

重イオン融合・核分裂反応における 標的原子核の変形効果

原子力機構・先端基礎研究センター

西尾 勝久

キーワード：超重元素, 核分裂過程

共同・協力研究者

原子力機構

西尾勝久, 池添博, 光岡真一, 西中一郎, 永目諭一郎, 塚田和明, 浅井雅人

高エネルギー機構

渡辺裕, 牧井宏之

東北大学

大槻勤, 廣瀬健太郎

GSI, Germany

S. Hofmann, D. Ackermann, F.P. Heßberger, S. Heinz,
J. Khuyagbaatar, B. Kindler, I. Kojouharov, B. Lommel, R. Mann, B. Sulignano

FLNR, Russia

A.G. Popeko, A.V. Yerebin, Y. Aritomo

TU München, Germany

A. Türler, A. Yakushev

Comenius University, Slovakia

S. Antalic, S. Saro

University of Oulu, Finland

P. Kuusiniemi

IMP, China

Z. Gan

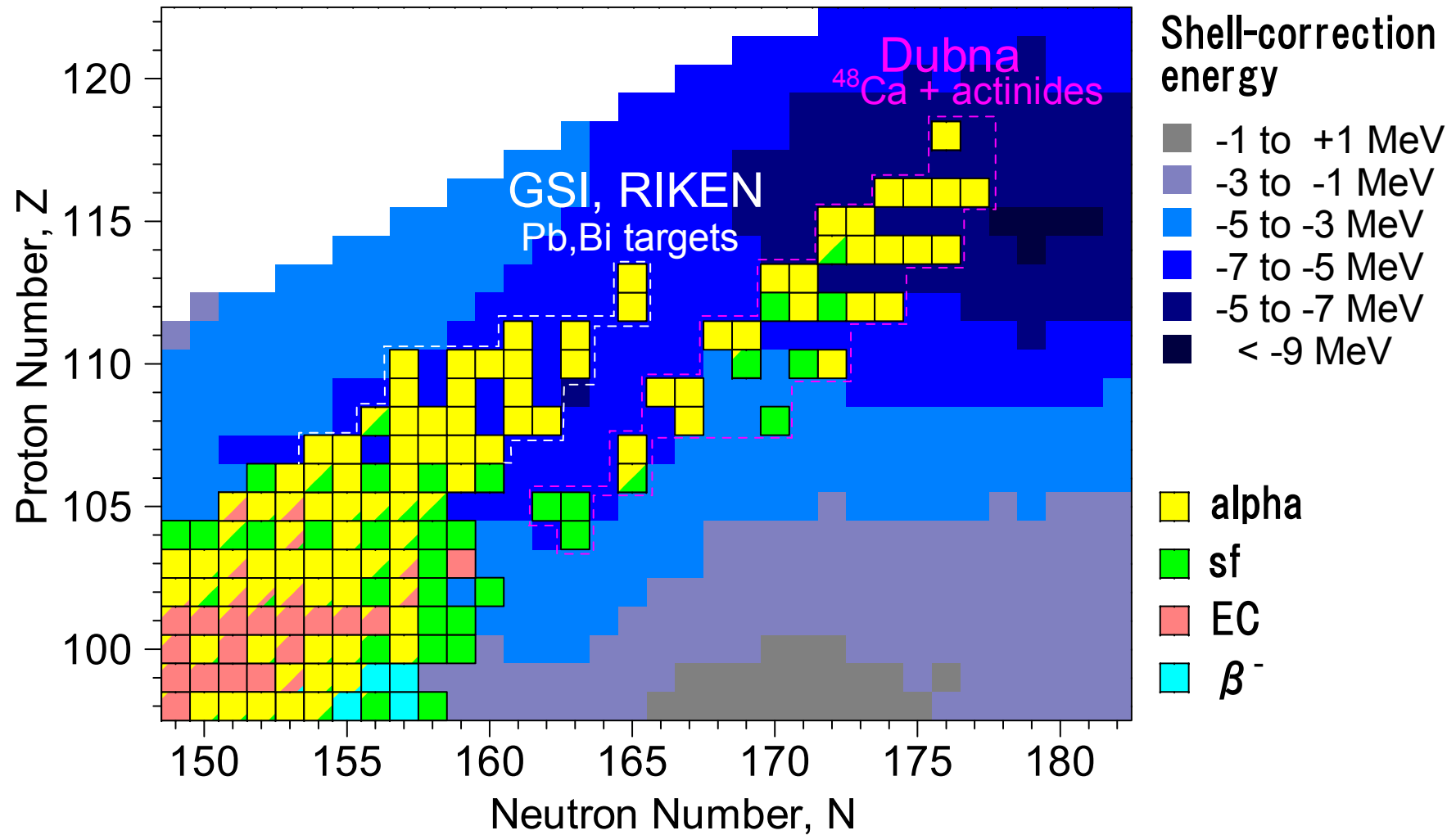
HITAS, Cuba

V.F. Comas, J.A. Heredia

内 容

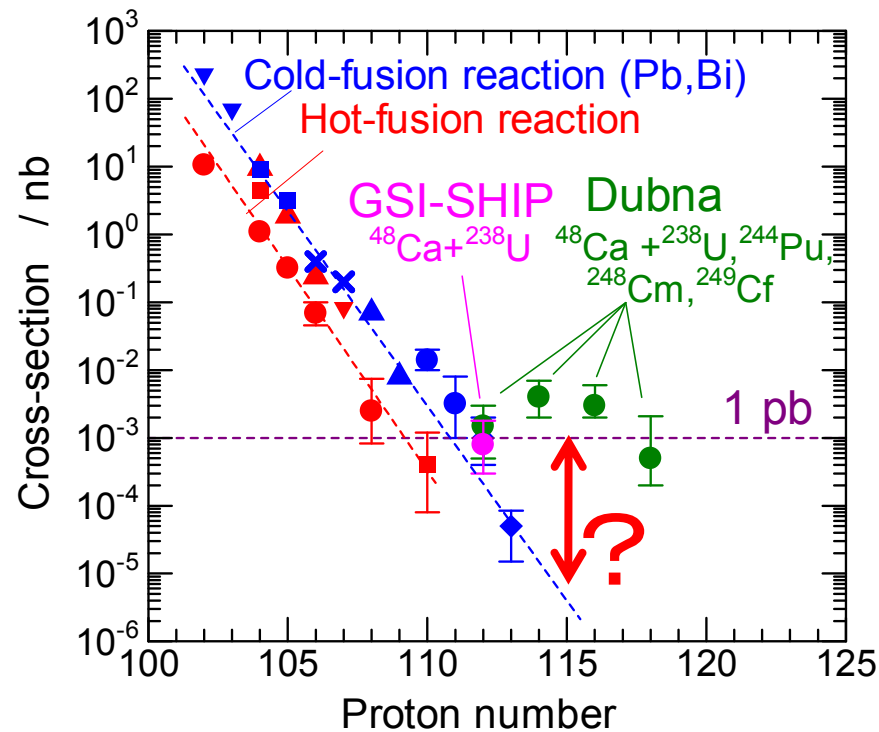
1. 研究の背景と目的
2. $^{16}\text{O} + ^{238}\text{U}$ の蒸発残留核断面積の測定
3. $^{30}\text{Si} + ^{238}\text{U}$ の核分裂特性・蒸発残留核断面積の測定
4. $^{36}\text{S}(^{34}\text{S}) + ^{238}\text{U}$ の核分裂特性
5. まとめ

超重元素領域の核図表

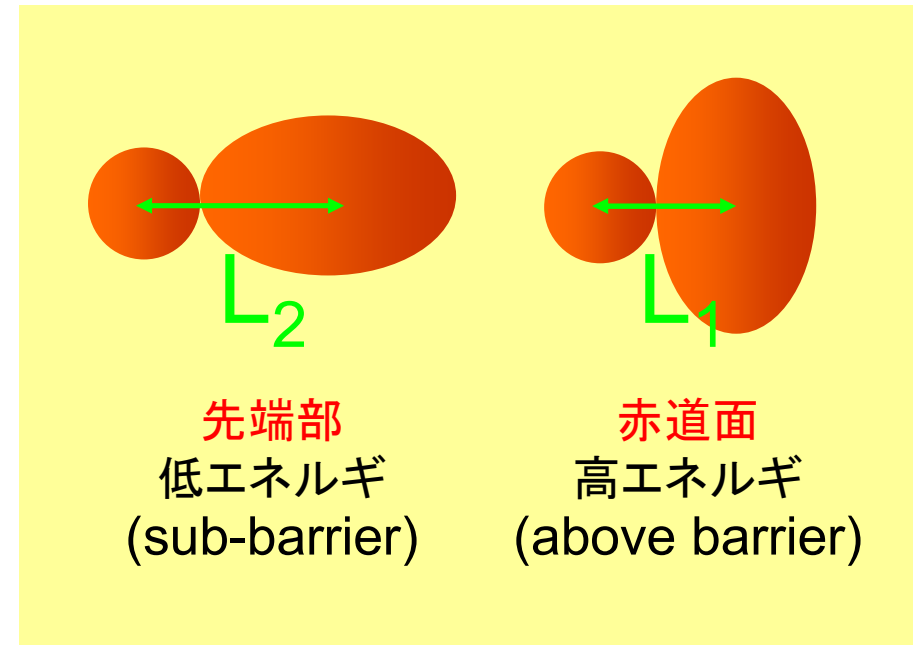


生成断面積の特徴

超重元素は重イオン融合
反応で作られる

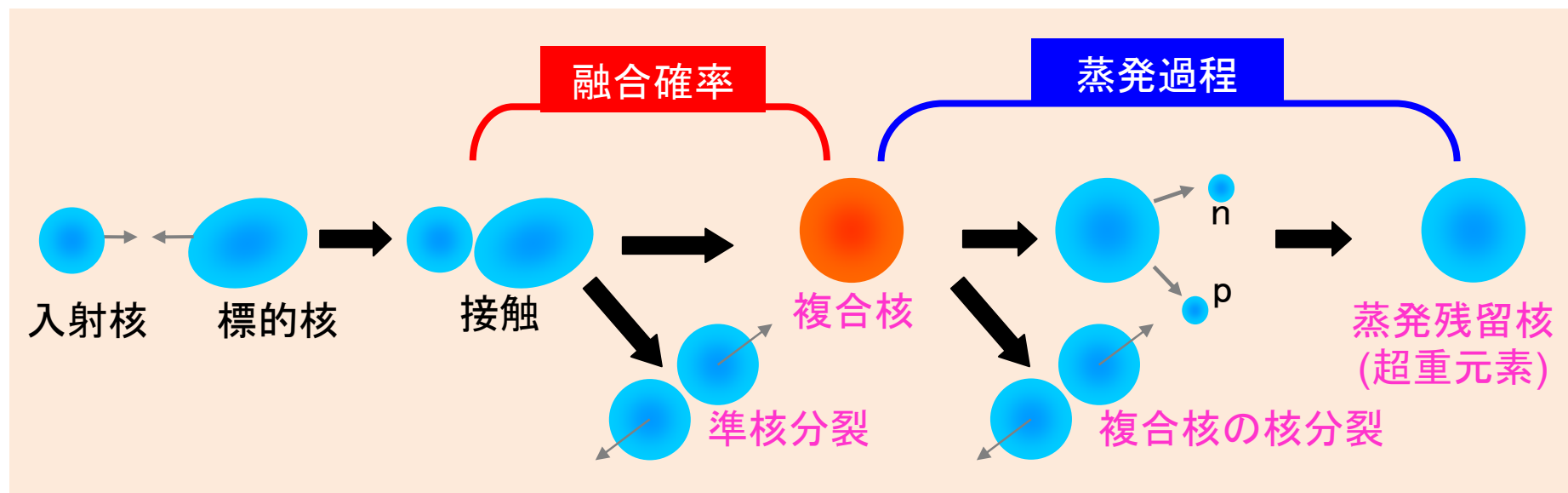


標的原子核の反応における‘向き’の効果



‘向き’の効果はエネルギーを変化させて調べられる。
‘向き’の効果が入射イオンにどう依存するか？

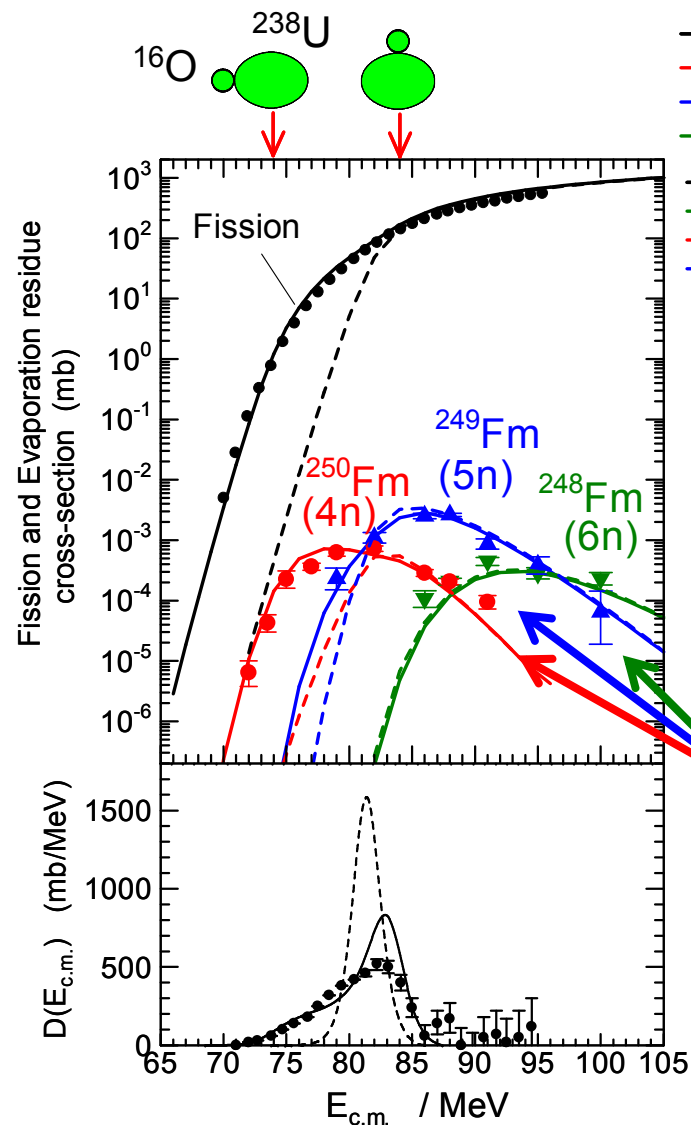
どのように作るか？ 融合・準核分裂の統一的な理解



【目的】 蒸発残留核断面積および核分裂特性の測定から融合確率を決定することで、超重元素の生成断面積の予測精度を上げる。

最適な反応系とエネルギーを決定

$^{16}\text{O} + ^{238}\text{U}$ 反応の蒸発残留核断面積測定



Fission data from
D.J. Hinde *et al.*, PRL **74** (1995)1295.

— ^{238}U の変形を
取り入れた計算

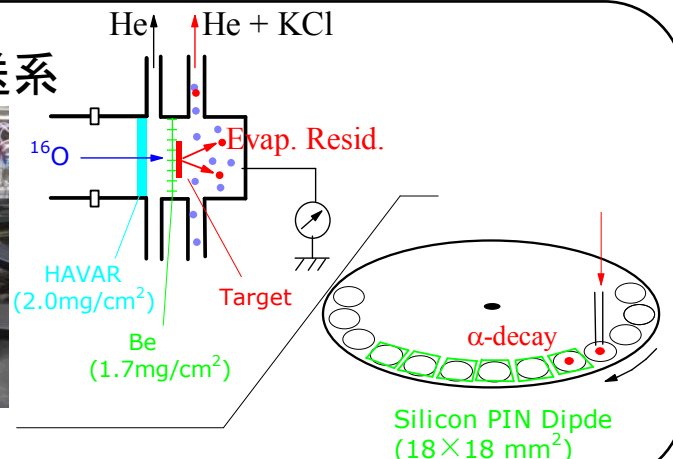
- - - 変形を考慮
しない計算

^{16}O は、 ^{238}U のどの角度から入射しても融合し、複合核を生成する。

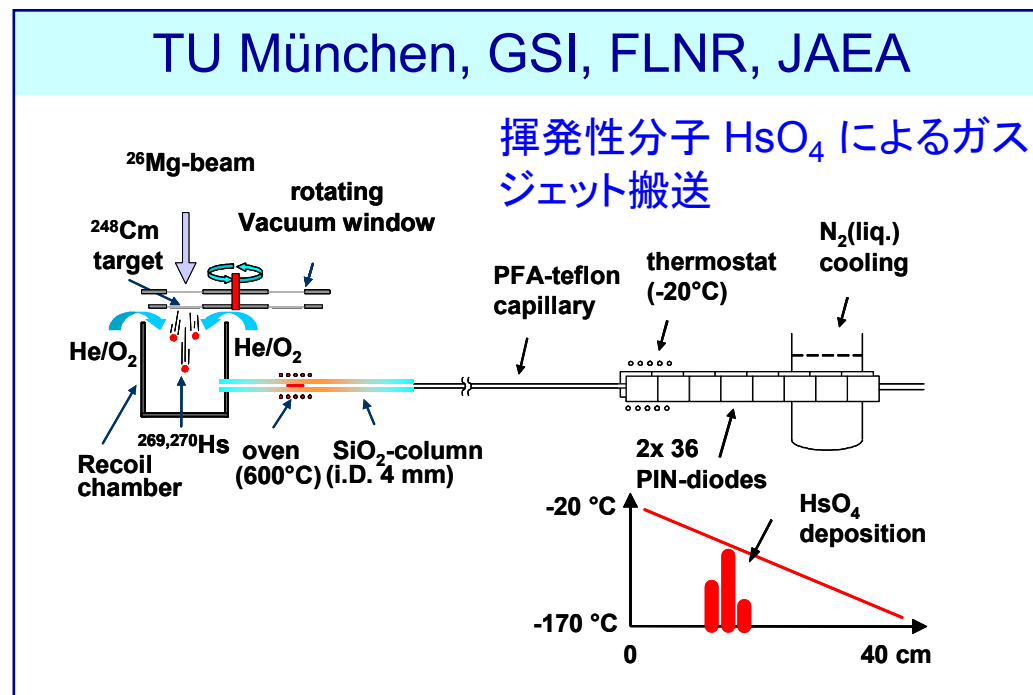
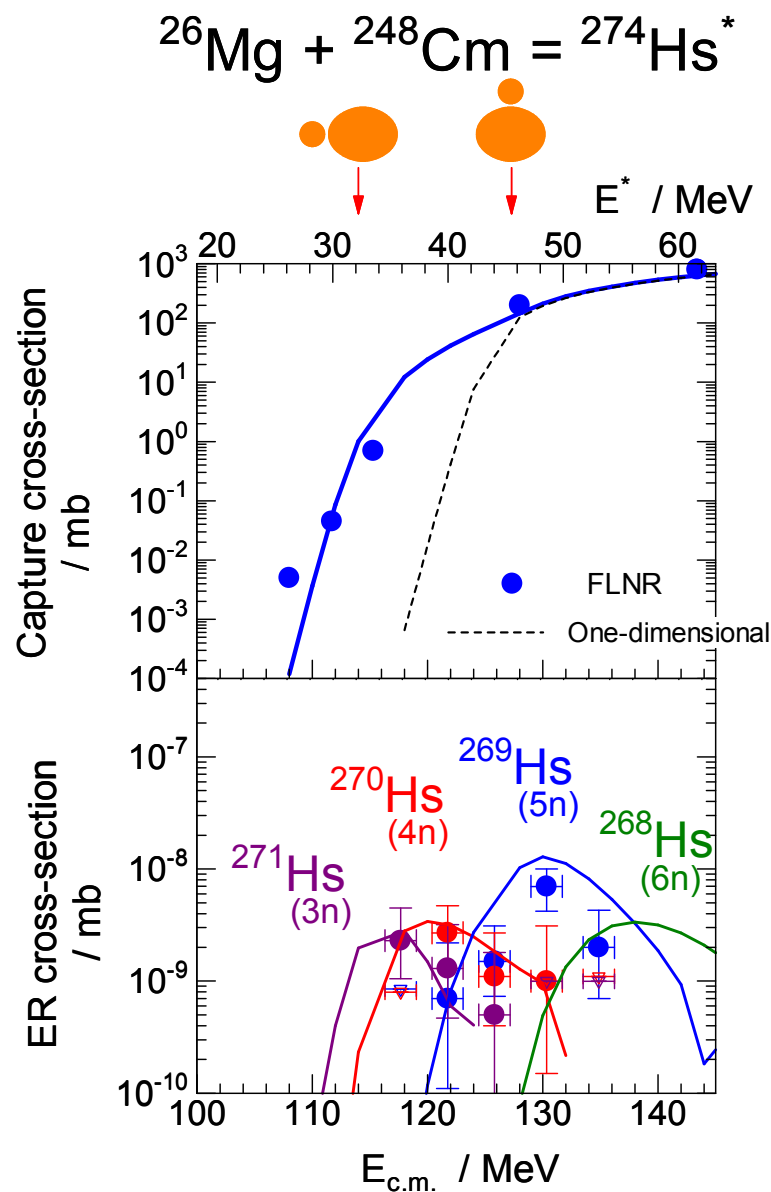
サブバリヤにおいて、**4n (3n)**過程で超重元素同位体が合成できる可能性を示唆。

K. Nishio *et al.*, Phys. Rev.Lett **93** (2004)162701.

ガスジェット輸送系



【サブバリア反応の応用】 $^{26}\text{Mg} + ^{248}\text{Cm}$ による $^{270}\text{Hs}(4n)$ $^{271}\text{Hs}(3n)$ の合成

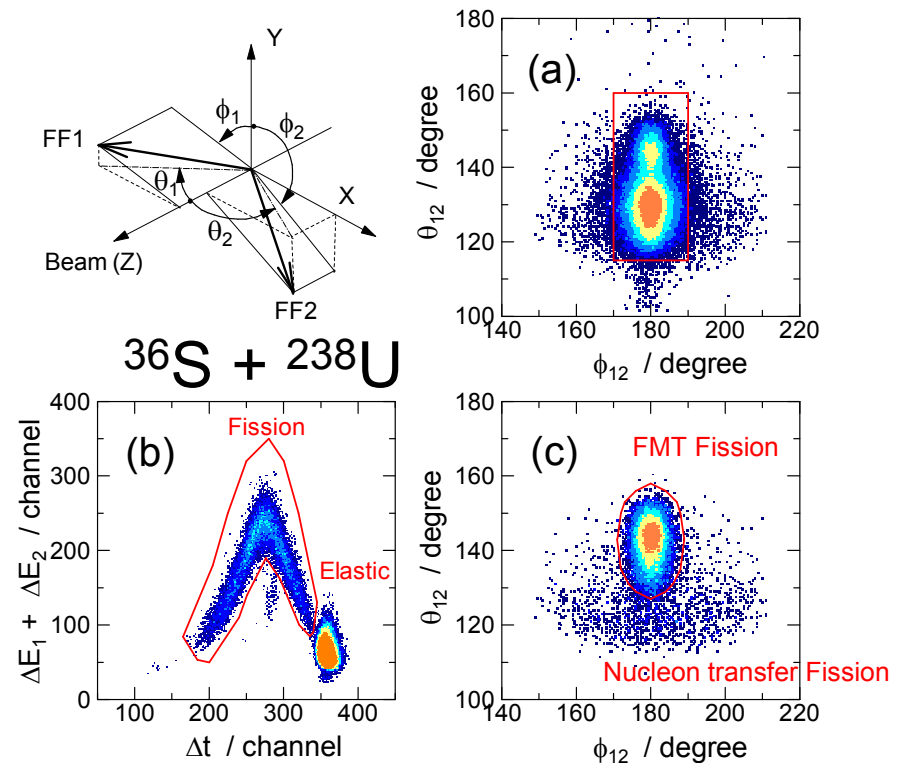
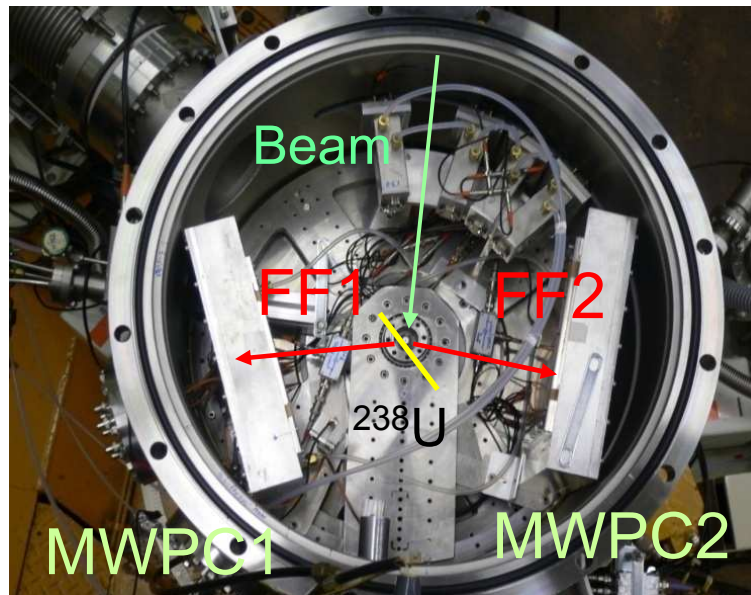


^{26}Mg と ^{248}Cm のサブバリア反応で
新同位体 $^{271,270}\text{Hs}$ が合成された

J. Dvorak et al, Phys. Rev. Lett., **100**, 132503 (2008).

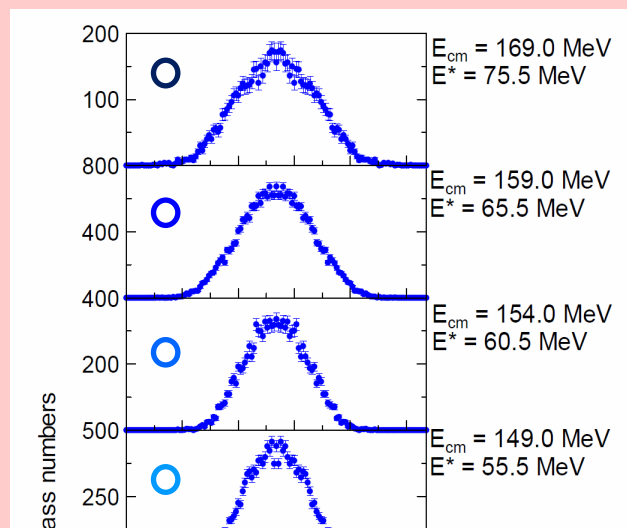
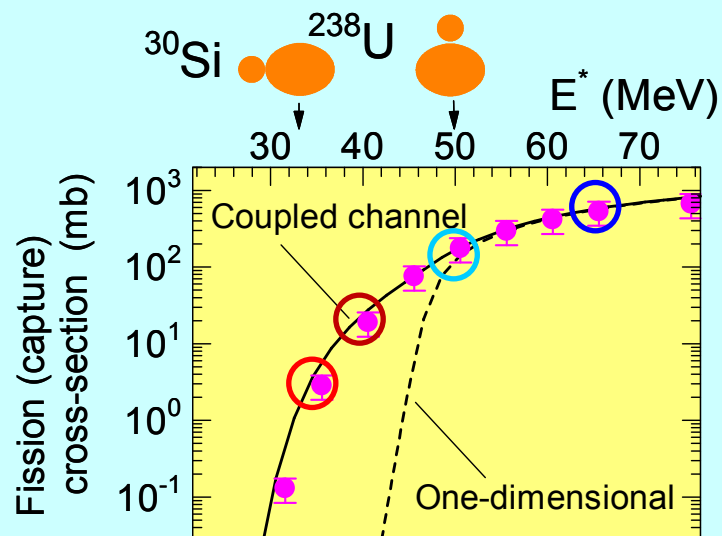
タンデムにおける核分裂特性の測定

JAEA タンデム加速器からのビーム

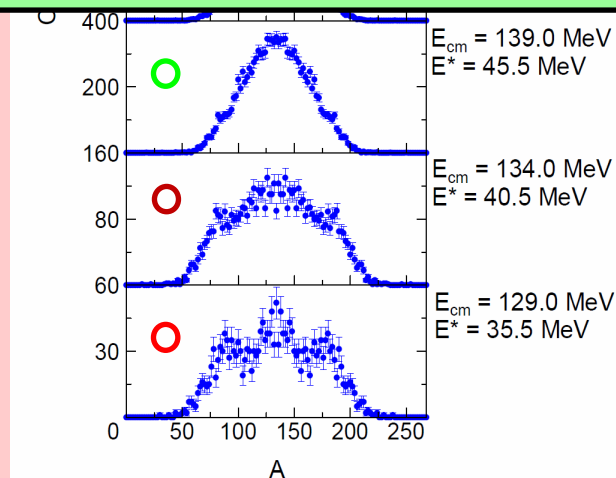
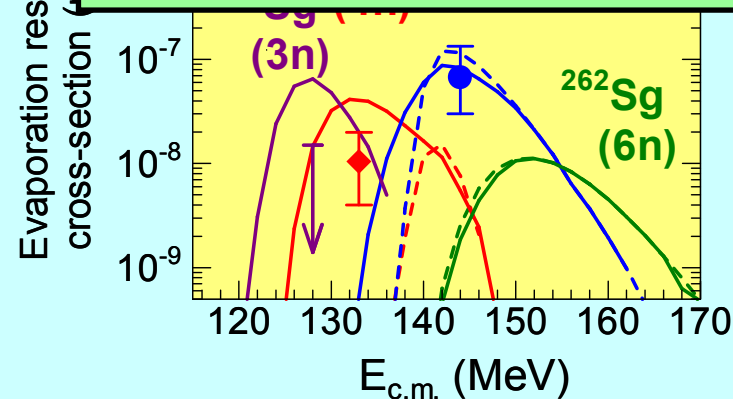


- Full momentum transfer イベントを分離。
- 質量・運動量保存則の適用。

$^{30}\text{Si} + ^{238}\text{U}$ の核分裂特性・蒸発残留核測定の実験

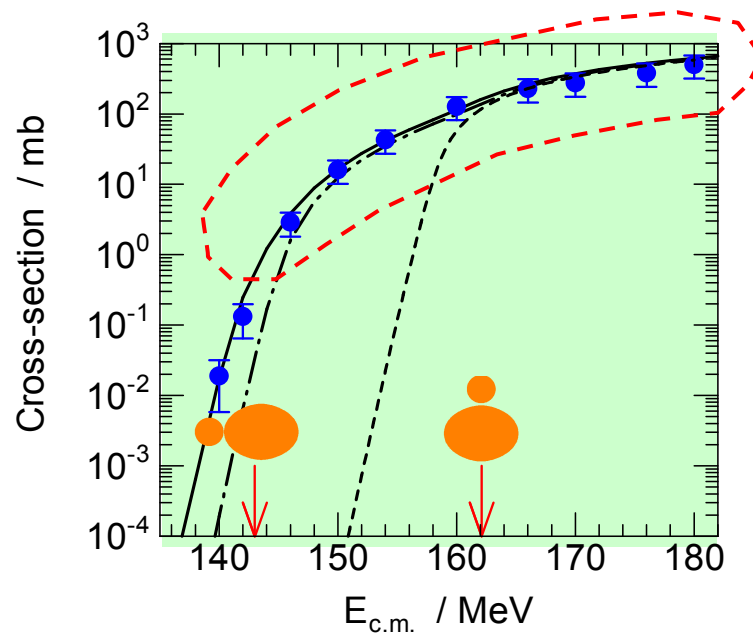


赤道面衝突 → 複合核を生成する
先端部衝突 → 複合核生成と準核分裂が競合



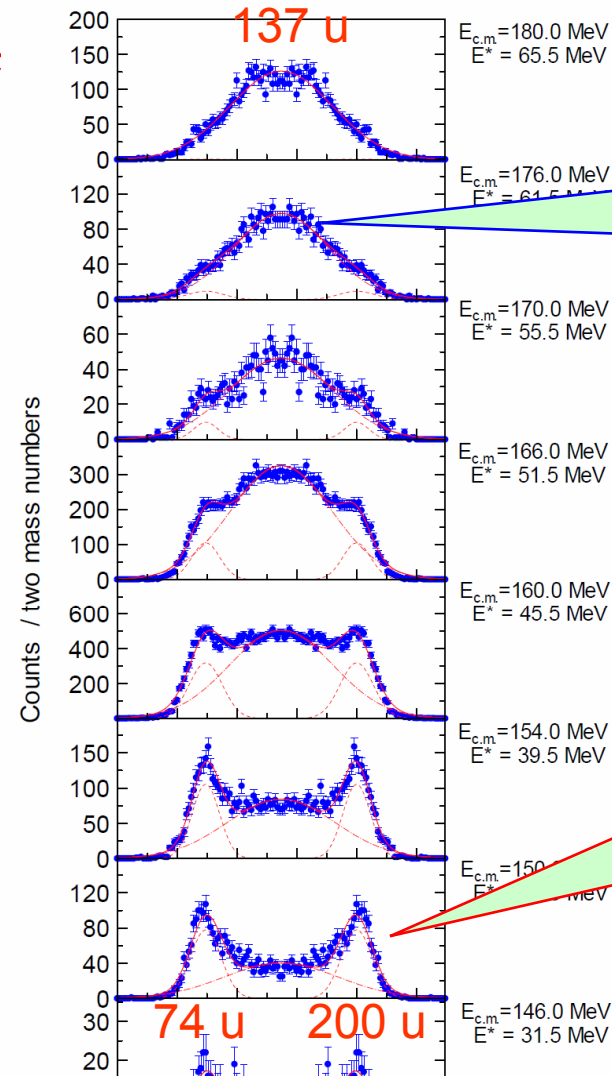
K. Nishio *et al.*, Eur.Phys.J, A **29** (2006) 281.

$^{36}\text{S} + ^{238}\text{U}$ の核分裂特性



- - - - - One-dimensional
 - · - · - Deform.
 ——— Deform.+Vibration

K. Nishio *et al.*,
Phys. Rev. C, **77** (2008) 064607.

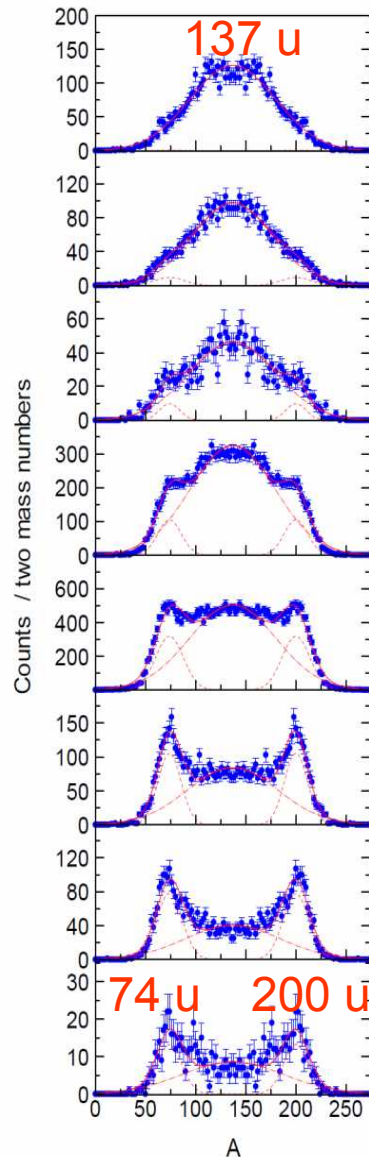


対称核分裂
 ↓
 複合核の核分裂

非対称核分裂
 ↓
 準核分裂

エネルギーに対する質量分布の劇的な変化＝**標的の変形効果**

複合核生成と準核分裂の競合

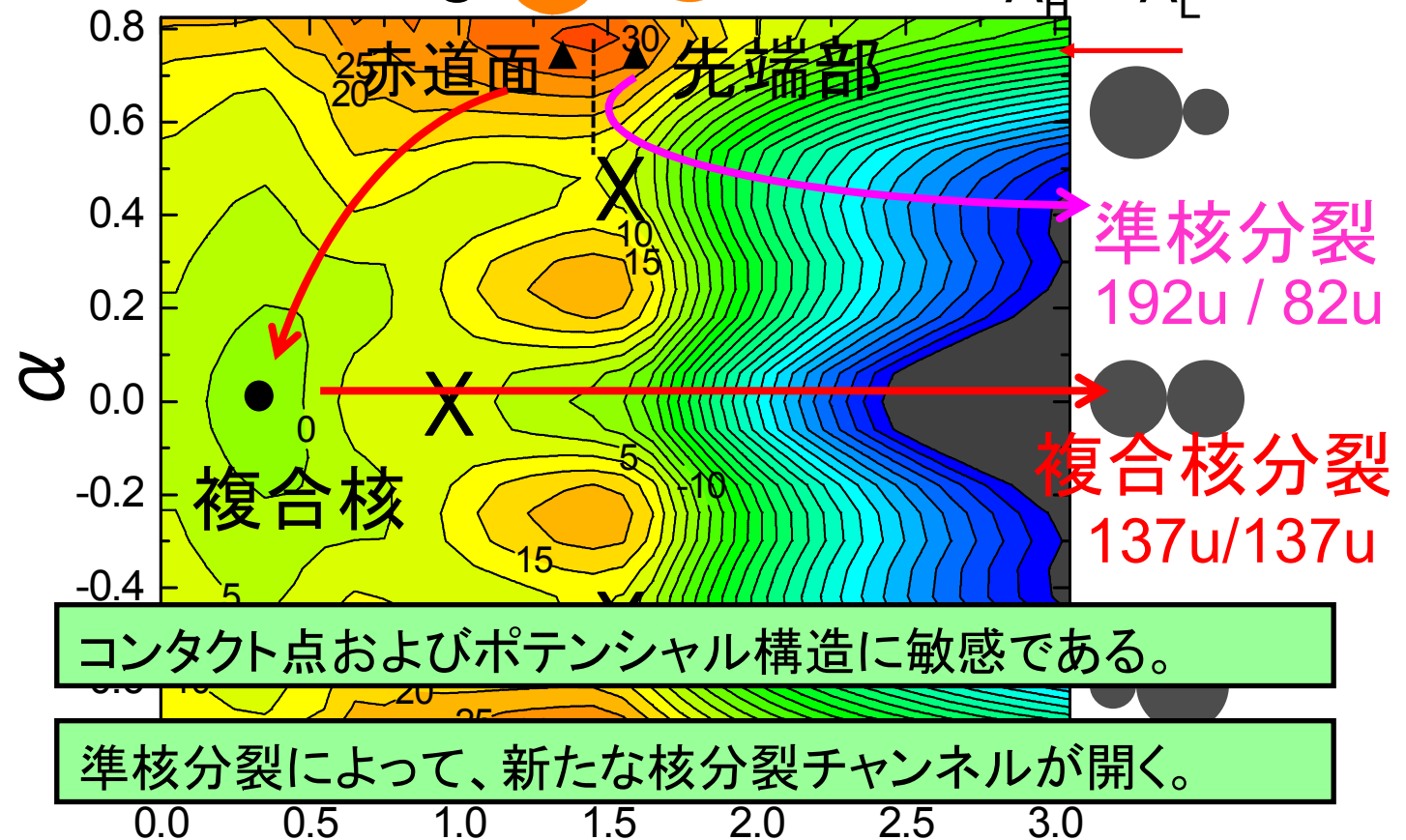


^{274}Hs

^{36}S

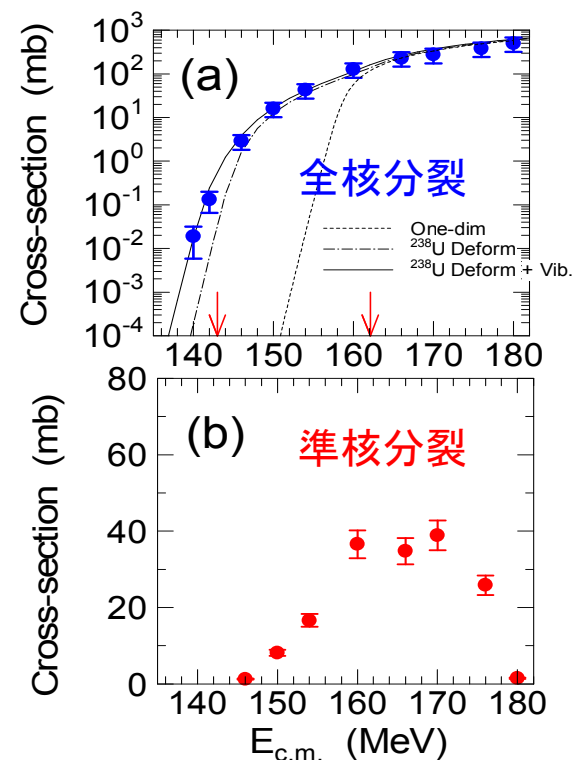
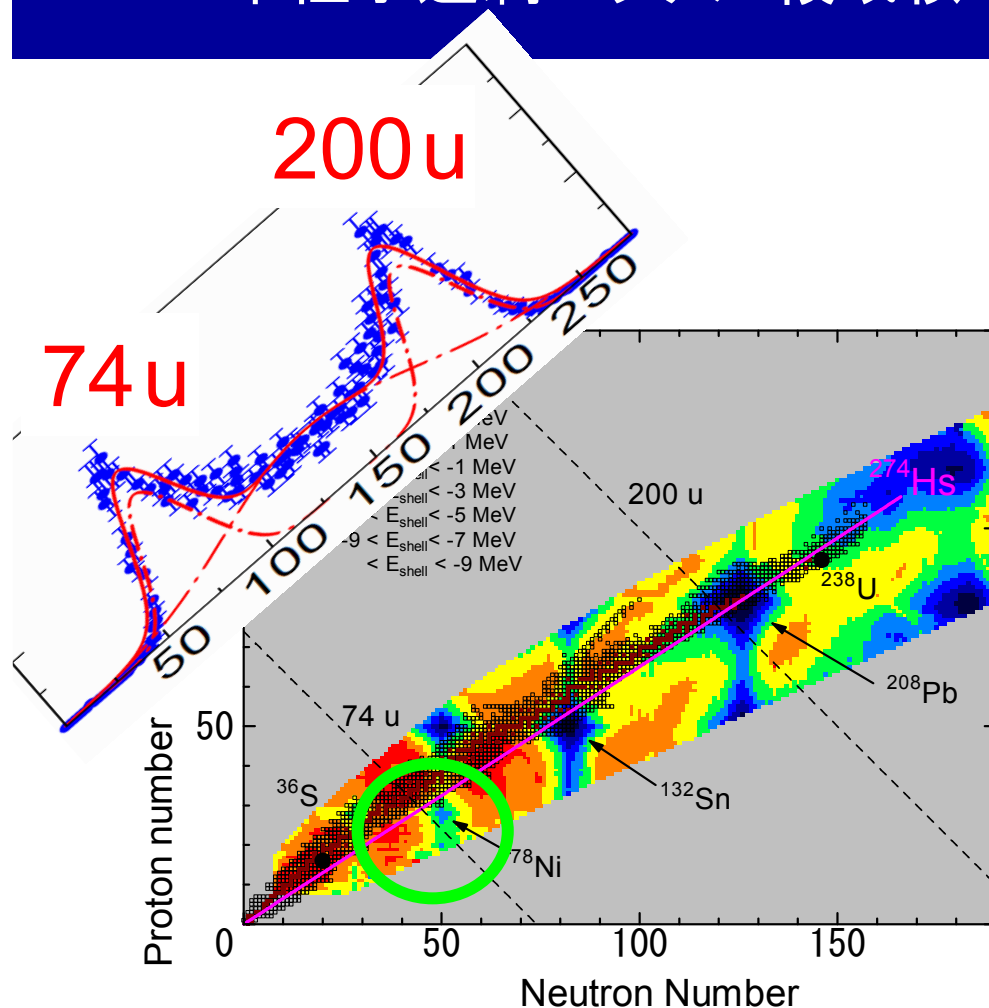
^{238}U

$$\alpha = \frac{A_H - A_L}{A_H + A_L}$$



計算: Y. Aritomo of FLNR

中性子過剰ニッケル領域核の新たな生成法の可能性



電荷が完全に平衡すると仮定し、 Z の比広がりが $\sigma_z = 0.66$ の場合、 ^{78}Ni の断面積は $0.3 \mu\text{b}$ 程度

^{86}Kr (140MeV/u) のfragmentationでは 0.02 pb !
P.T. Hosner et al., PRL 94 (2005) 112501.

ランジェバン方程式によるダイナミクス計算

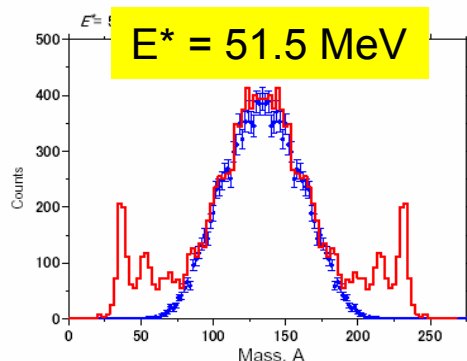
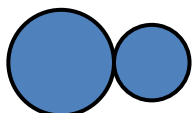
$^{30}\text{Si} + ^{238}\text{U}$

$^{36}\text{S} + ^{238}\text{U}$

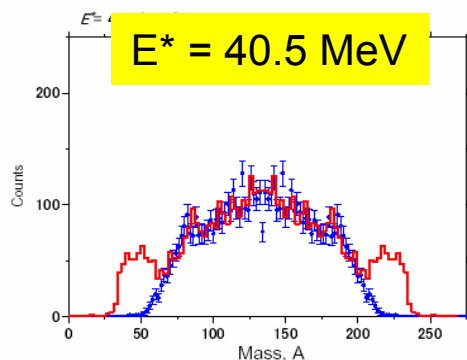
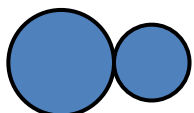
計算

Y. Aritomo of FLNR

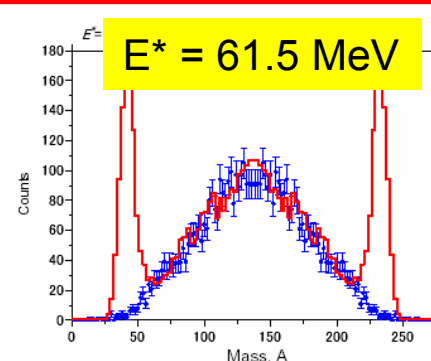
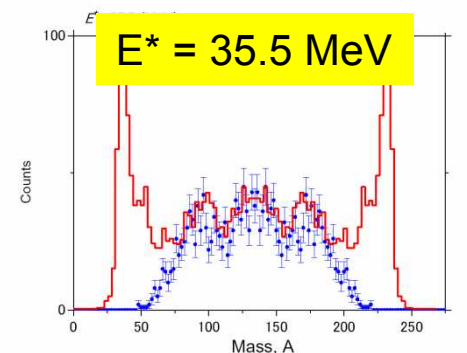
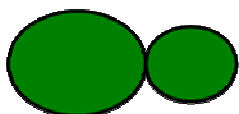
$\delta = 0.0$



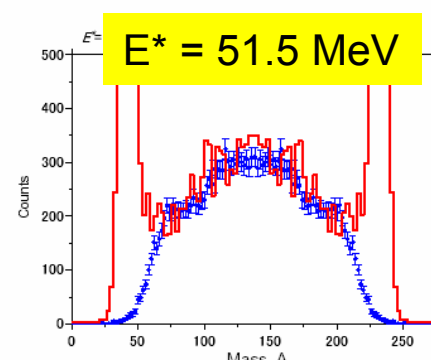
$\delta = 0.0$



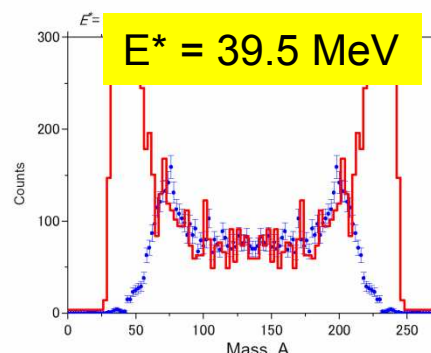
$\delta = 0.2$



6n

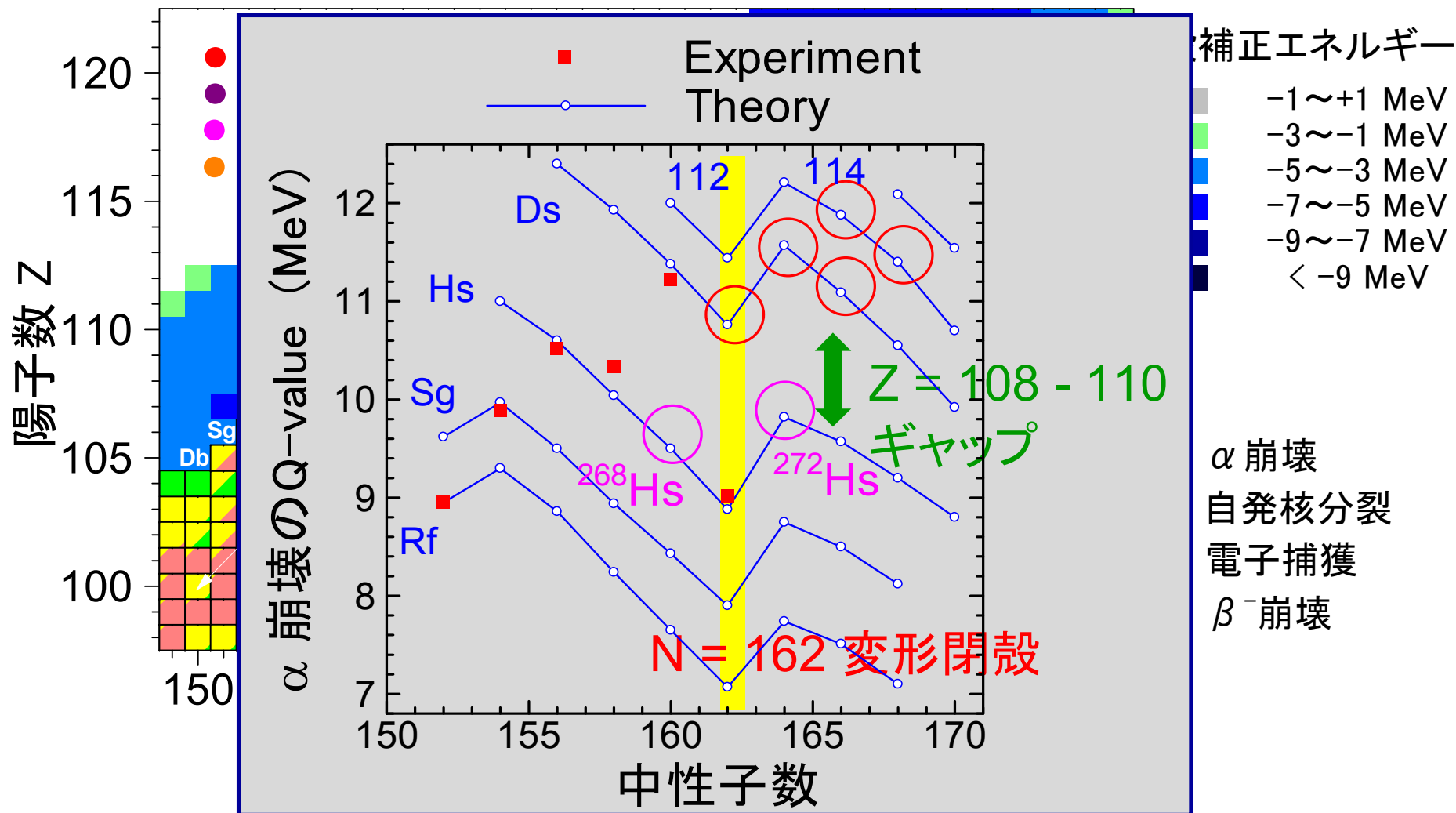


5n



4n

$^{34,36}\text{S}$ ビームによる超重元素同位体の生成



まとめ、タンデム加速器施設への期待

変形核・融合反応の有用性

- ① 軽い入射核 = 先端部衝突で中性子の多い同位体合成
- ② 重い入射核 = 赤道面衝突のほうが融合しやすい

準核分裂

- ① 新たな核分裂チャンネルを調べるツールである
- ② 中性子過剰ニッケル領域核を生成できる可能性

タンデム施設

- ① ブースタ室における Pu, Cm 標的の利用
- ② ビーム大電流化 (TRIAC-Booster連結、ターミナルイオン源)
- ③ ガスジェット搬送 + ISOLイオン源の一時的な利用

終わり