

CsI(Na)シンチレータを用いた 不安定核実験用 γ 線検出器 CATANA

東京工業大学 理学院

梶野 泰宏

新学術領域「実験と観測で解き明かす中性子星の核物質」

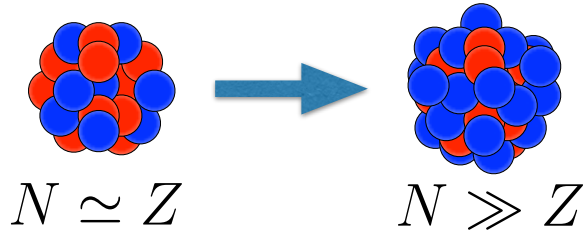


先端物理計測開発室キックオフワークショップ

2016年12月22日

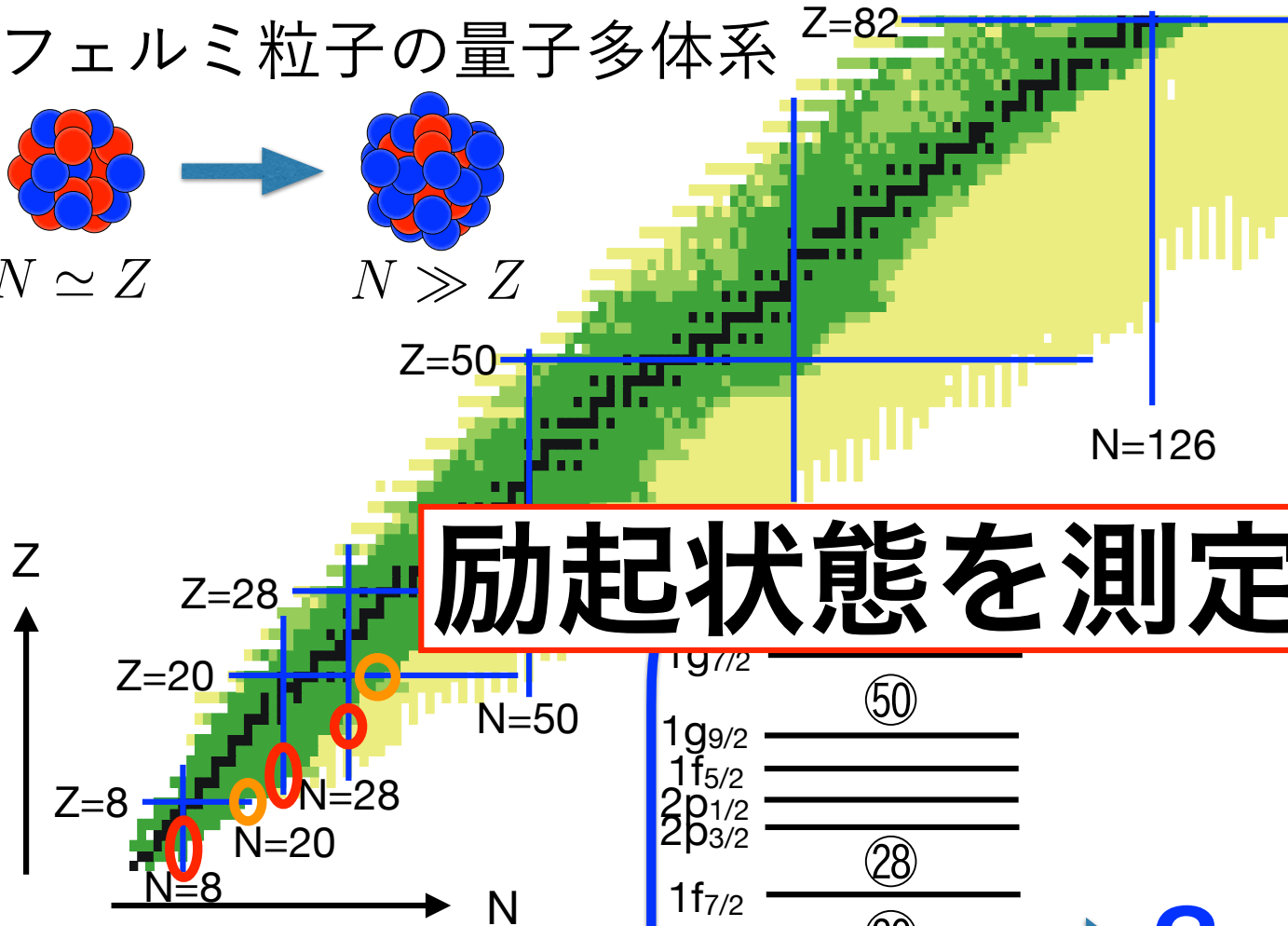
不安定核の構造

2フェルミ粒子の量子多体系



魔法数の消失や出現

○ 出現
○ 消失

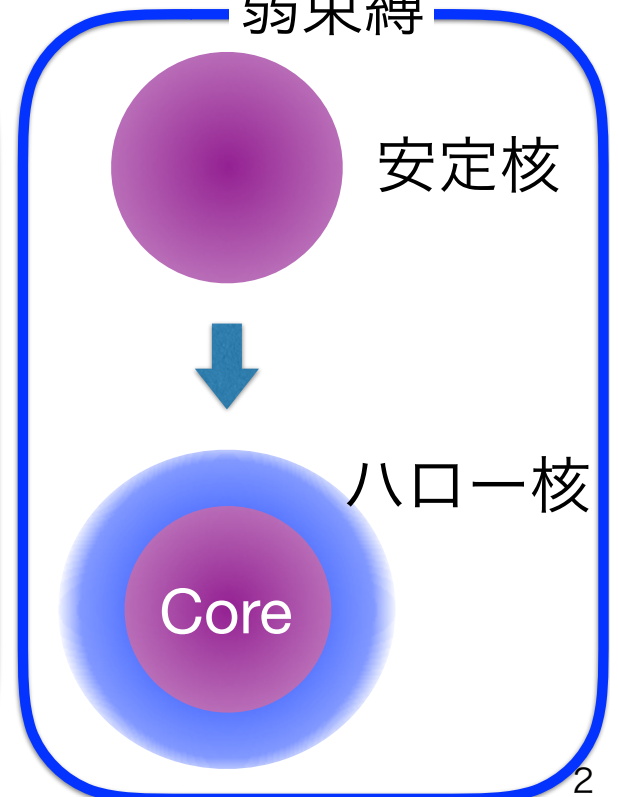


1g _{9/2}	(50)
1f _{5/2}	
2p _{1/2}	
2p _{3/2}	(28)
1f _{7/2}	(20)
1d _{3/2}	
2s _{1/2}	
1d _{5/2}	(8)
1p _{1/2}	
1p _{3/2}	(2)
1s _{1/2}	

安定核



弱束縛

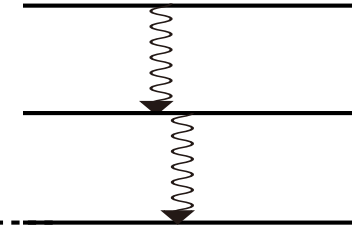


原子核の励起状態

非束縛励起状態

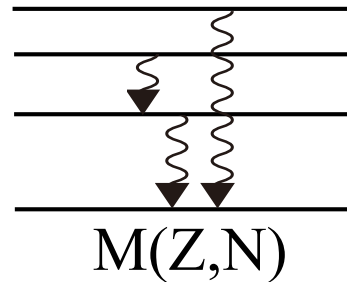


粒子放出



$M(Z, N-1) + n$

束縛励起状態

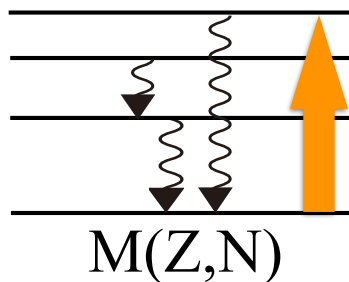


γ線放出

インビーム**γ線**核分光

反応で励起状態を生成→脱励起**γ線**を測定

核子移行反応
核子分離反応
...



非弾性散乱

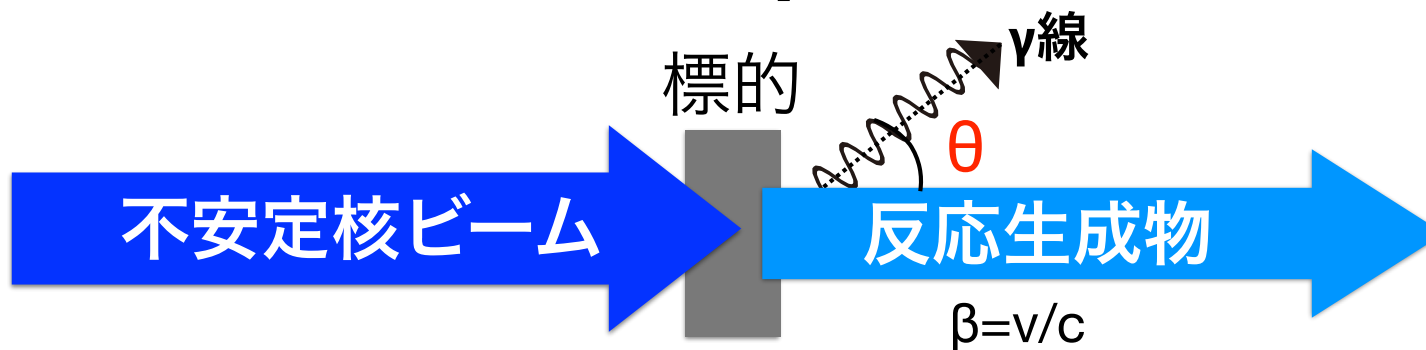
不安定核ビーム

反応生成物

安定核標的

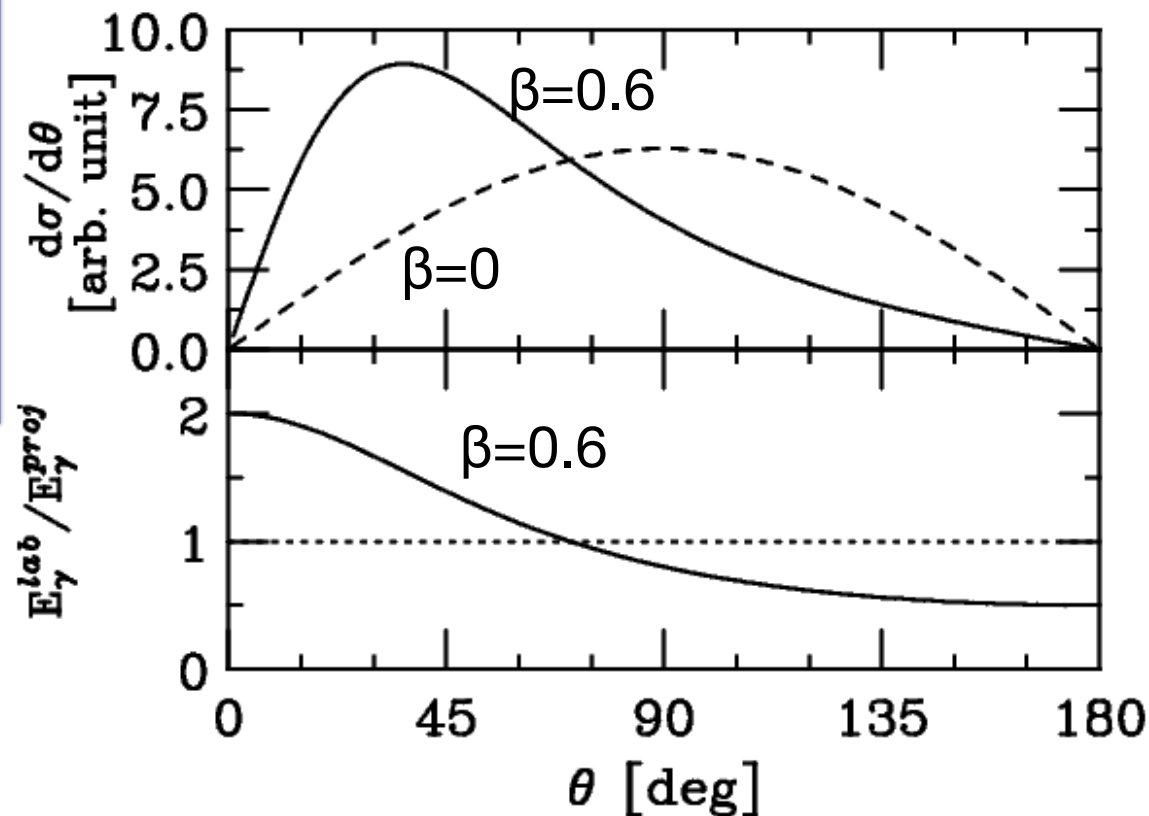
γ線

インビーム γ 線核分光



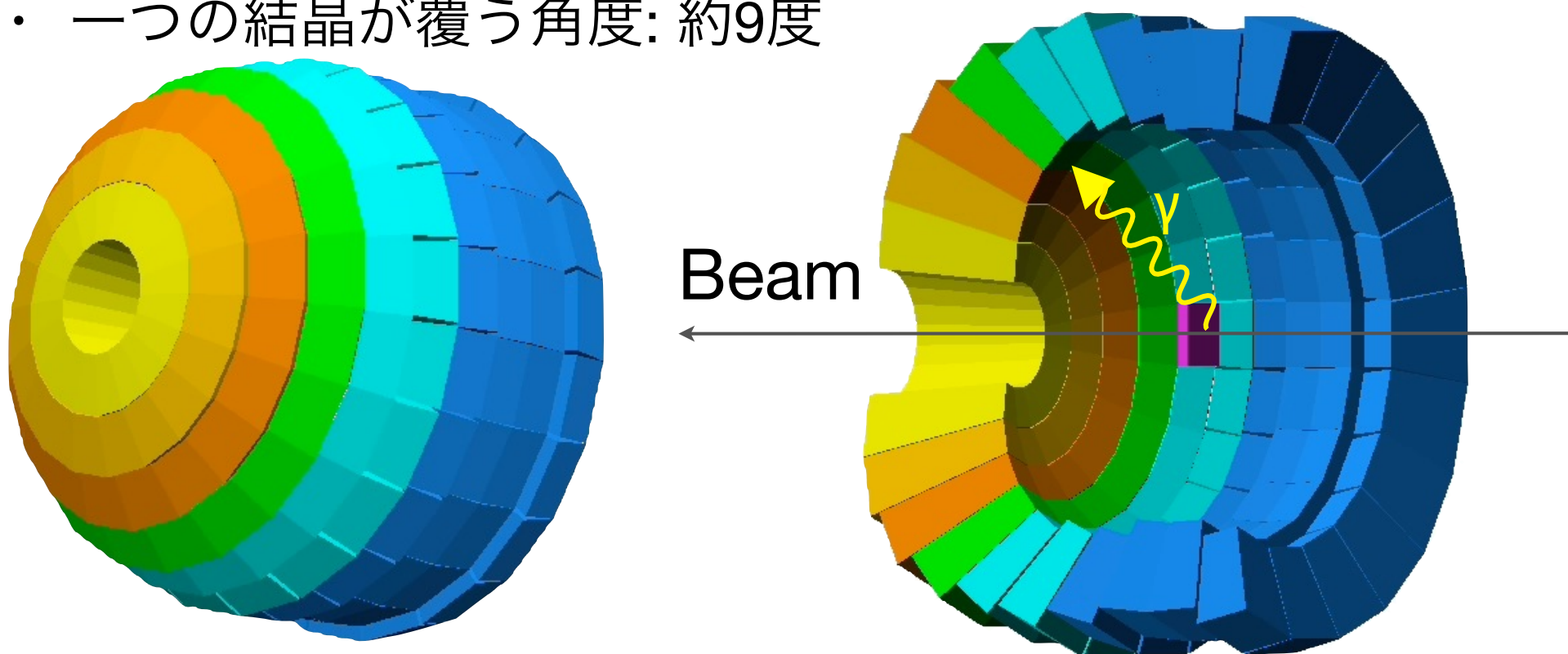
- 前方集中
- ドップラー効果
$$E_{\gamma}^{proj} = E_{\gamma}^{lab} \gamma (1 - \beta \cos \theta)$$
- 低強度不安定核ビーム

前方に検出器
角度測定
高検出効率

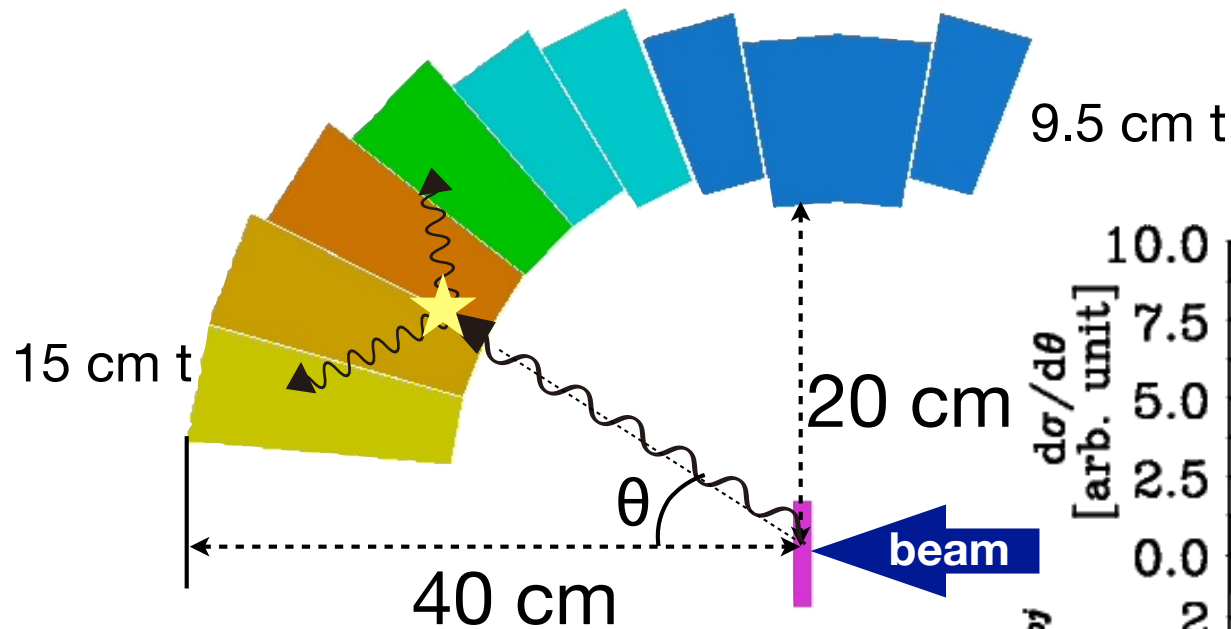


CATANA

- **CA**esium iodide array for γ -ray **T**ransitions in **A**tomistic **N**uclei at high isospin **A**symmetry
- シンチレーター: CsI(Na), 1リングあたり20個
 - 全体で10リング、200個 (現時点では5リング、100個)
- 高検出効率: $\sim 60\%$ for 1MeV γ 線
- 一つの結晶が覆う角度: 約9度



CATANAの構造



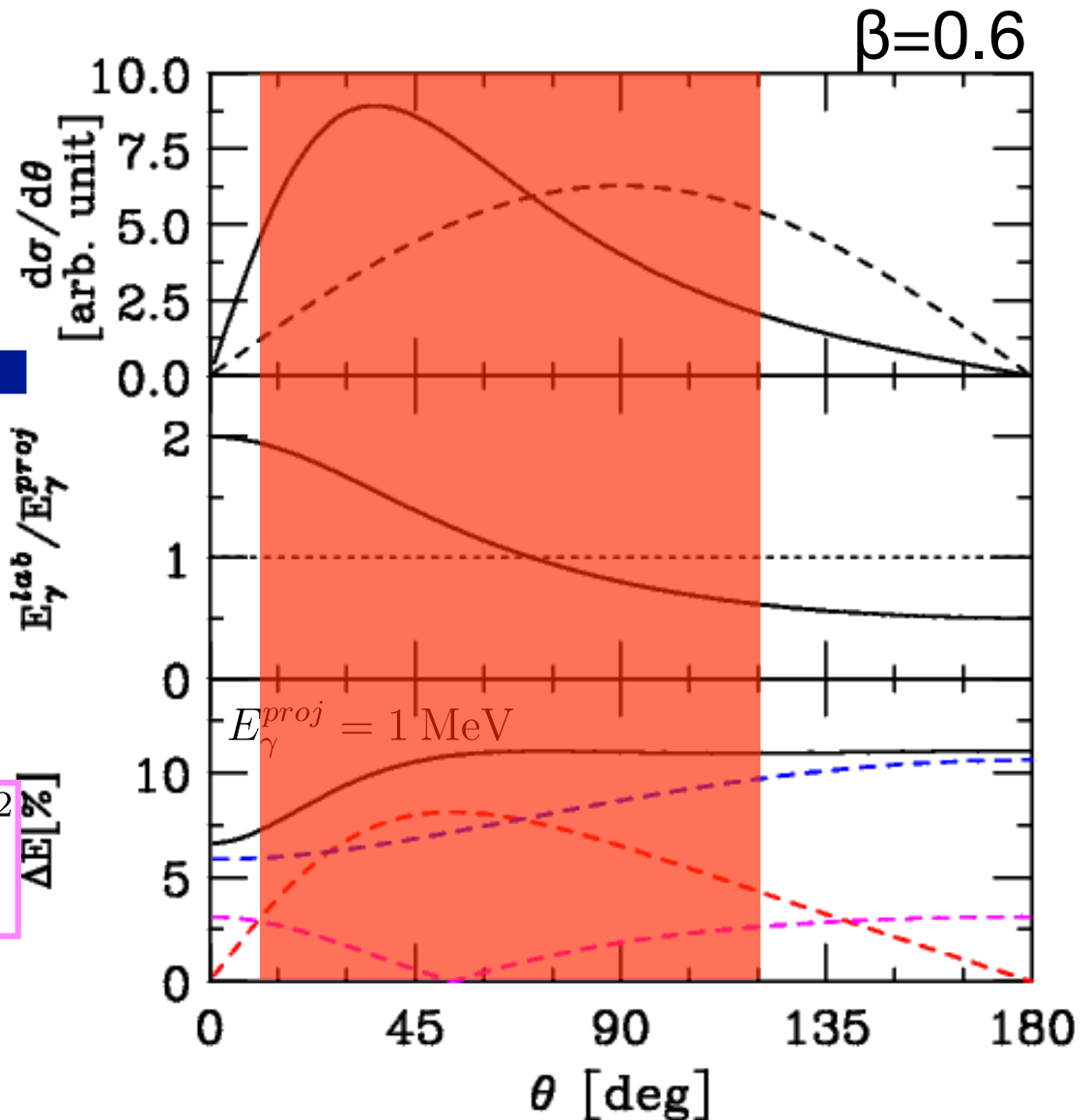
$$E_{\gamma}^{proj} = E_{\gamma}^{lab} \gamma (1 - \beta \cos \theta)$$

角度

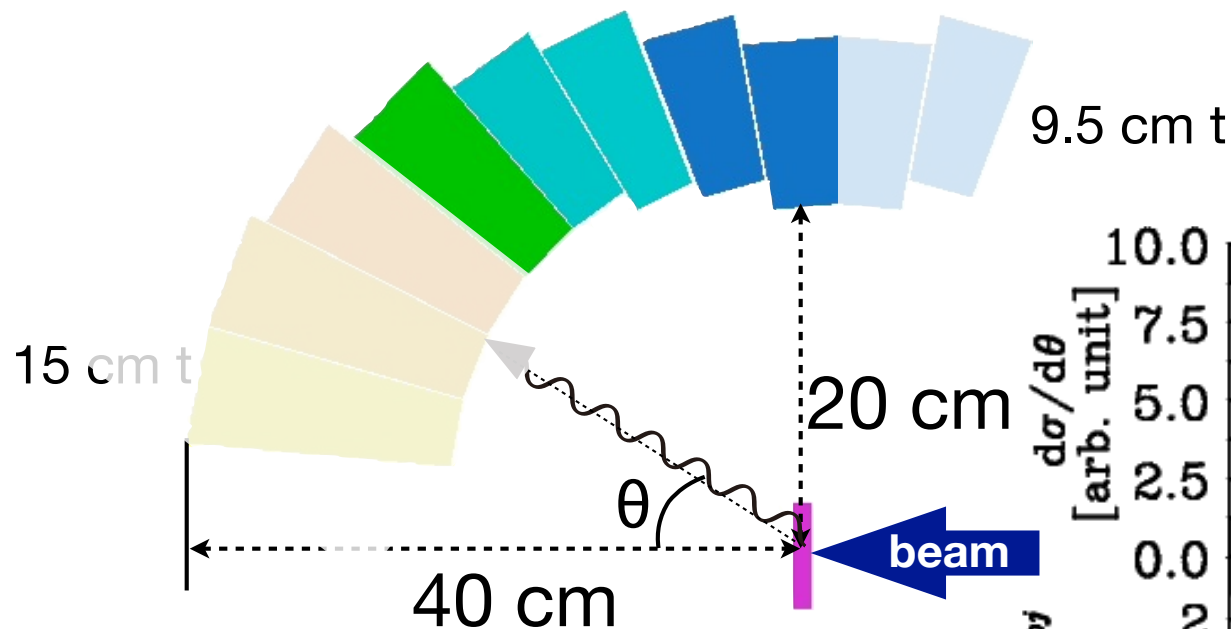
$$\left(\frac{\Delta E_{\gamma}^{proj}}{E_{\gamma}^{proj}} \right)^2 = \left(\frac{\beta \sin \theta}{1 - \beta \cos \theta} \right)^2 (\Delta \theta)^2 + \left(\frac{\beta \gamma^2 (\beta - \cos \theta)}{1 - \beta \cos \theta} \right)^2 \left(\frac{\Delta \beta}{\beta} \right)^2 + \left(\frac{\Delta E_{\gamma}^{lab}}{E_{\gamma}^{lab}} \right)^2$$

ビームの速さ
(標的厚)

検出器



CATANAの構造



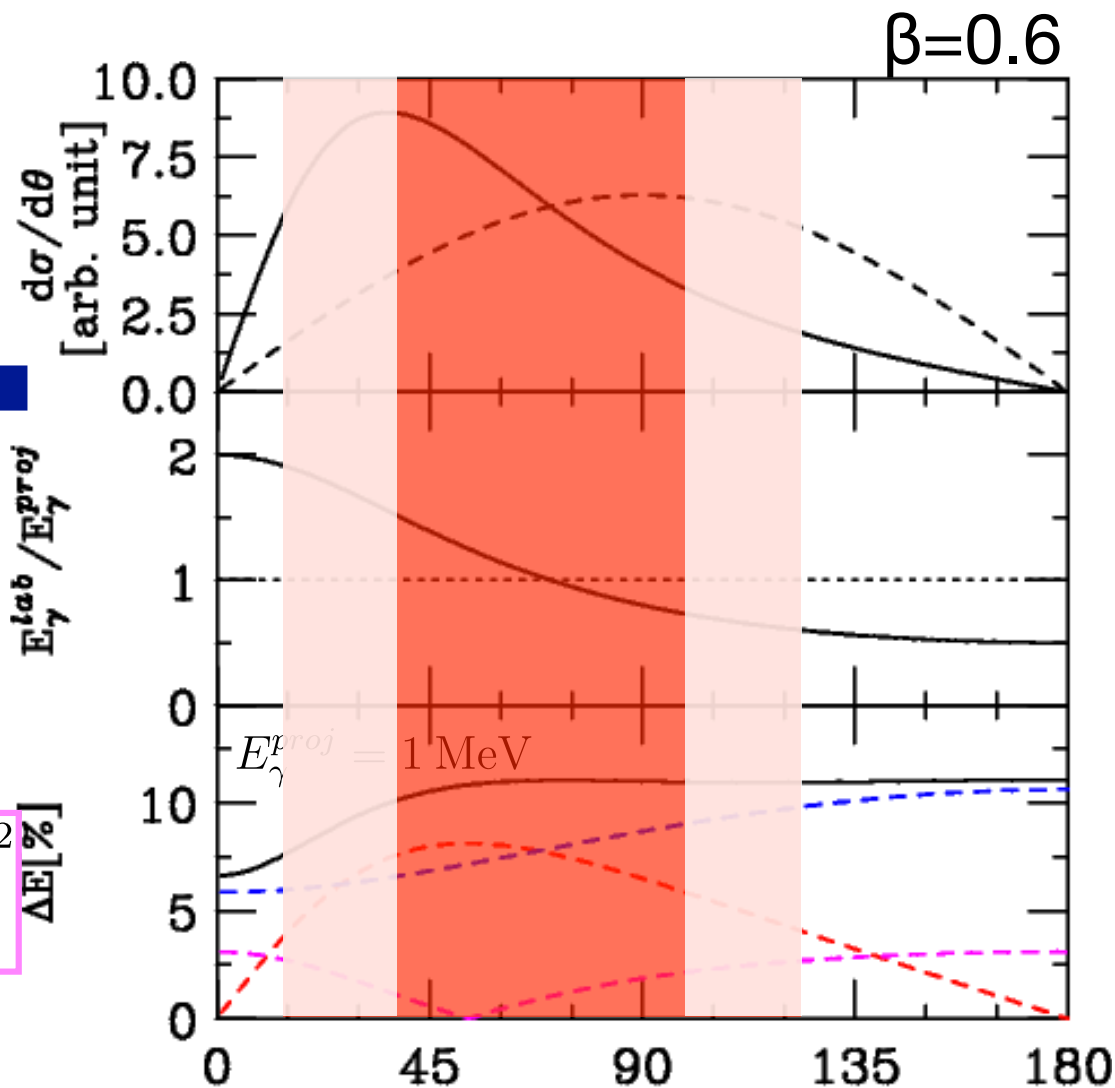
$$E_{\gamma}^{proj} = E_{\gamma}^{lab} \gamma (1 - \beta \cos \theta)$$

角度

$$\left(\frac{\Delta E_{\gamma}^{proj}}{E_{\gamma}^{proj}} \right)^2 = \left(\frac{\beta \sin \theta}{1 - \beta \cos \theta} \right)^2 (\Delta \theta)^2 + \left(\frac{\beta \gamma^2 (\beta - \cos \theta)}{1 - \beta \cos \theta} \right)^2 \left(\frac{\Delta \beta}{\beta} \right)^2 + \left(\frac{\Delta E_{\gamma}^{lab}}{E_{\gamma}^{lab}} \right)^2$$

ビームの速さ
(標的厚)

検出器



結晶100個

検出効率: 25% for 1 MeV γ -ray

CsI(Na)シンチレーター

PMT読出



	CsI(Na)	CsI(Tl)	NaI(Tl)
密度 [g/cm ³]	4.51		3.67
有効原子番号	54		50
放射長 [cm]	1.86		2.6
波長 [nm]	420	560	410
減衰時間 [ns]	630	1000	230
相対光量 [%]	85	45	100

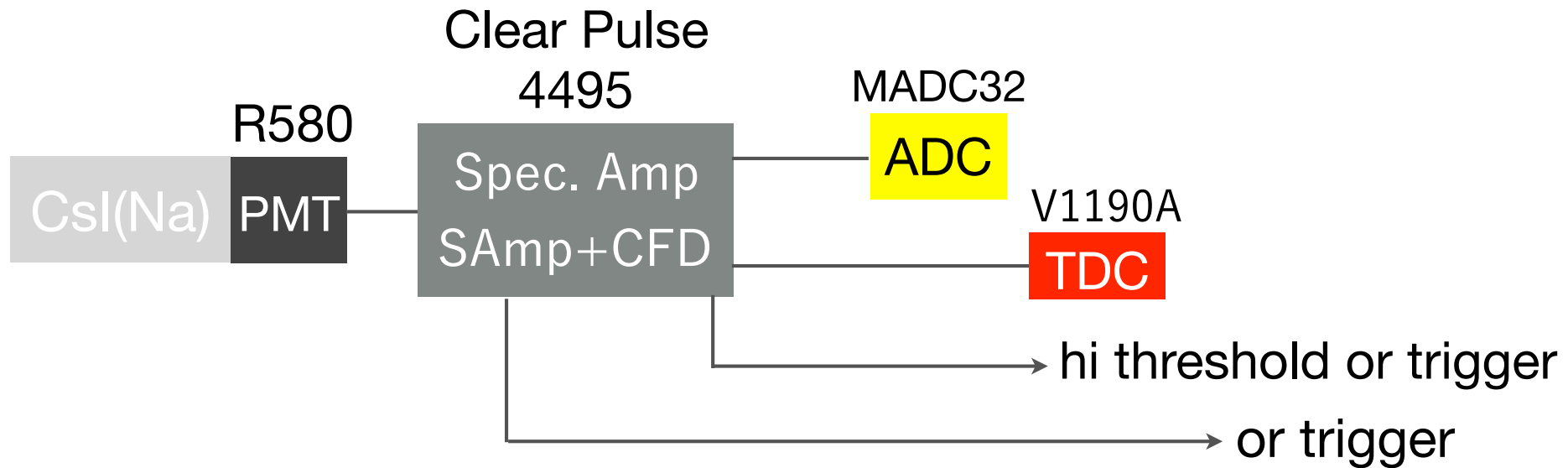
CsI(Na) ↔ NaI(Tl)

高密度、同程度の光量

CsI(Na) ↔ CsI(Tl)

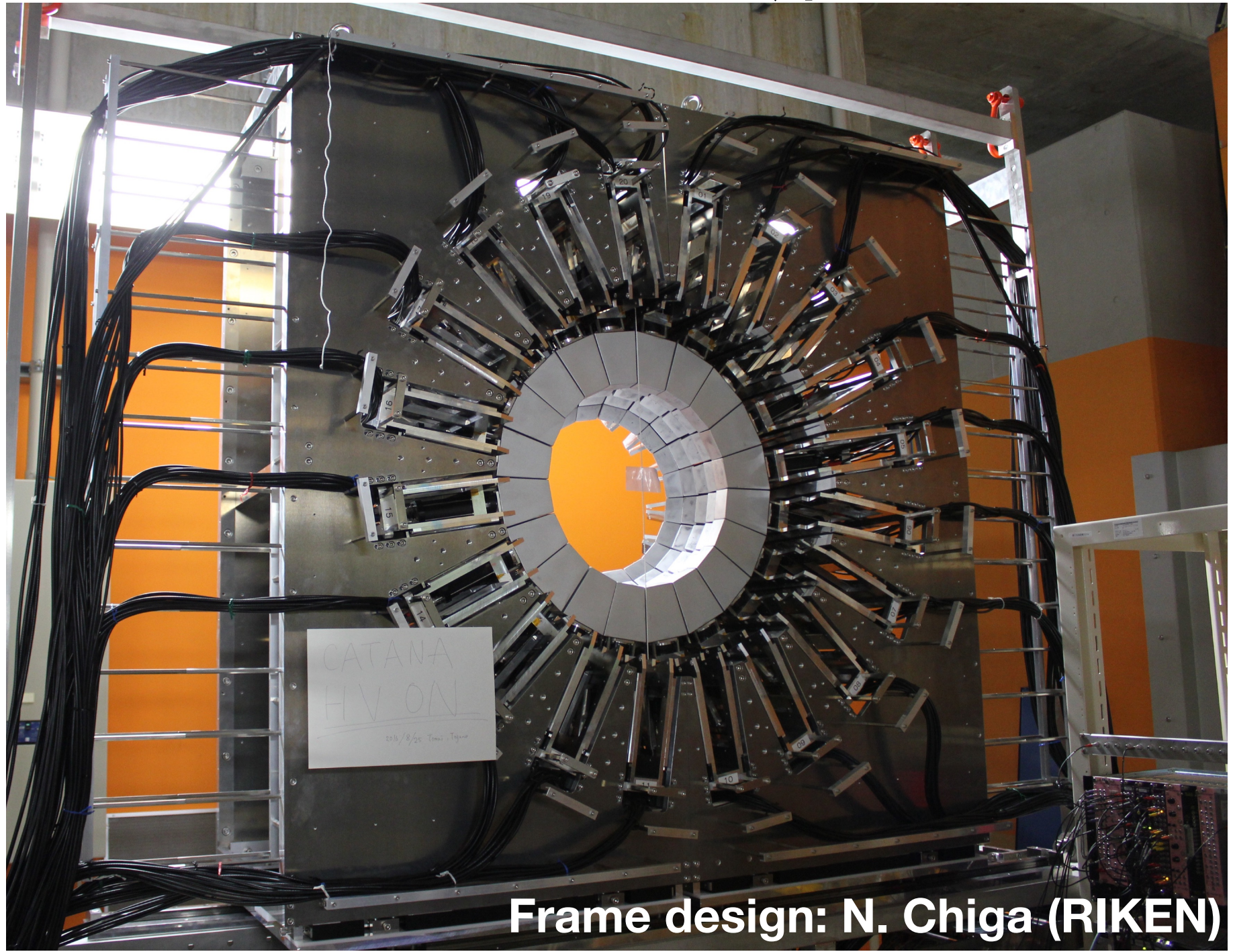
高い光量、より良い時間応答

読み出し回路



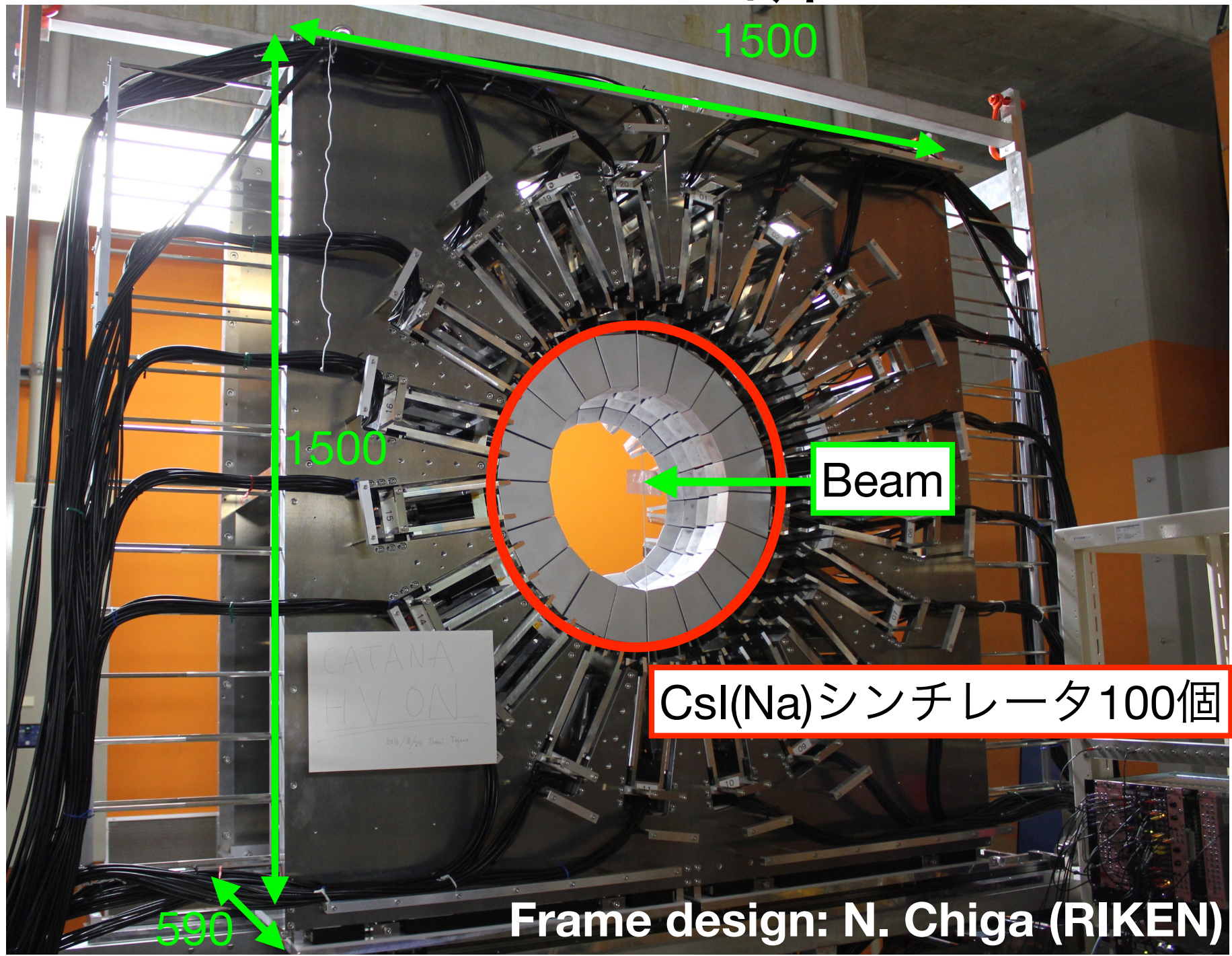
- Lower threshold: ~ 100 keV
- Time constant of amp. to ADC: $2\sim 4$ μsec
- Time constant of amp. to TDC: $20\sim 50$ nsec
- OR trigger output: ~ 160 nsec after a hit at CsI(Na)
- Dead time of CATANA DAQ: ≤ 100 μsec

CATANA @ 理研RIBF

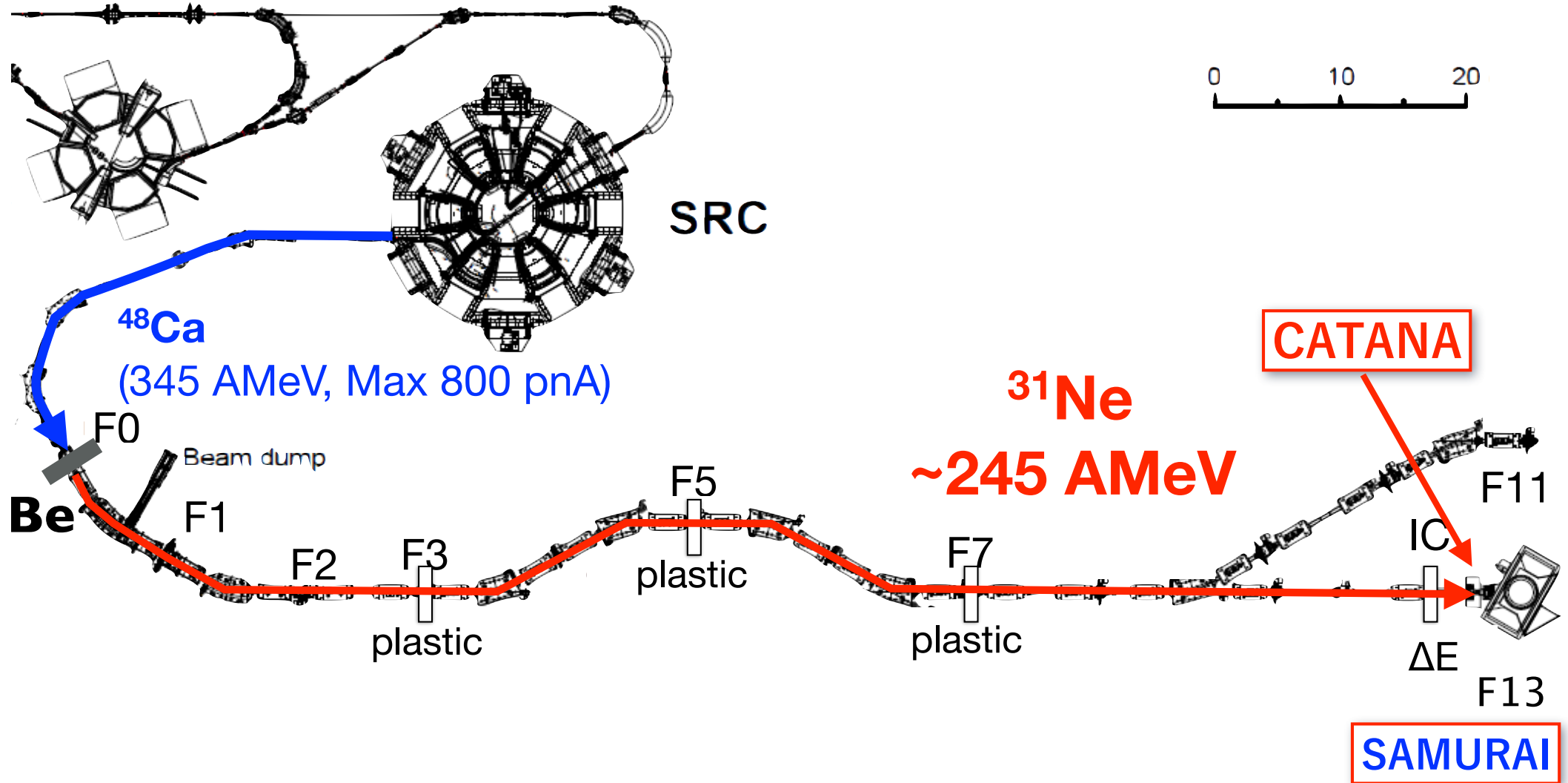


Frame design: N. Chiga (RIKEN)

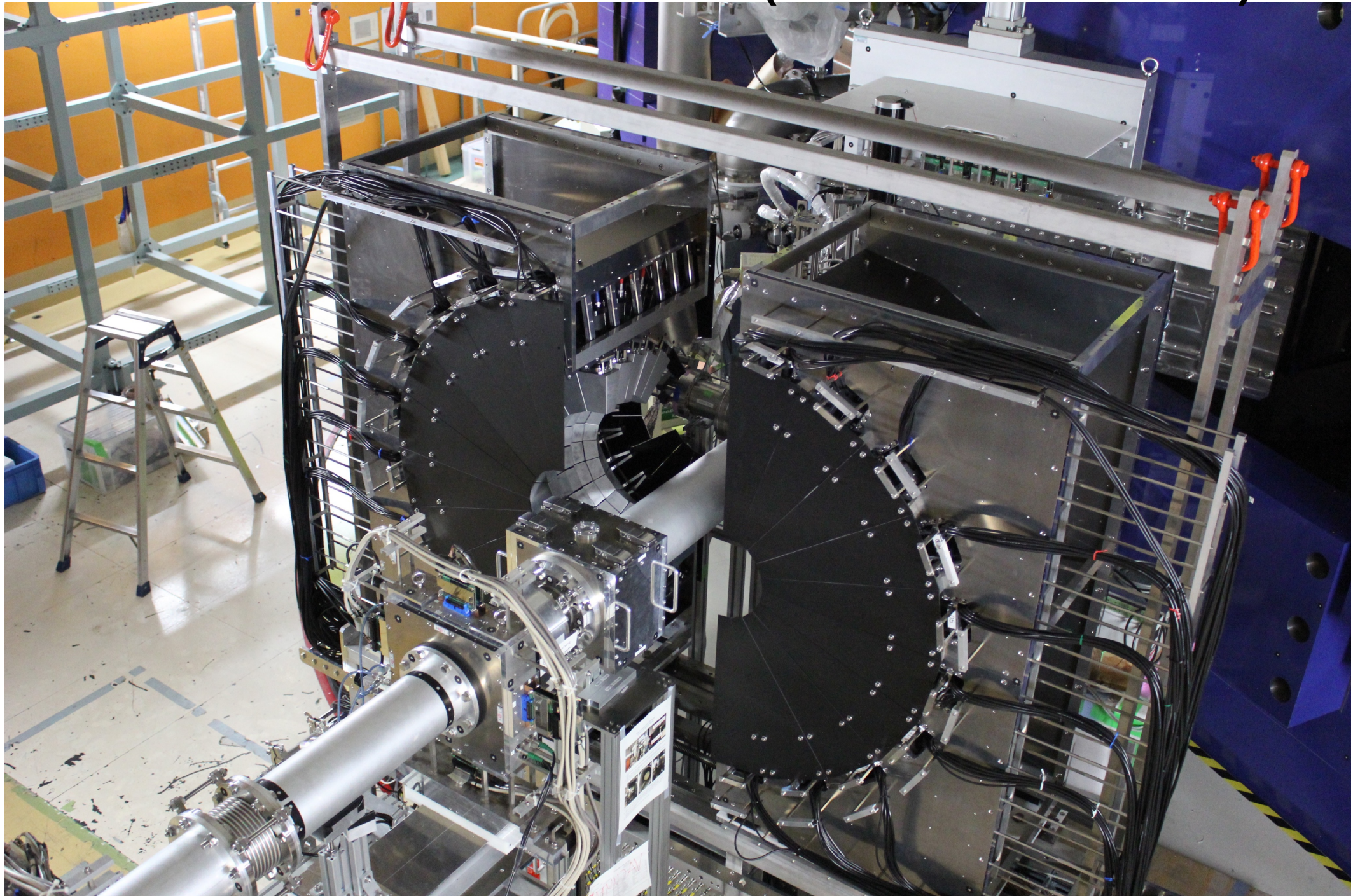
CATANA @ 理研RIBF



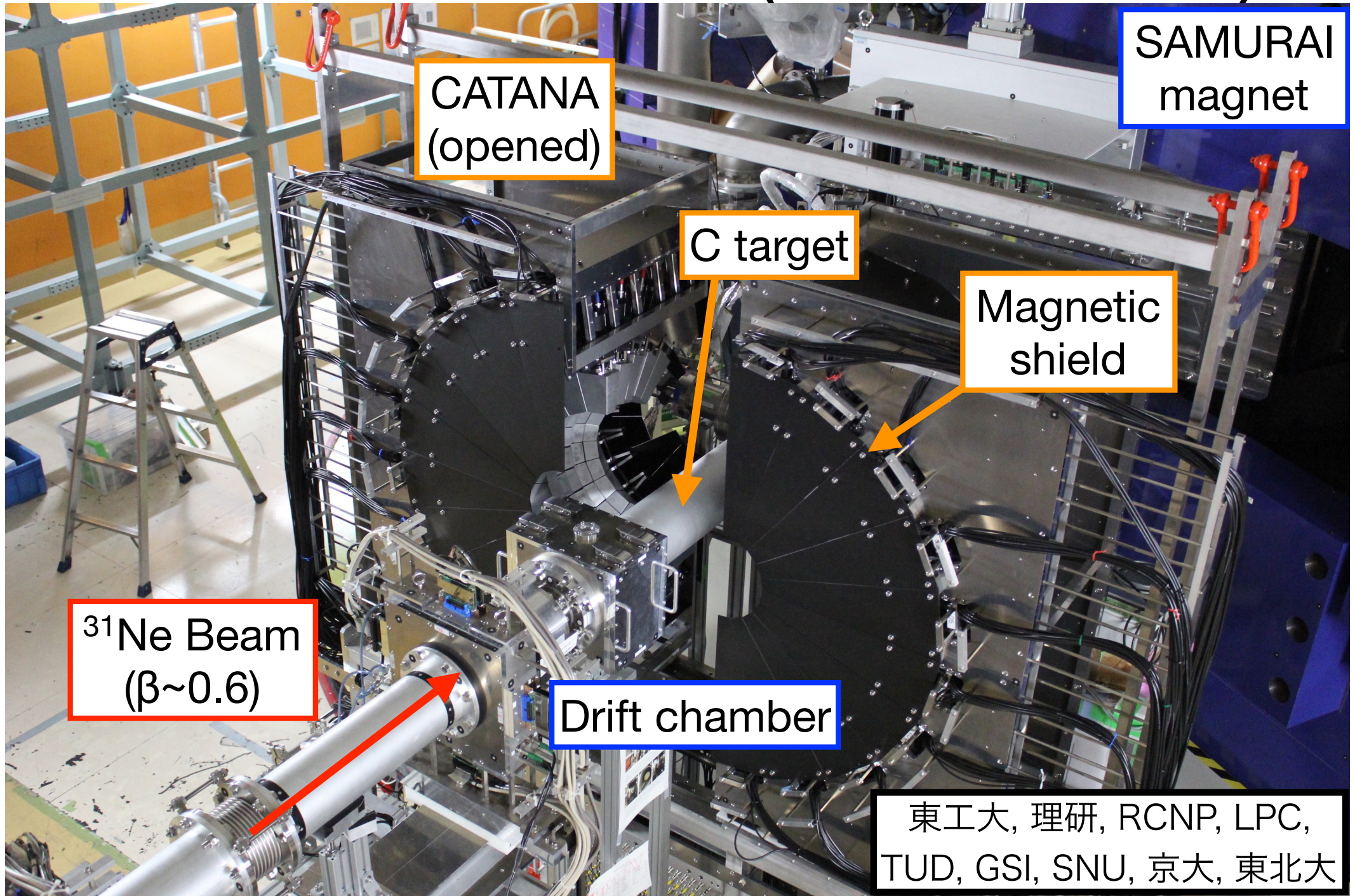
BigRIPS at RIBF



SAMURAI27実験(2016年11月)



SAMURAI27実験(2016年11月)



東工大, 理研, RCNP, LPC,
TUD, GSI, SNU, 京大, 東北大

まとめ

- CsI(Na)シンチレータを用いた γ 線検出器CATANAが完成。
 - 60%の検出効率を得るにはもう100個結晶が必要。
- 2016年11月に理研仁科センターで行われた ^{31}Ne の励起状態探索実験にて初使用。
 - CATANAで既に複数(既知&未知)の γ 線が観測。
 - CATANAが正常に動作。
- 2017年にCa同位体の電気双極子応答測定に使用
 - → 核物質の状態方程式