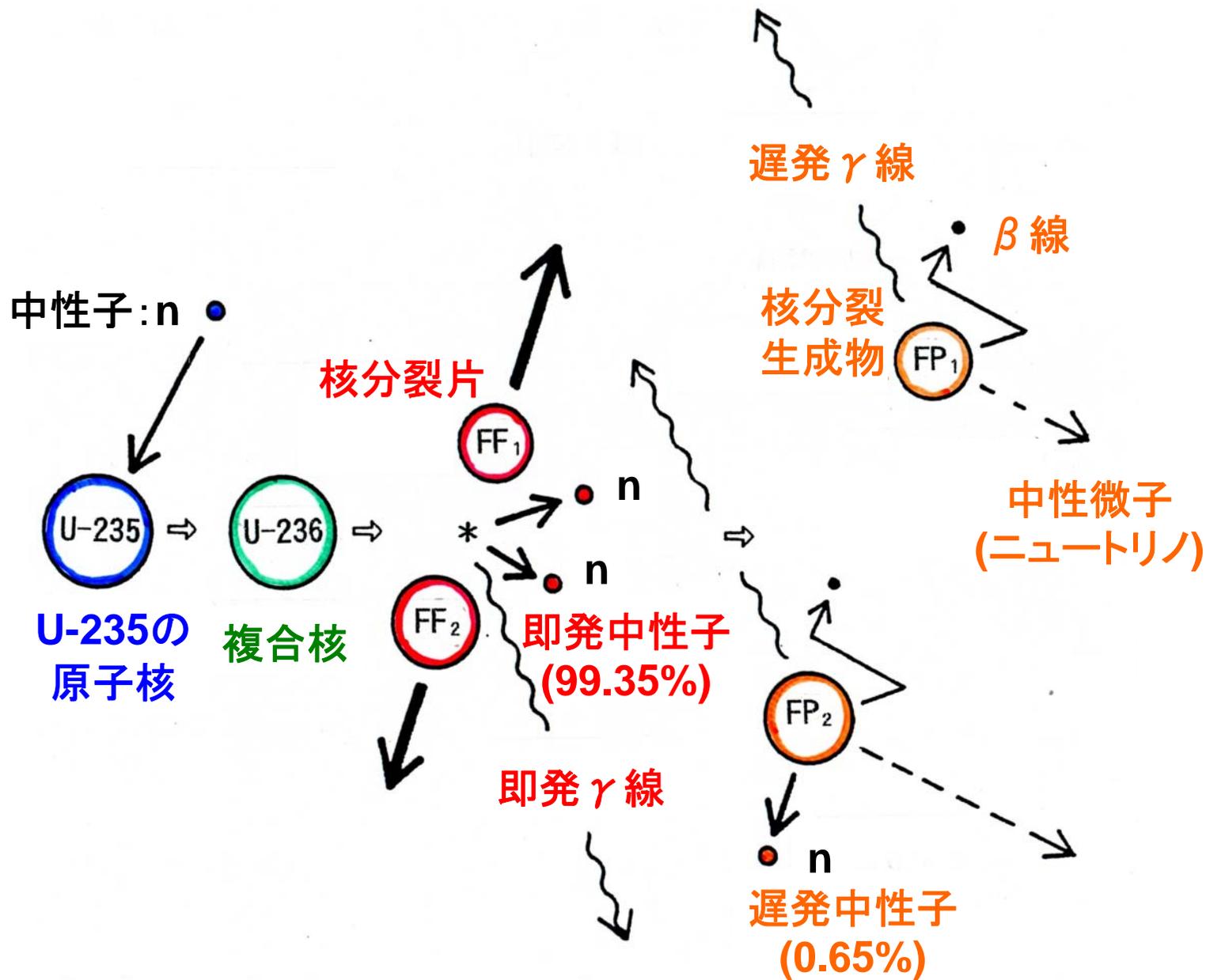


第23回関西蔵前懇話会 (2011.11.16)

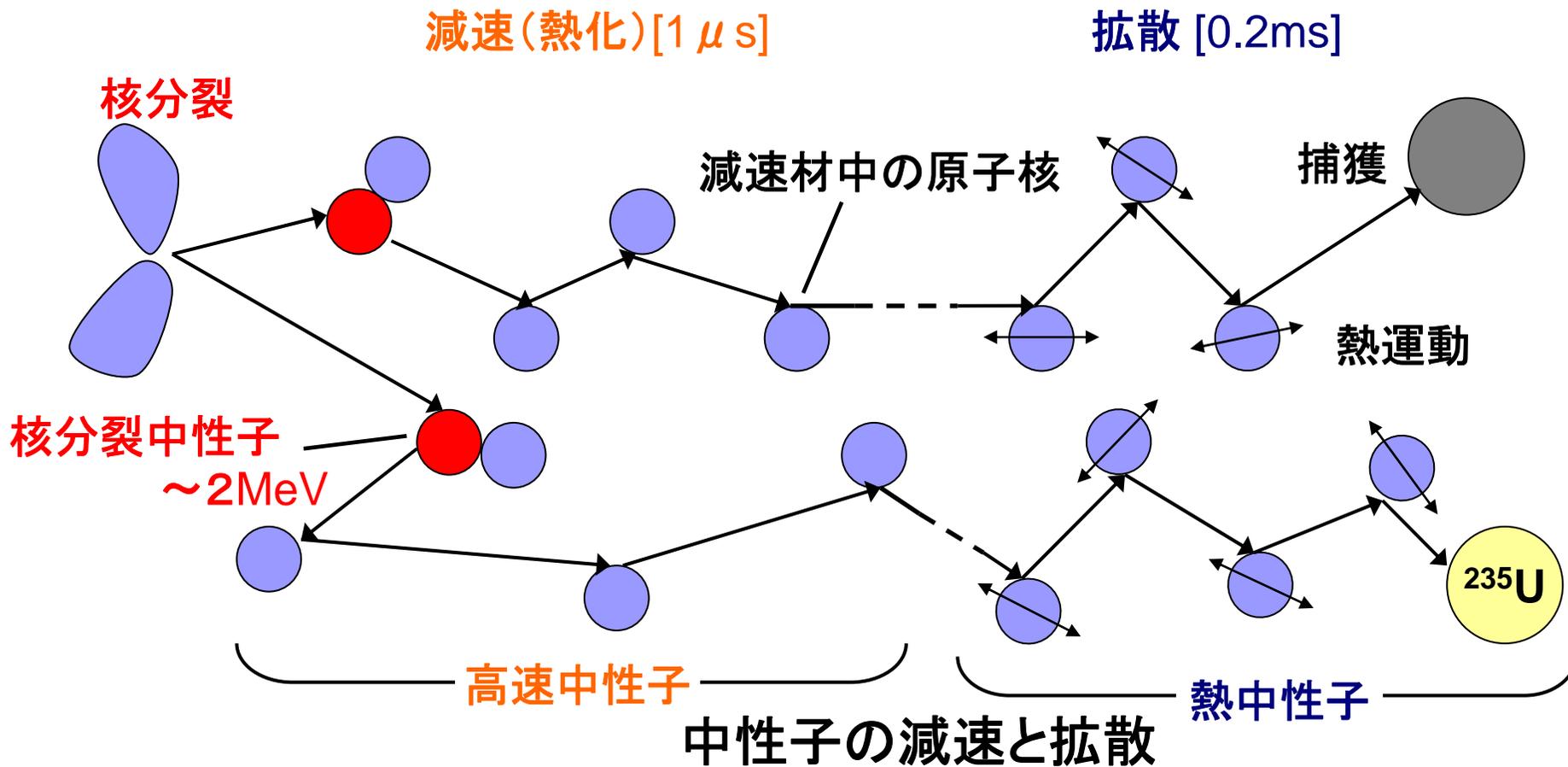
原子炉の物理・・・ 核分裂の連鎖反応と臨界

核分裂反応で発生する即発中性子と遅発中性子、
中性子の減速、連鎖反応、即発臨界と遅発臨界

鶴田 隆雄

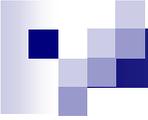


U-235 の核分裂反応



核分裂中性子が熱中性子になるまでの速さとエネルギーの変化

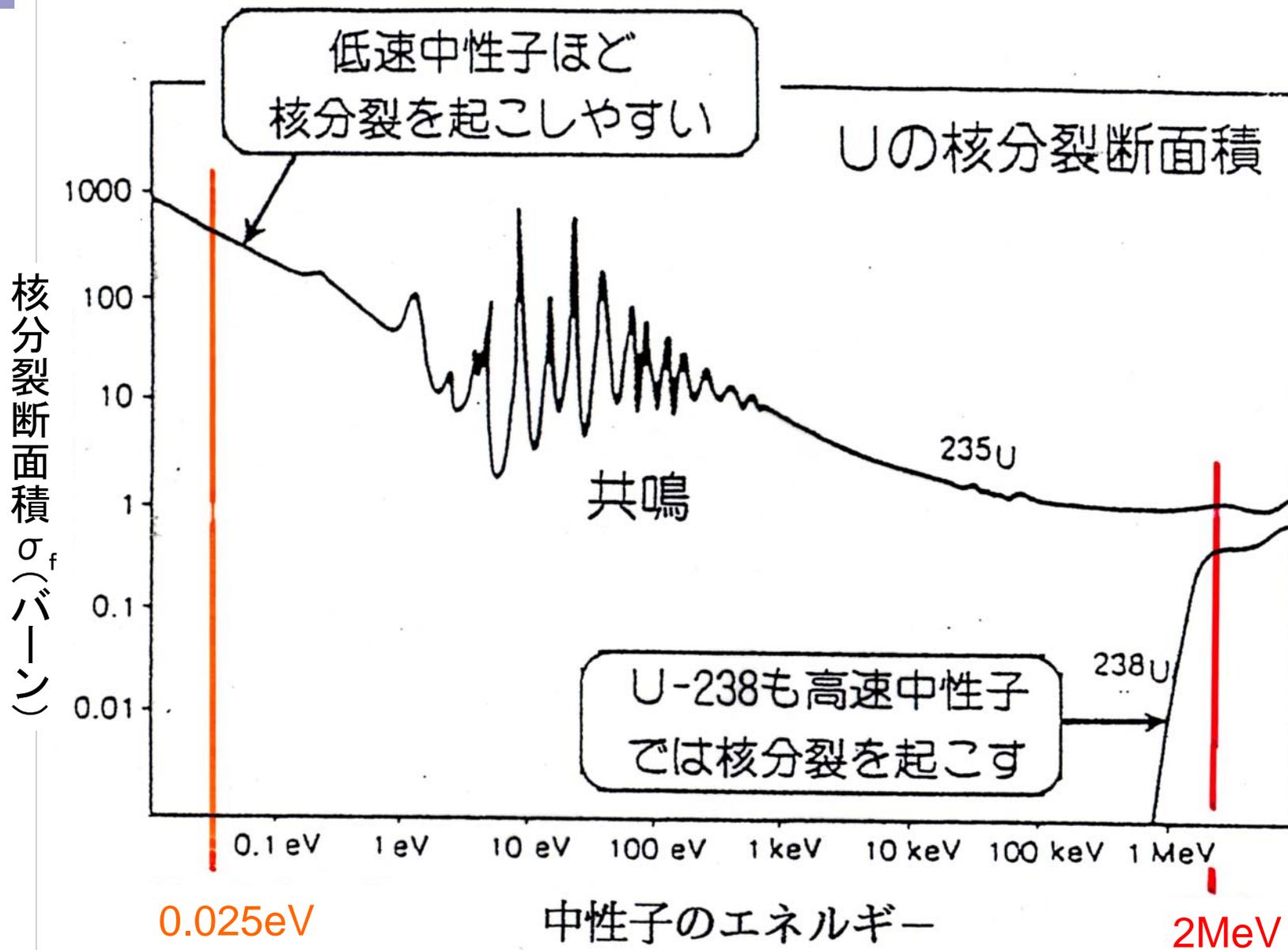
	核分裂中性子		熱中性子		
速さ	$\sim 2\text{万 km/s}$	\Rightarrow	$1/10^4$	\Rightarrow	2.2 km/s
エネルギー	$\sim 2\text{MeV}$	\Rightarrow	$1/10^8$	\Rightarrow	0.025eV



まとめ「原子炉の中の中性子の振る舞い」

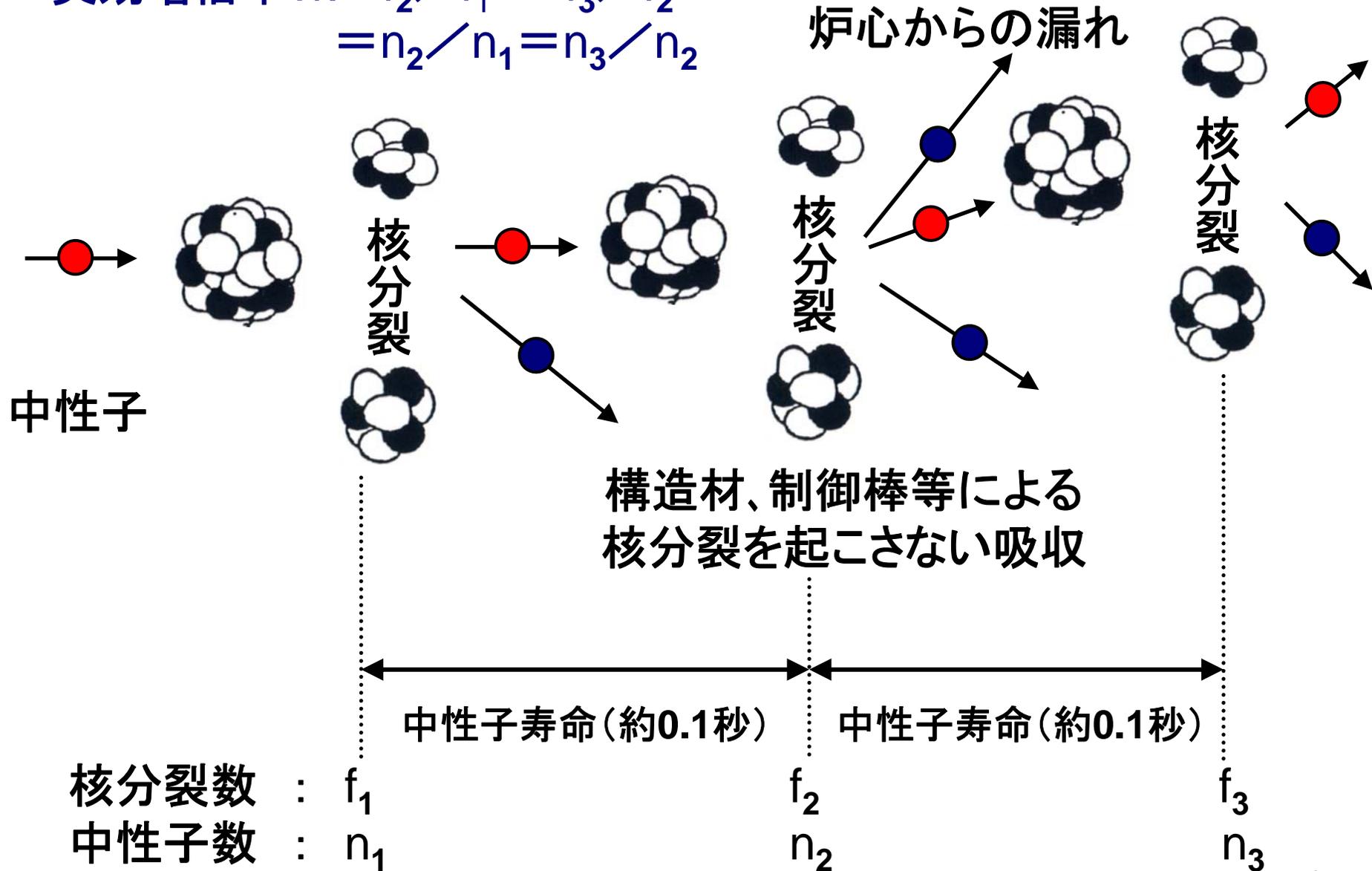
核分裂で生じた中性子は、エネルギーの高い「高速中性子」である。高速中性子は、炉内の「減速材」の原子核と衝突しながら、しだいにエネルギーを失い、エネルギーの低い（低速の「熱中性子」）になる。

中性子は、多くの場合、熱中性子になってからU-235の原子核に吸収され次の核分裂を起こす。

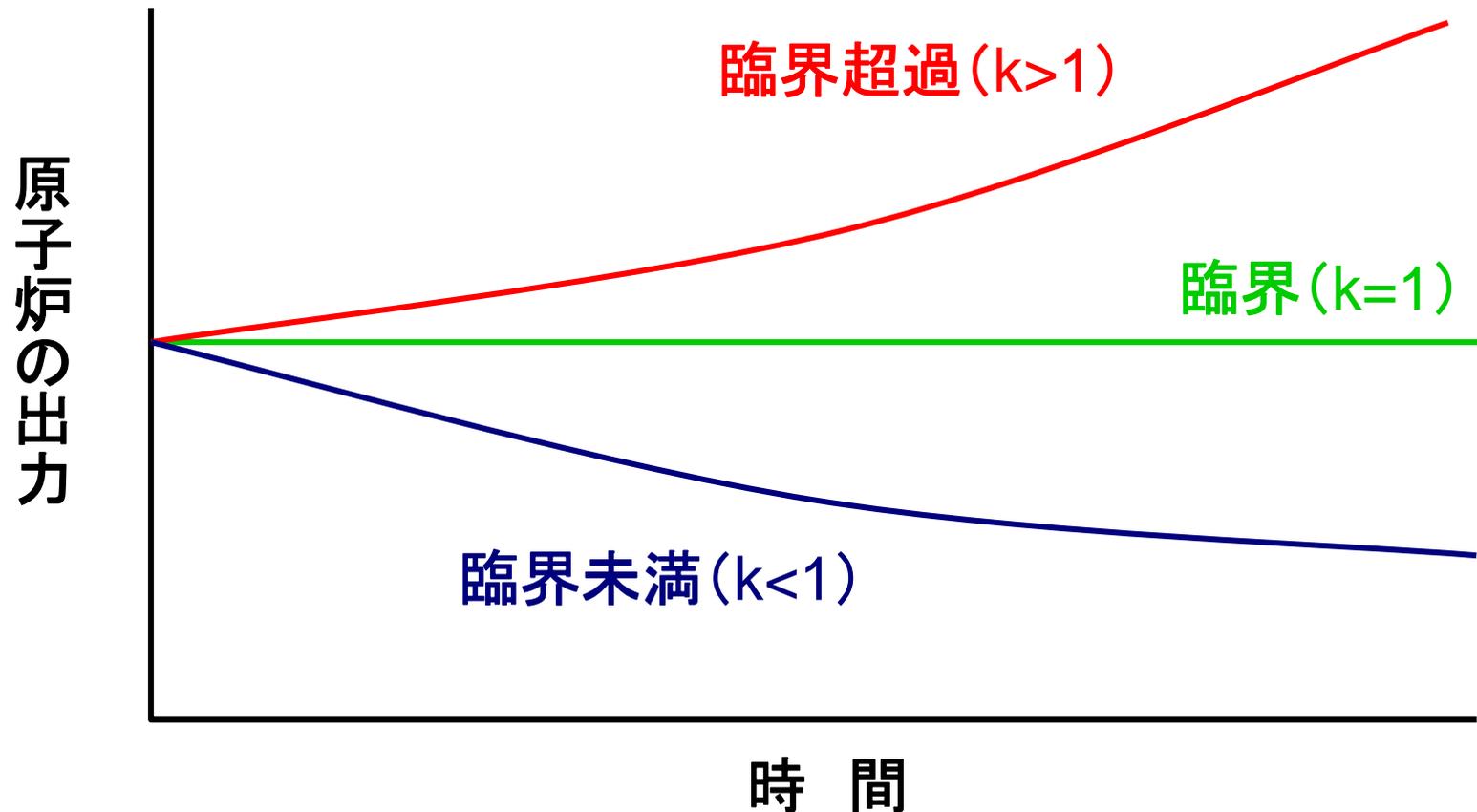


中性子のエネルギーと核分裂断面積の関係

実効増倍率: $k = f_2 / f_1 = f_3 / f_2$
 $= n_2 / n_1 = n_3 / n_2$



$k > 1$ のとき、この状態を「**臨界超過**」といい、炉の出力は上昇してゆく。
 $k = 1$ のとき、この状態が「**臨界**」で、炉の出力は一定である。
 $k < 1$ のとき、この状態を「**臨界未満**」といい、炉の出力は下降してゆく。



実効増倍率と原子炉の出力の変化



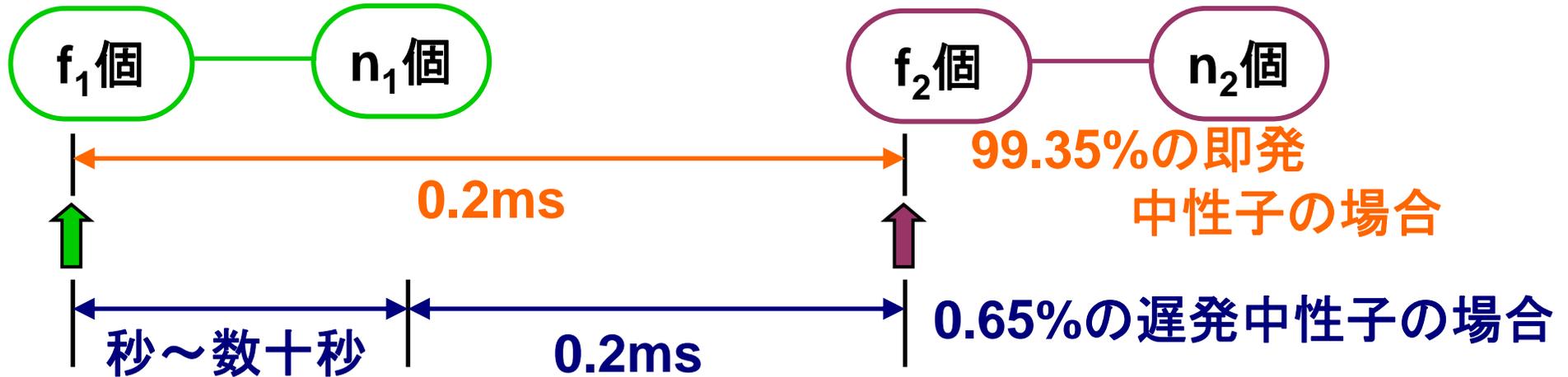
原子炉の「臨界」とは

中性子源からの寄与が無く、 $k=1$ のとき、炉内の中性子の数は、時間が経過しても増えも減りもしない。この状態を「臨界」という。

臨界状態にある原子炉では、単位時間毎の核分裂の数が一定、すなわち、出力は一定となる。

実効増倍率、臨界、臨界未満、臨界超過

核分裂(中性子発生) ⇒ 減速 ⇒ 拡散 ⇒ 核分裂(中性子発生) ⇒



$$\text{実行増倍率} = k = f_2 / f_1 = n_2 / n_1$$

- $k < 1$: 臨界未満
- $k = 1$: 臨界
- $k > 1$: 臨界超過

核分裂から次の核分裂の平均時間は、

即発中性子の場合 : 約0.0002秒

遅発中性子の存在を考慮すると : 約0.1秒

即発臨界と遅発臨界

$$\text{実効増倍率} = k = f_2 / f_1 = n_2 / n_1$$

核分裂中性子のうち、99.35%が即発中性子、0.65%が遅発中性子

$1.0065 < k$ ①即発中性子のみによる増倍が可能

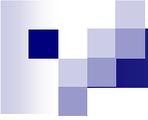
$1 < k < 1.0065$ ②遅発中性子の寄与があって増倍が可能

$k < 1$ ③臨界未満、連鎖反応は収束に向かう

①の状態を「即発臨界」という、原子炉の出力は極めて急速に上昇

②の状態を「遅発臨界」という、原子炉の出力は緩慢に上昇

一般に、原子炉は即発臨界にならないように制御する。

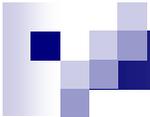


まとめ「原子炉の臨界」

1回の核分裂で新たに生まれる高速中性子の数は平均2.4個である。2.4個のうち、丁度1個が次の核分裂を起こすように出来れば、単位時間当たりの炉内の核分裂数は、時間が経過しても、増えも減りもしないことになる。

この状態を「臨界」という。臨界状態にある原子炉では、単位時間当たりの核分裂の数が一定、すなわち、出力が一定となる。

研究炉における核分裂の数の調節は、通常、中性子をよく吸収する物質で作られた制御棒を炉心から出し入れすることによってなされる。



まとめ「遅発中性子の存在の重要性」

即発中性子：全発生中性子の 99.35%
遅発中性子： // 0.65%

核分裂から次の核分裂の平均時間は、

即発中性子のみの場合 : 約 0.0002 秒

遅発中性子の存在を考慮すると : 約 0.1 秒

わずかの割合の遅発中性子が、核分裂から次の核分裂までの平均時間を長くして原子炉の制御を容易にするという、重要な役割を演じている。