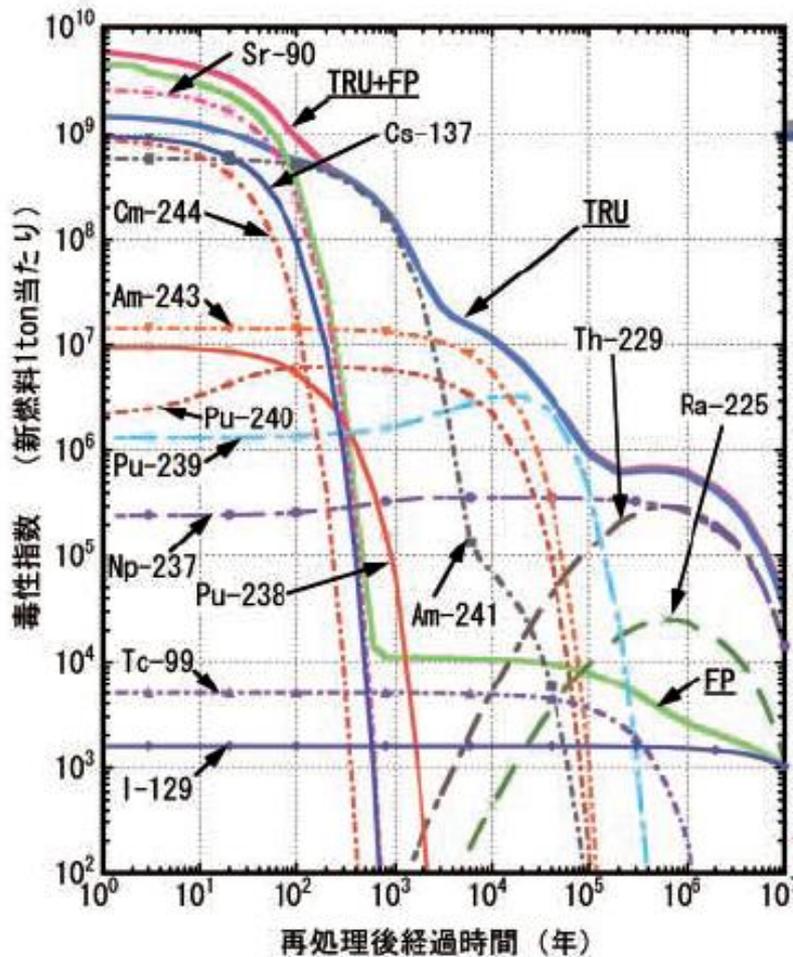
中性子束の大きさは固定
ソース位置・未臨界度で分布変化
 $M = 1/(1 - k_{\text{eff}})$ でソースが増倍
 k_{eff} は固有値計算結果と異なる

$1\sigma(M) = k_{\text{eff}}$ によって大きさ変化



(国際)ベンチマーク問題への提案

核変換による廃棄物処理



高レベル廃棄物の放射性毒性

・**毒性指数**: 含まれる核種の質量をそれぞれの年摂取限度で除した数値

・再処理後100年はFPが支配
100年以降はMAが支配

半減期: Sr-90 = 28年
Cs-137 = 30年
Np-237 = 214万年
Am-241 = 433年
Am-243 = 7370年

☆MAを減らせば、長期にわたるリスクが低減できる。

J-PARC
MAを短半減期FPに
(エネルギー生成有り)
⇒
短半減期FP(Sr、Cs)
の更なる短半減期化
検討
(エネルギー生成無し)

^{55}Cs 、 ^{38}Sr の崩壊系列



赤字: stable

FP以外は $T_{1/2}$ が短い核種が多い
⇒核変換で $T_{1/2}$ が短い核種に

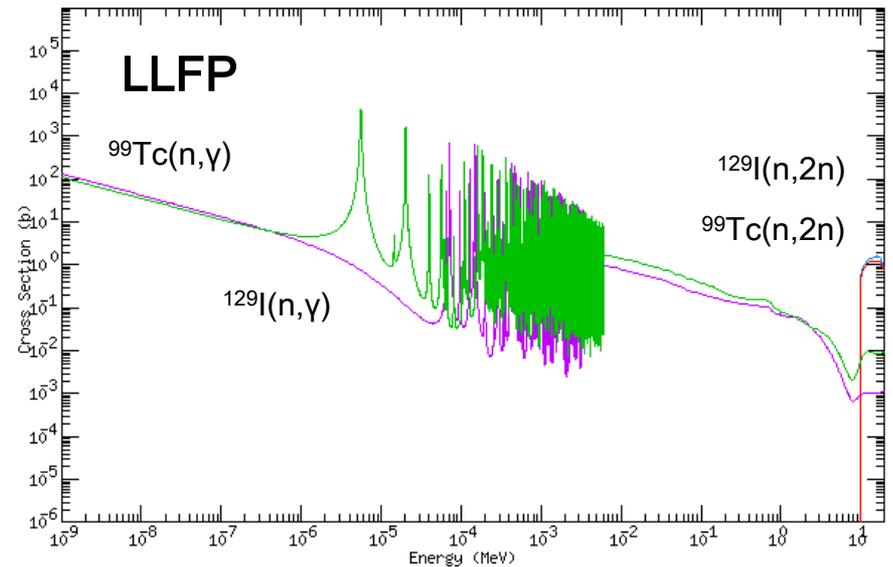
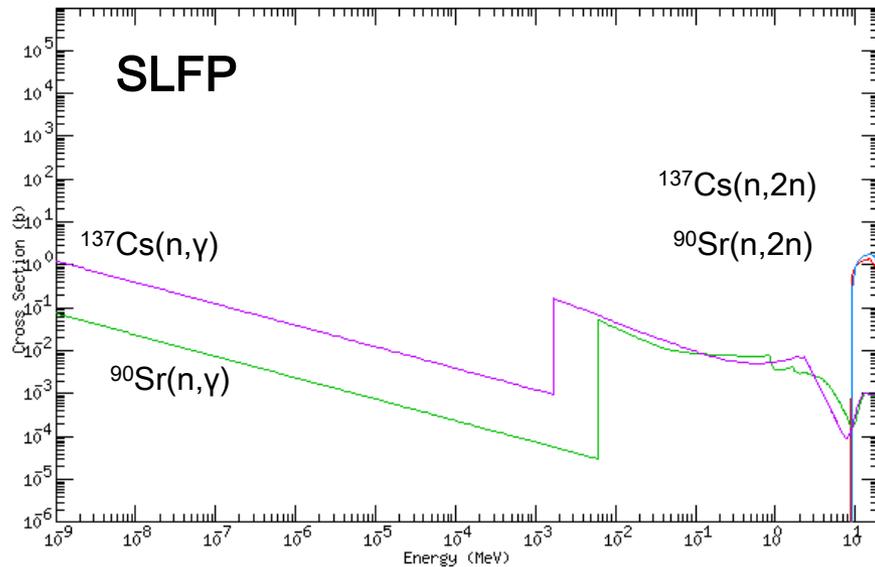
^{86}Sr

^{87}Sr

^{88}Sr



SLFP, LLFPの中性子反応断面積

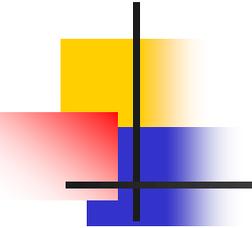


Cs, Srは

中性子捕獲断面積がLLFPより2-3桁小さい
(n,2n)断面積は10MeV以上で数バーン(だけ)

⇒ **14MeV中性子**でどれだけ核変換するか?

2e+15n/s/cm² × 1000日 で 5[g/cc]の半分程だけ (n,2n)で核変換(計算)
核破碎中性子なら?(未検討)



今後の予定

KURRIでproton-ADS実験

核破碎中性子源による未臨界度・中性子束分布測定
空間・エネルギー・時間

ビームが弱い。(KUCA建屋の遮蔽弱く増強困難)

未臨界炉を対象とした計算ベンチマーク

1% Δk ($k_{\text{eff}}=0.99$) \sim 10% Δk ($k_{\text{eff}}=0.90$)あたりまで
従来の原子炉炉心計算手法(固有値計算)の固定源計算
への適用性・不確かさ評価