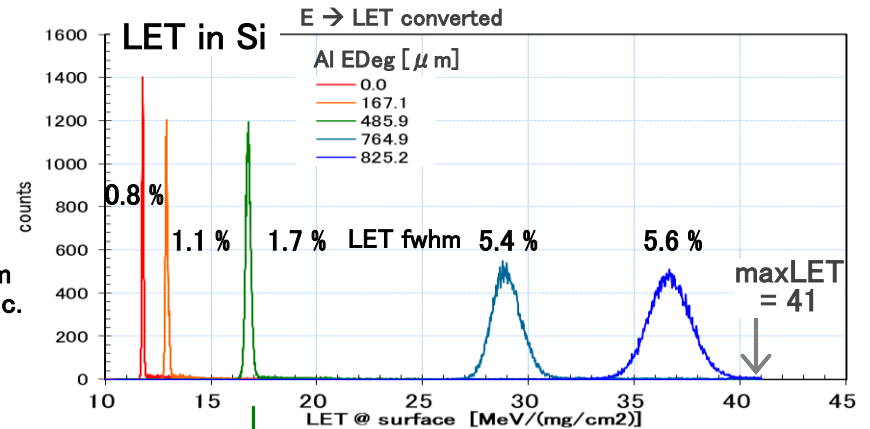
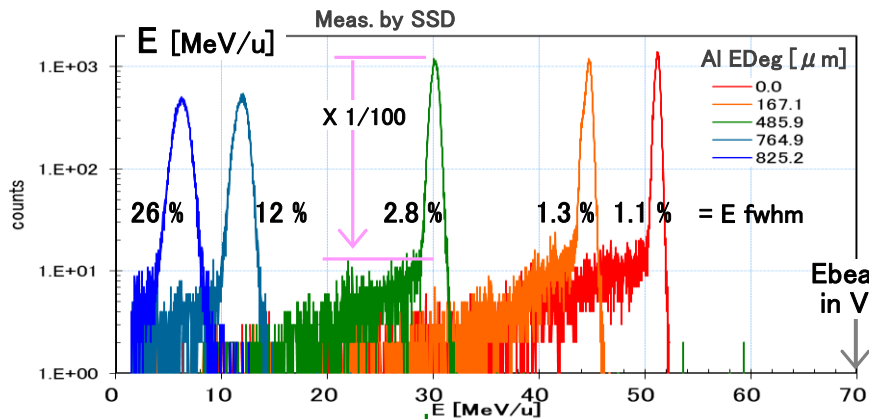


## 核反応生成物の ビームへの混入について

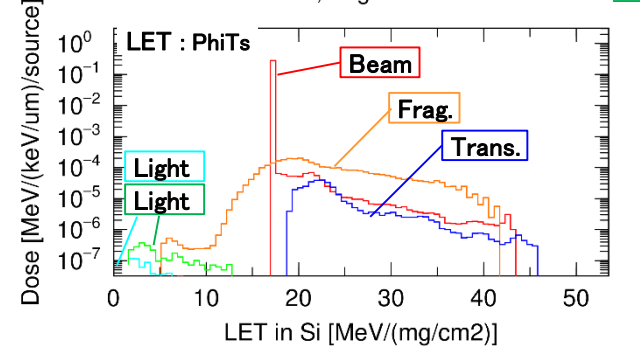
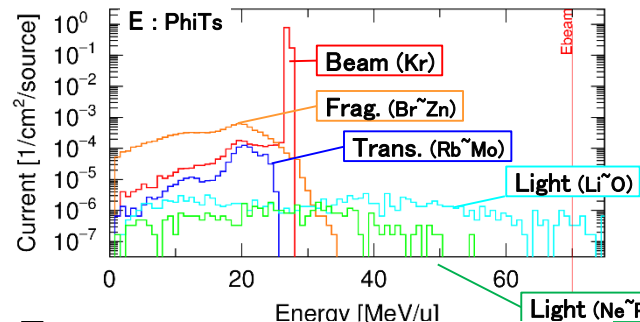
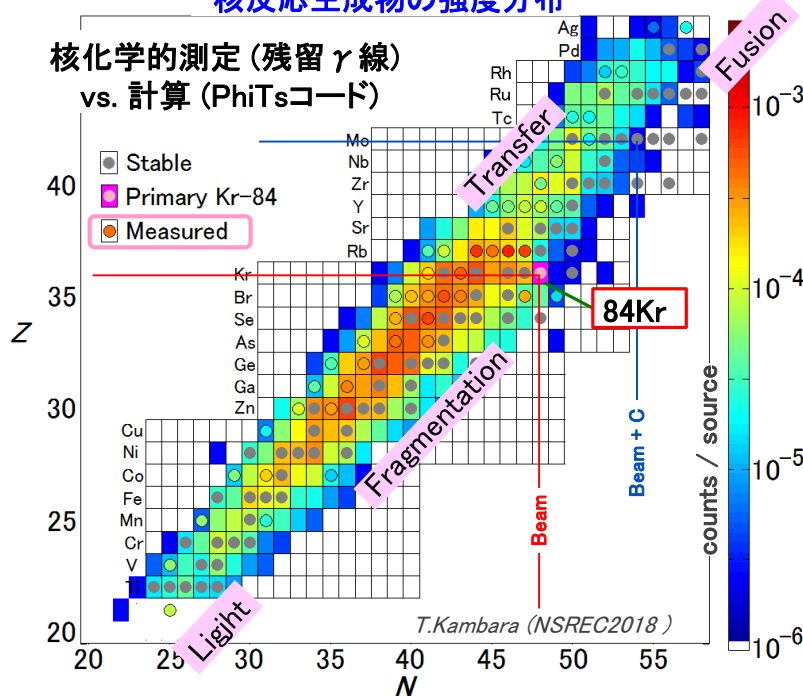
- 神原、NSREC(IEEE) 2018, July, Hawaii ポスター発表  
DOI: 10.1109/NSREC.2018.8584278
- 吉田、IAEA Tech. meeting 2018, Dec., Wien

より抜粋(日本語版)



EDeg = 586 μm (Al) の場合

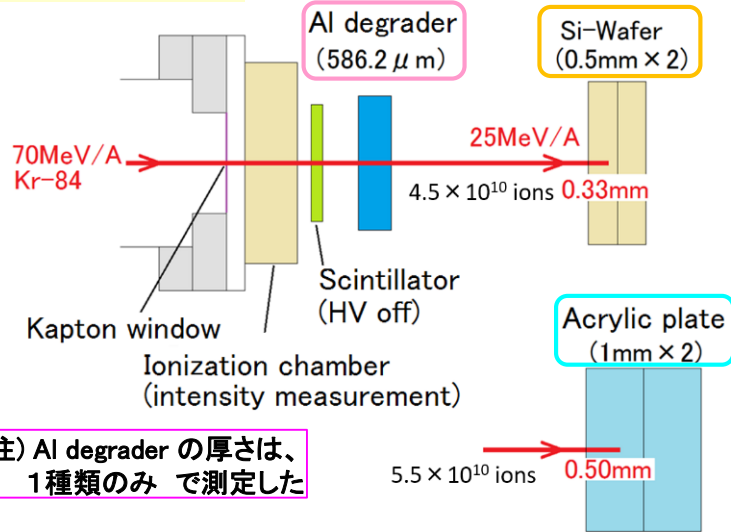
### 核反応生成物の強度分布



- Fragmentation 核反応  
ビーム核が破砕
- Transfer 核反応  
標的核から  
ビーム核へ  
核子が移行
- Light Fragments  
ビーム核や  
標的核の  
核破砕片や反跳
- Fusion 核反応  
ビーム核と  
標的核の核融合

不純物核種  
Kr ビーム ≲ 1%

実測セットアップ



注) Al degrader の厚さは、1種類のみで測定した

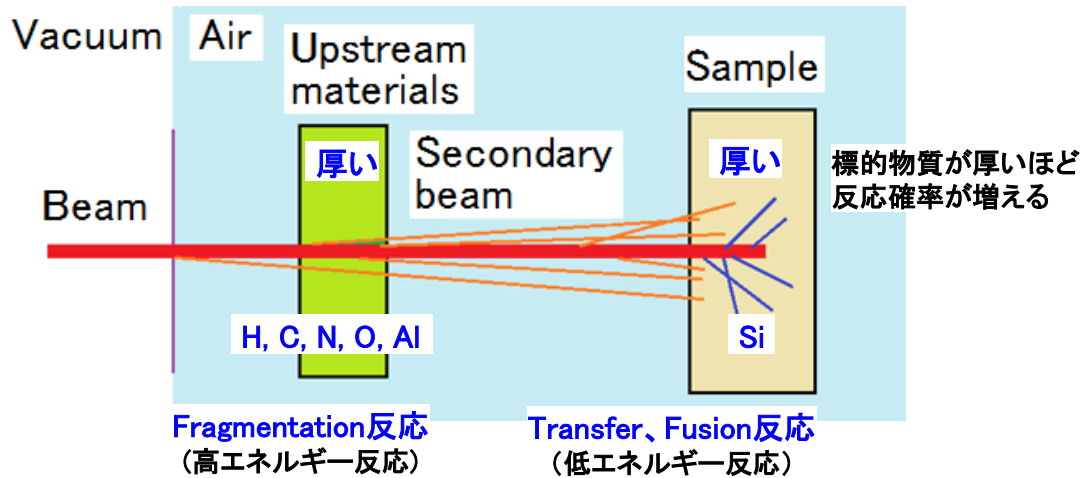
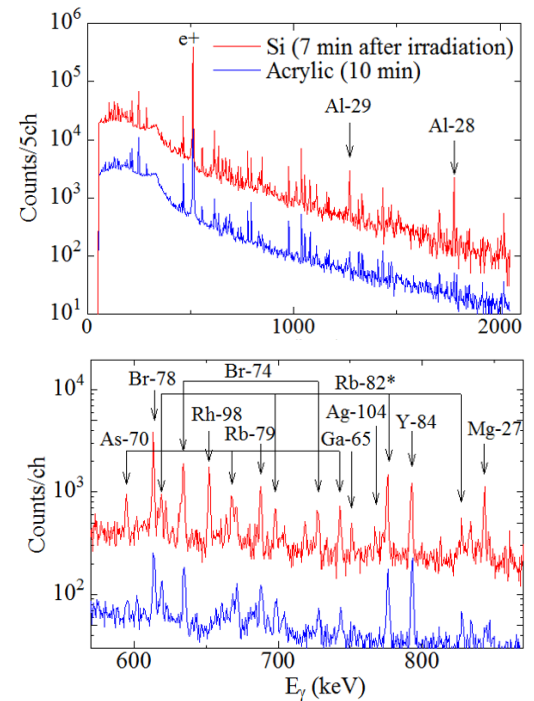
2種類の照射物質で比較してみる

Si にインプラント  
→ 半導体中での核反応もある

Si以外にインプラ  
→ 上流起因の核反応と区別を試みた

インプラント板中の残留γ線放出核種をGe検出器測定で同定

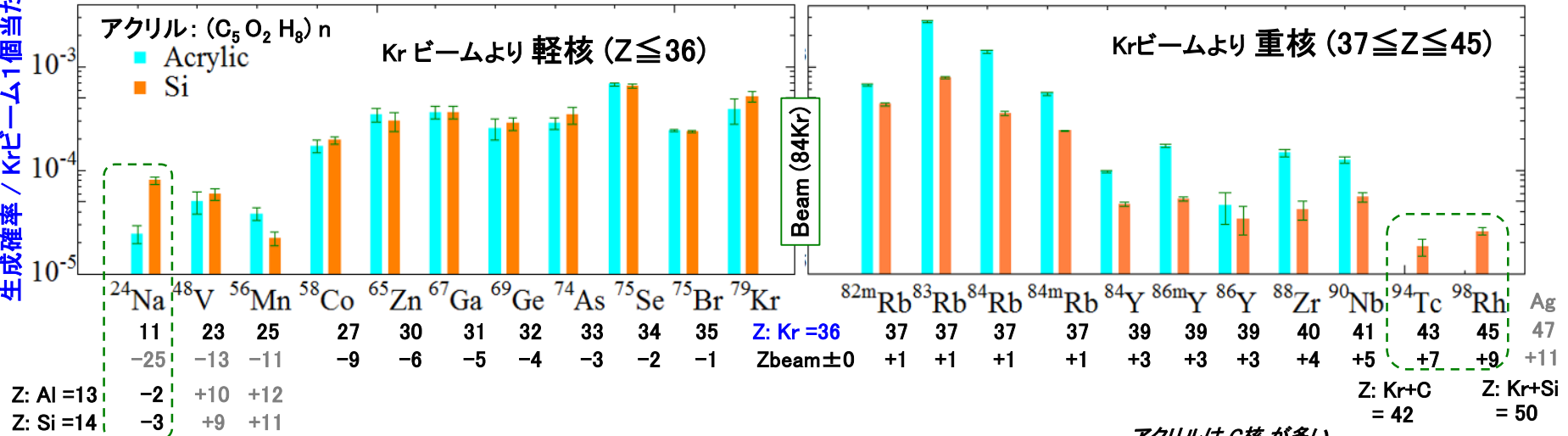
照射時間: ~10min  
γ線計測: 7min後~3ヶ月後迄  
残留核種の Lifetime 分析も行い、長寿命核種のみを同定した。





生成確率 / Krビーム1個当たり

観測された 残留  $\gamma$  線放出核種の 生成確率 (アクリル vs Si) 代表的な核種



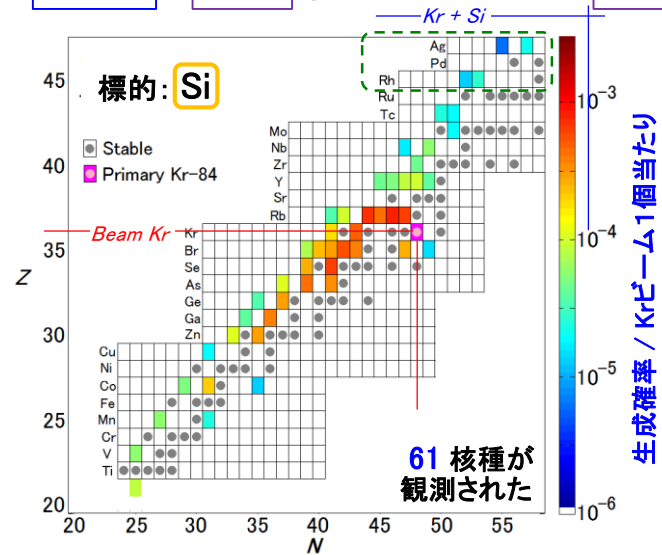
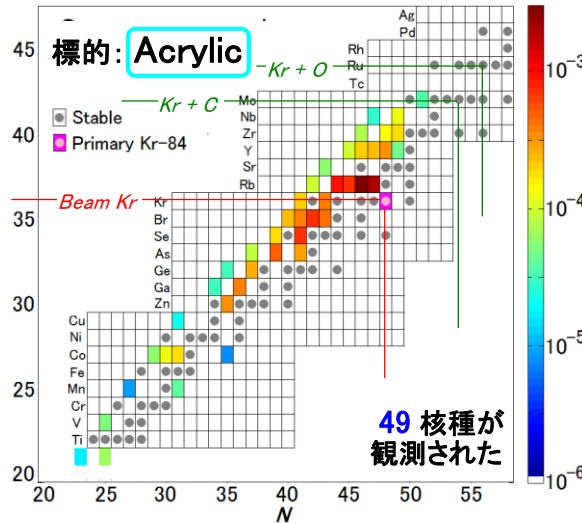
Krから遠い軽核  
→ 標的核の **Transfer** 等?

軽核では、Si とアクリルの差異は少ない  
→ 上流の厚い Al 板等で生成された  
**Fragmentation** と推定される

アクリルは C核が多い  
Kr近傍の重核では、同等~アクリルが多め  
→ 上流で生成されたビーム核の **Transfer** や **Fusion** 等?  
Si 標的のみで観測  
→ Krビーム + Si標的の **Fusion** 等?

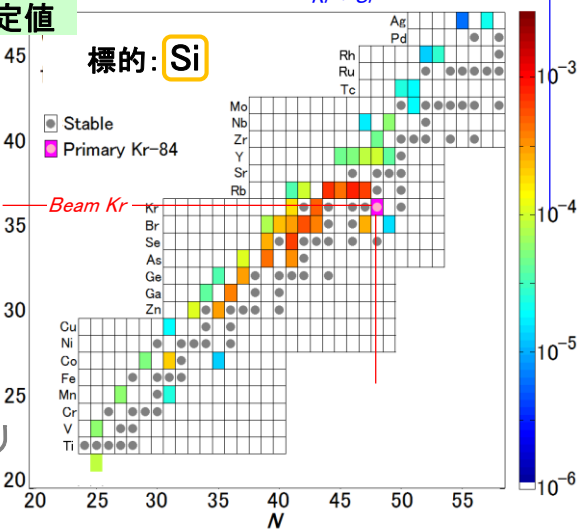
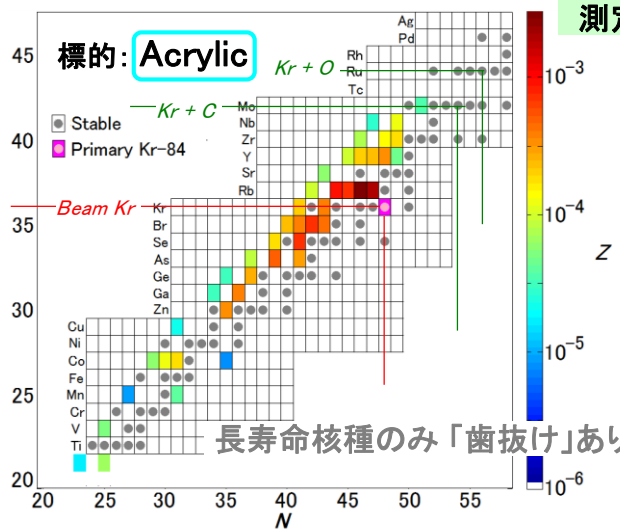
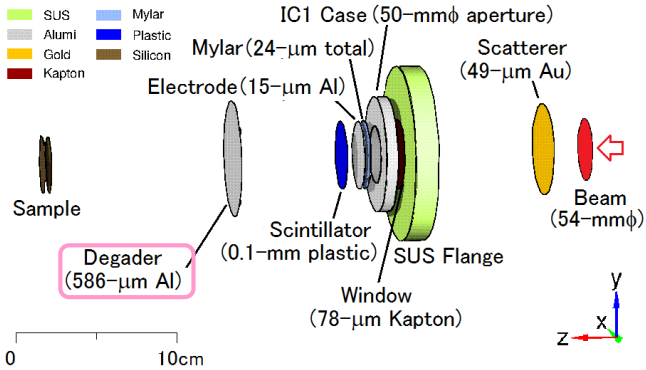
## 観測 $\gamma$ 線核種 (核図表で表示)

★長寿命の  $\gamma$  線放出核種  
のみの測定なので、  
核図表上の分布には、  
「歯抜け」があります。





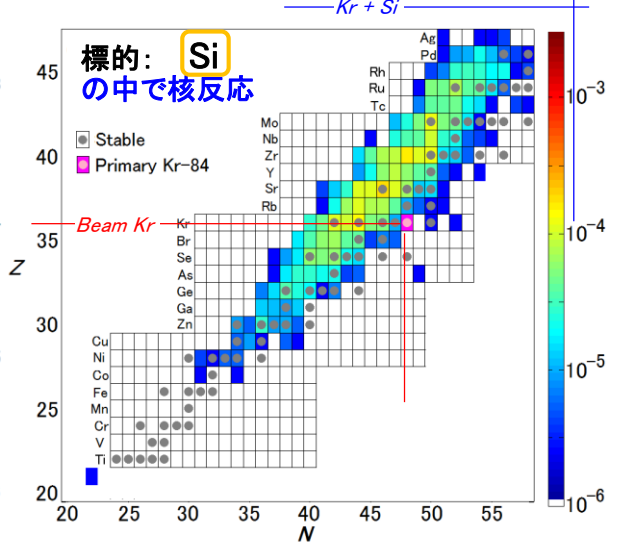
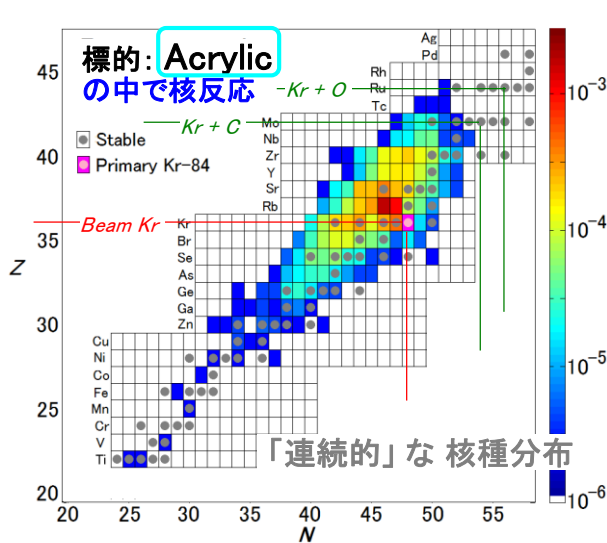
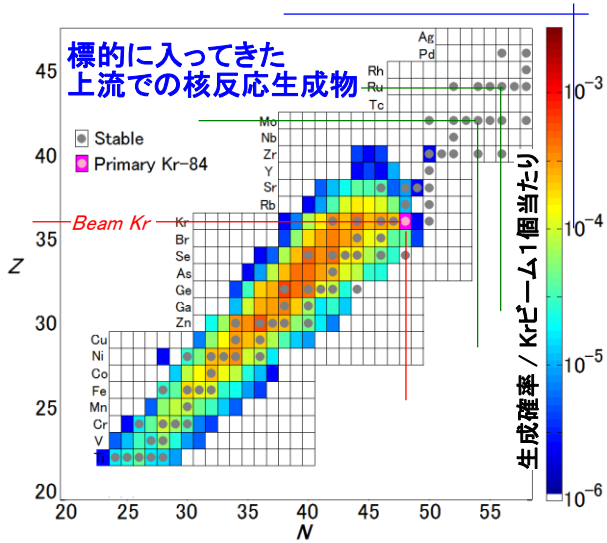
PhiTs code (JAEA高度情報科学技術研究機構)  
Particle and Heavy Ion Transport code System  
<https://phits.jaea.go.jp/index.html>



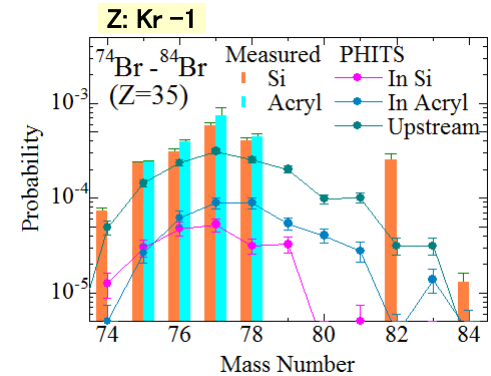
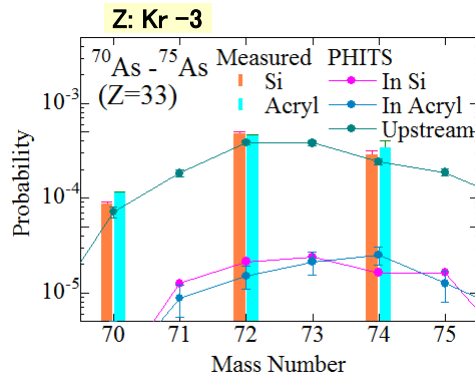
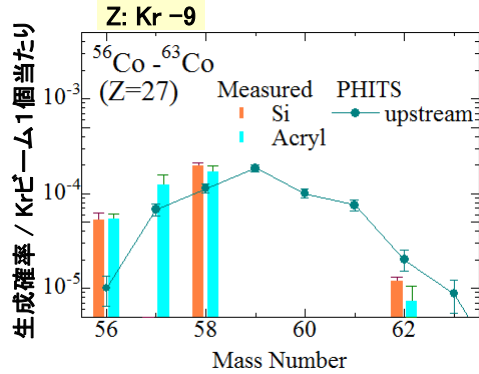
## シミュレーション

核反応が起こっている場所を区別してプロット

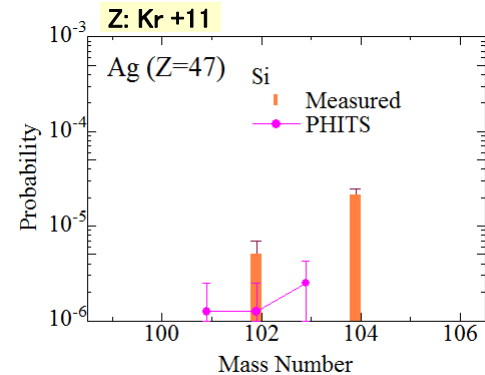
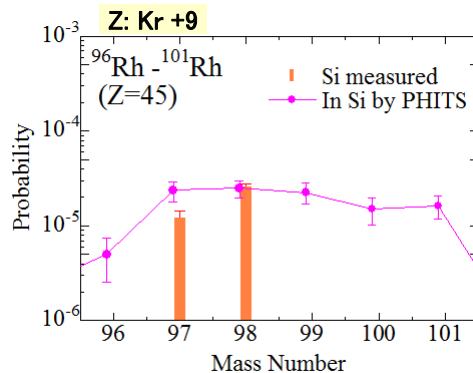
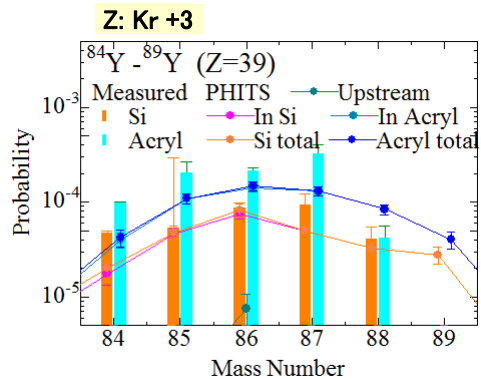
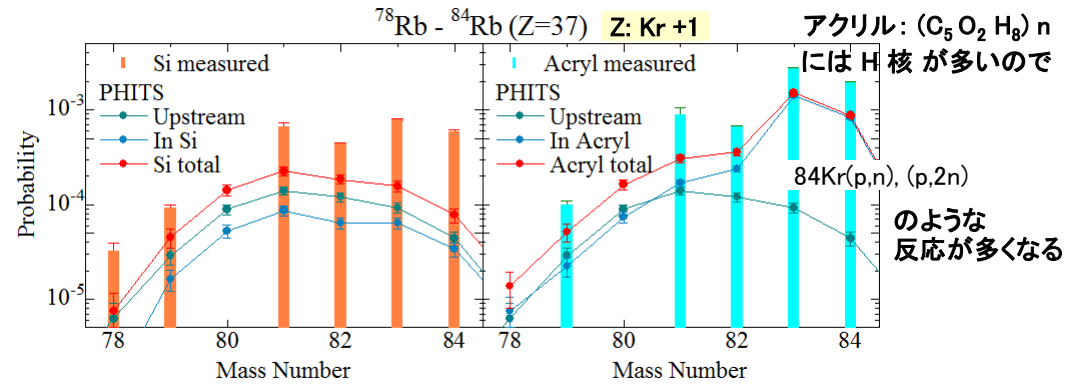
上図 vs 下図の 色: 生成確率は、まあまあ一致している様に見える



EDeg(Al)  
= 586 μm



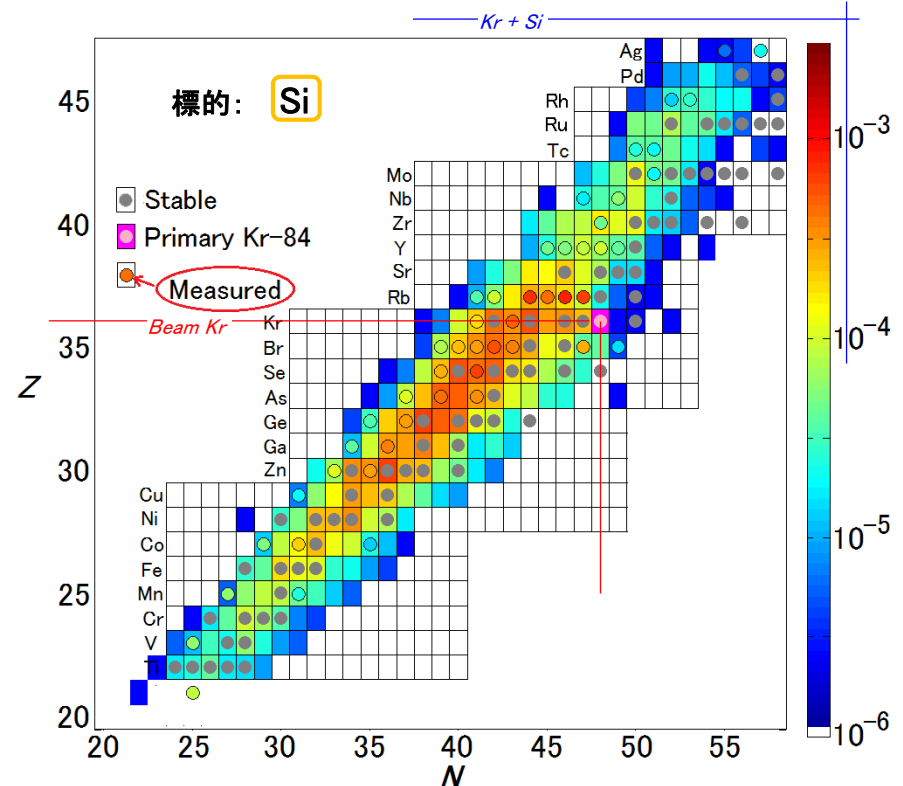
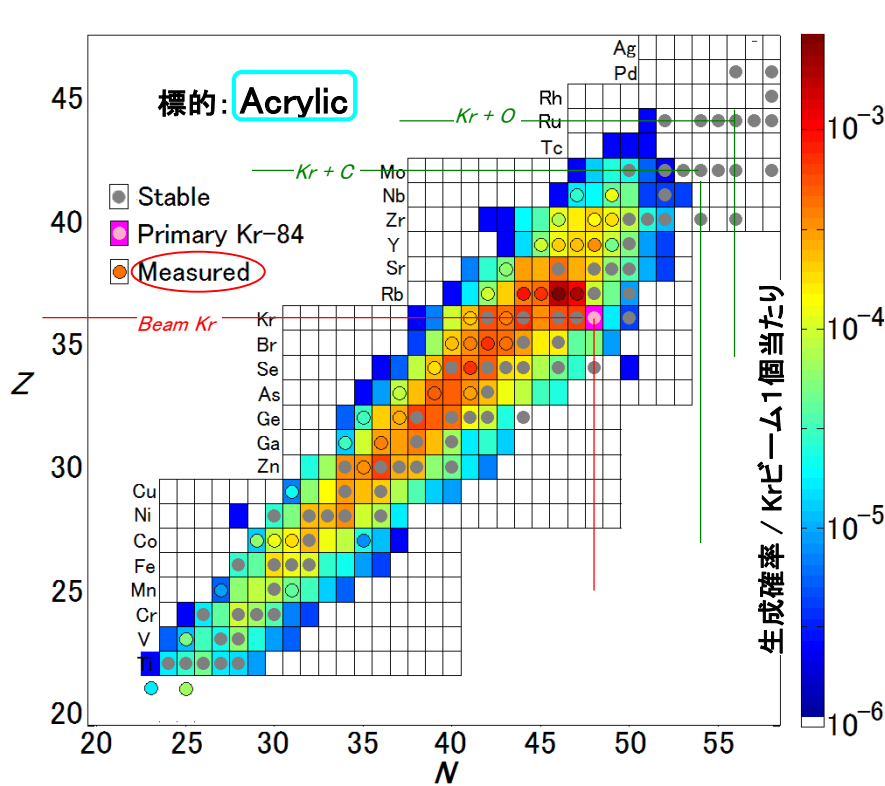
- 測定値は「歯抜け」だが・・・比較してみると、
- PhiTs計算は、測定値をほぼ再現しているようである。
- 不純物ビームの生成確率は、試料上流で起こった核反応生成物と、試料内部で起こった核反応生成物の合計になっている事がわかる。





EDeg = 586 μm (Al) の場合

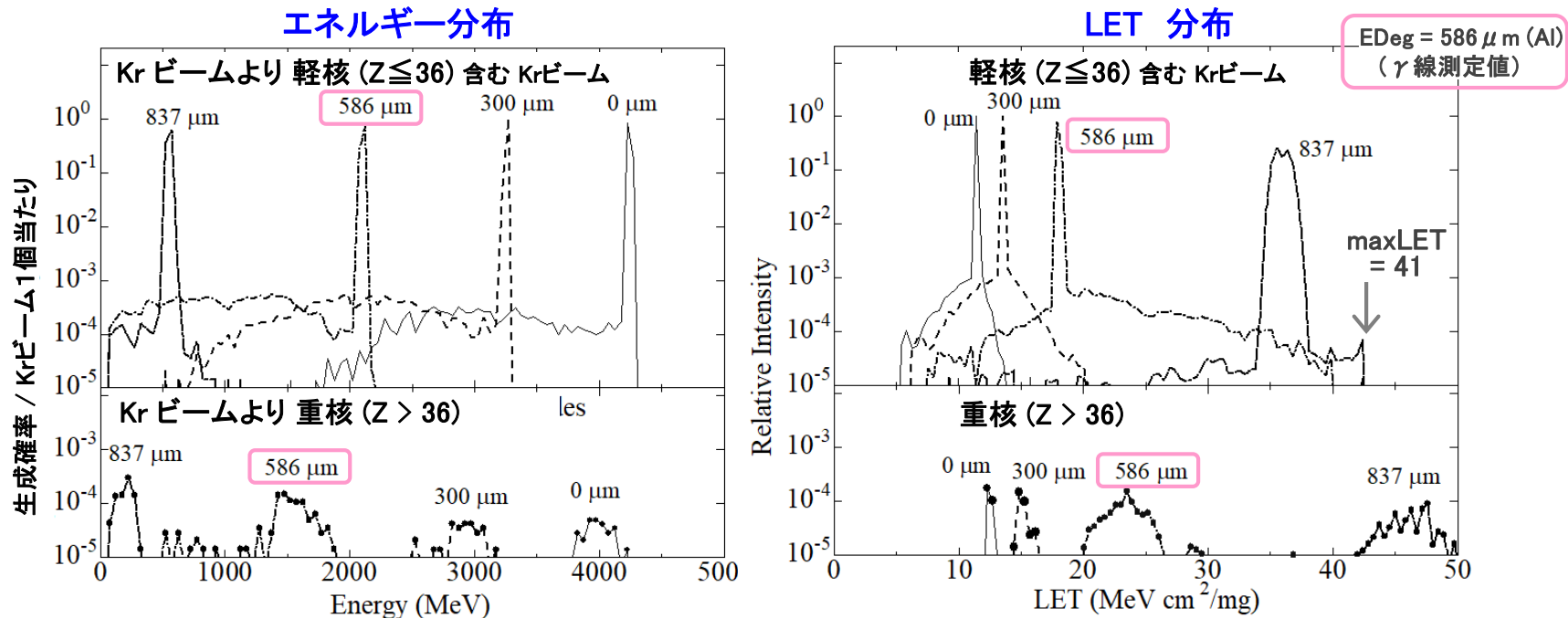
核反応生成物(標的上流で生成+標的中で生成)の合計でプロット



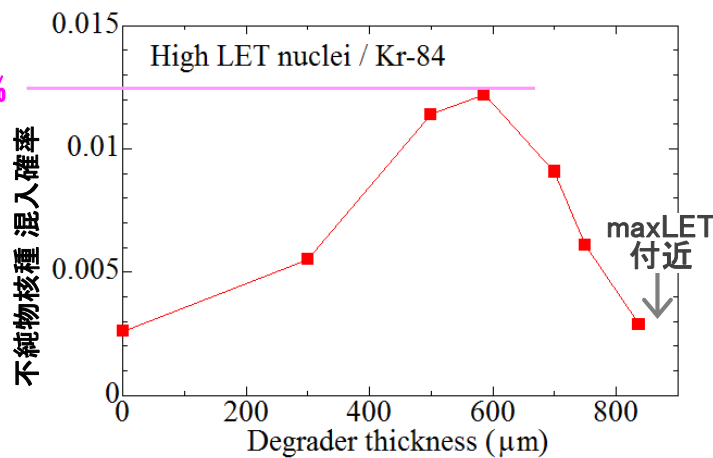
- 色 PhiTs計算値
- 色 γ線測定値

色: 生成確率は、  
ほぼ一致している  
事が確認できたので...

→ PhiTs を用いて、  
核反応不純物の振舞いを  
もう少し詳しく見てみる



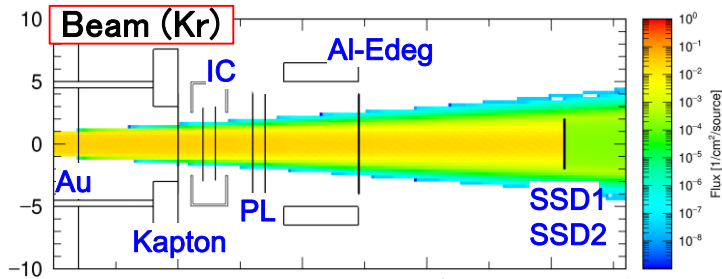
(最大値)  $\frac{\text{不純物核種}}{\text{Kr ビーム}} \lesssim 1.2\%$



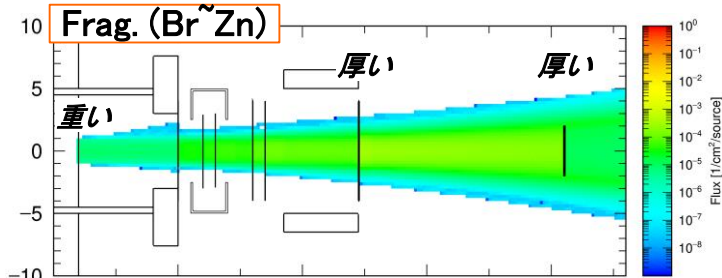
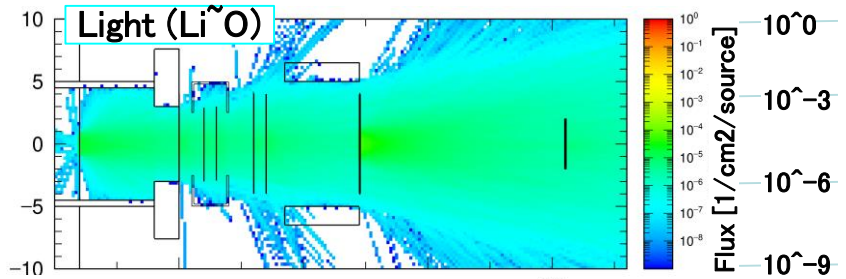
84Kr 70MeV/u ビームを、  
空気中に取り出して、  
アルミ EDeg 板で減速させて  
LET を調整した場合...

不純物核種は、  
EDeg (Al)  $\sim 600 \mu\text{m}$   
付近で最も多くなっているらしい。

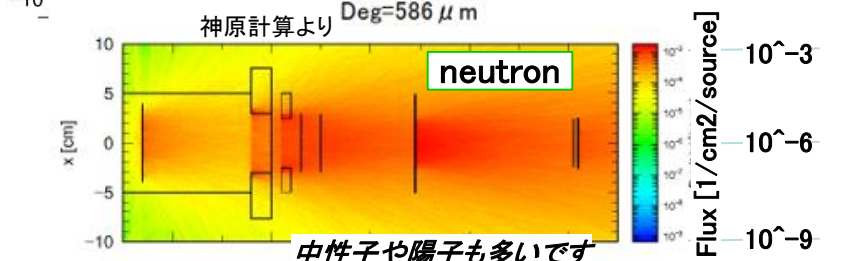
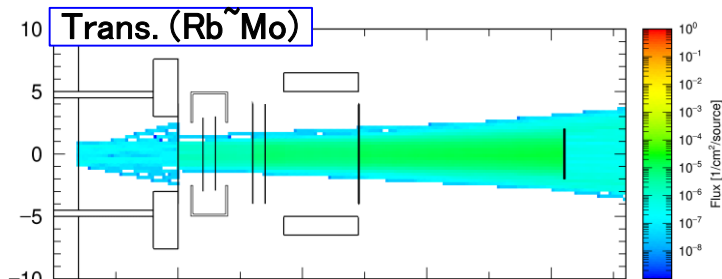
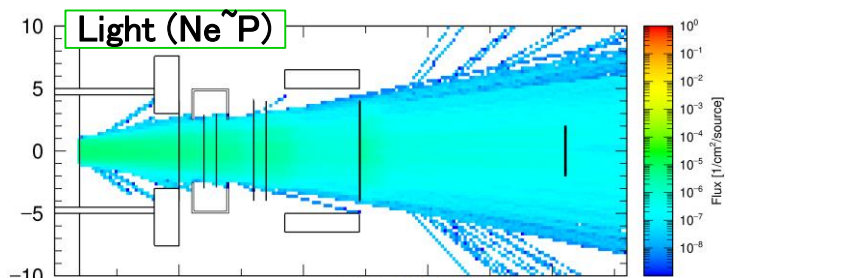




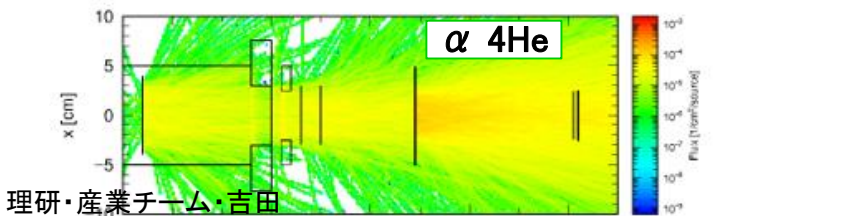
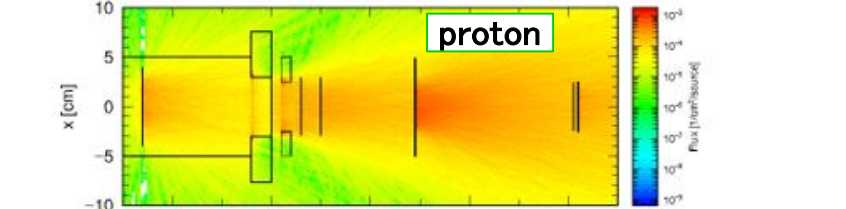
ビームは、照射ボード周辺部にも来ています → 十分遮蔽しましょう!

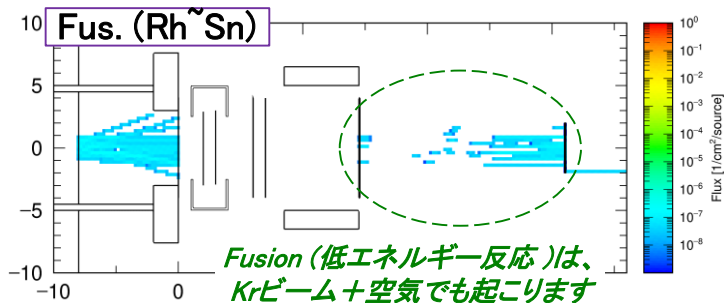
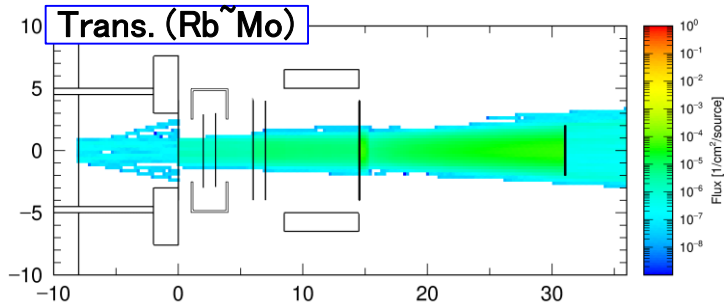
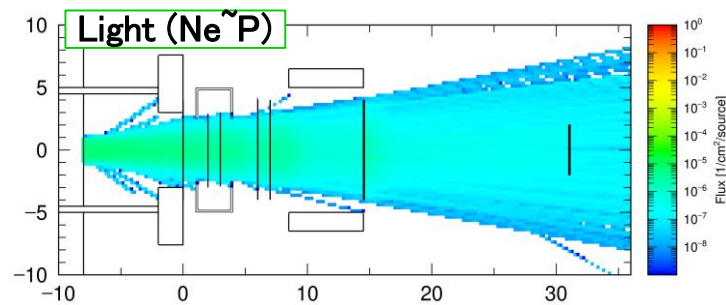
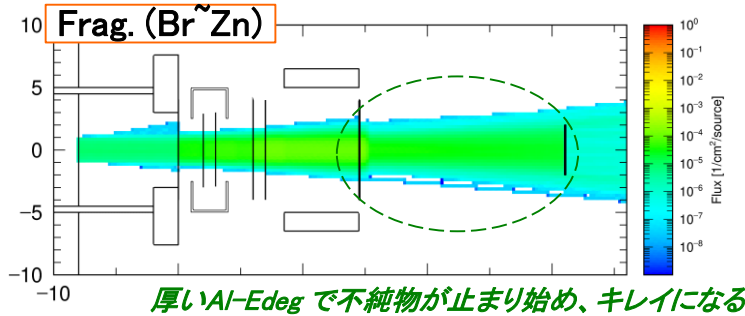
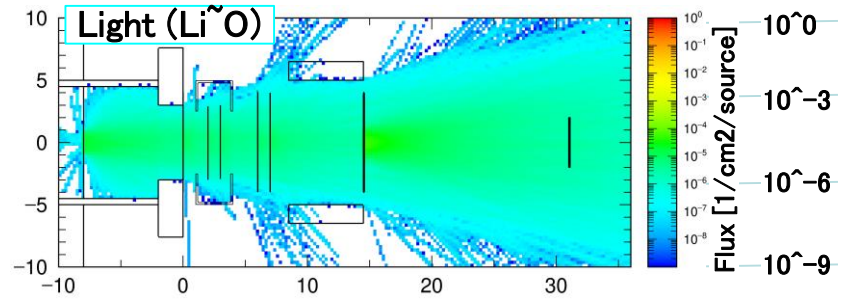
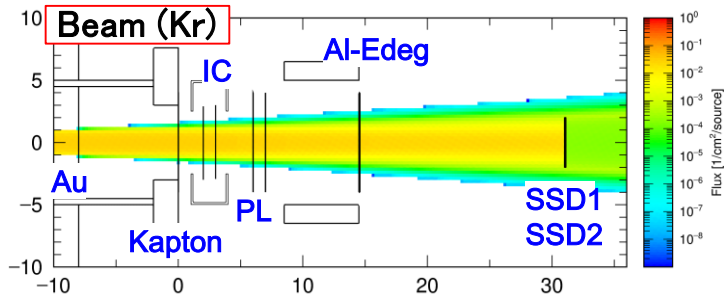


厚い or 重い 物質で不純物が多く生成される

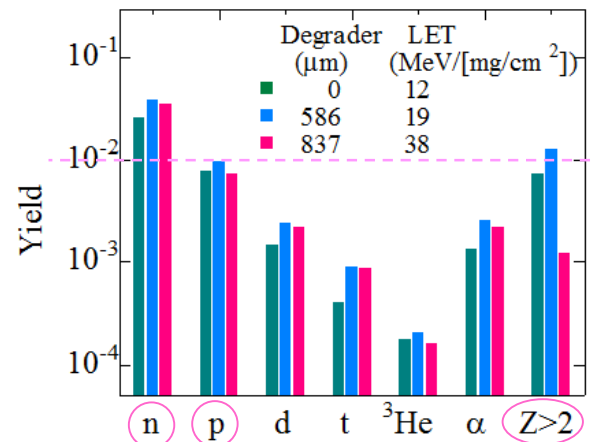


中性子や陽子も多いです





神原計算より 67.2MeV/A <sup>84</sup>Kr beam  
Si表面入射二次粒子種類分布



中性子や陽子も多いです

Si 試料へ入射する核種

Si 表面 10 μm 位置で

