

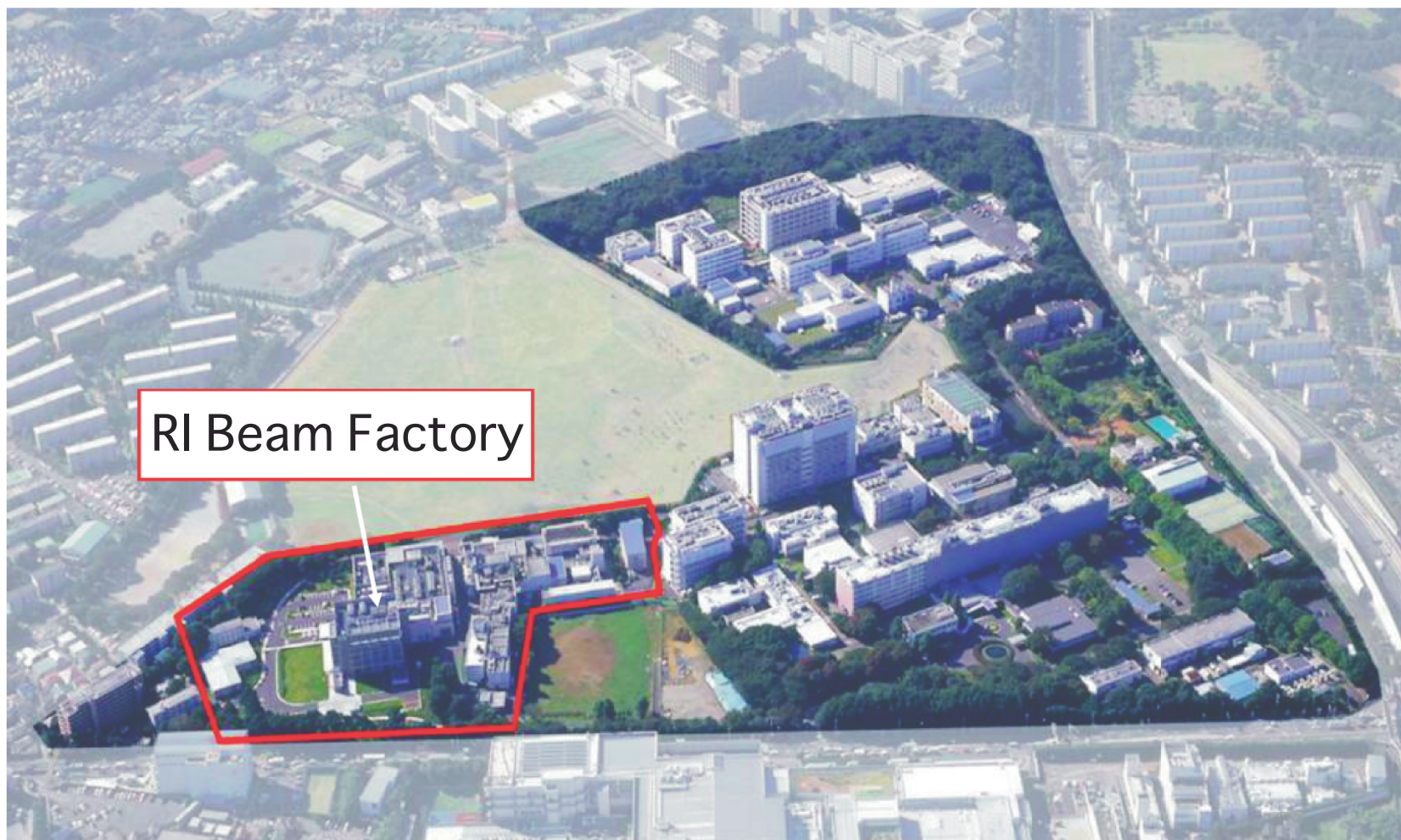
SAMURAI Spectrometer

小林俊雄（東北大理）

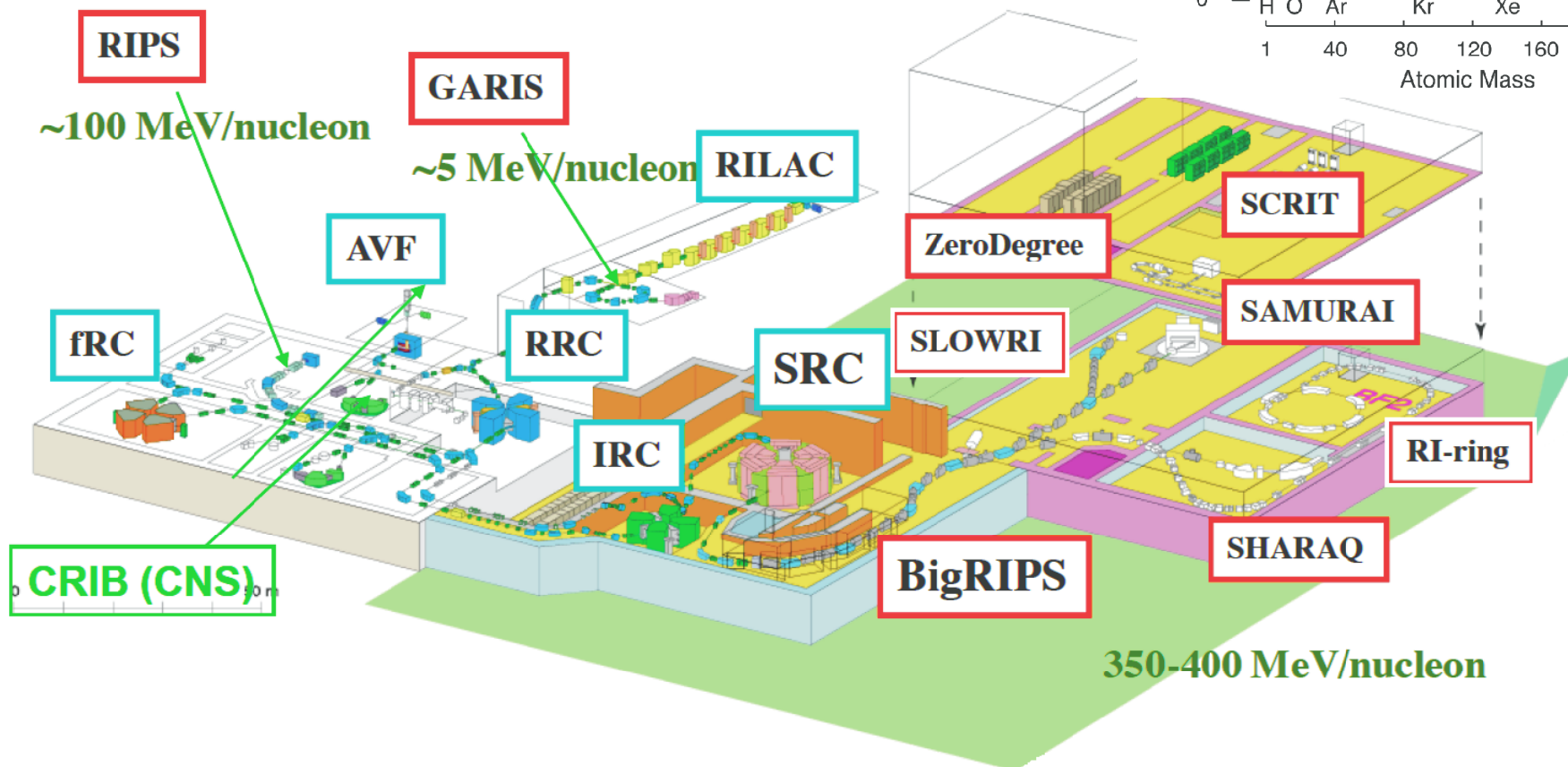
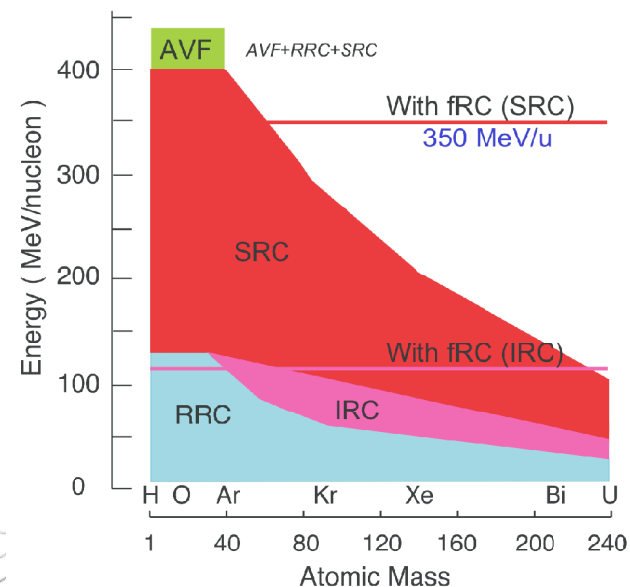
RIビーム用超伝導多粒子磁気分析器

Superconducting Analyser for MULTI particles
from RAdio Isotope Beams with 7 Tm of bending power

理化学研究所 和光キャンパス



- 2006年 12月 : 1st beam
- 2007年 3月 : Big RIPS comissioning
- 2008年 11-12月 : ZeroDegree comissioning
Day One実験(2-4)
- 2009年 3月 : SHARAQ comissioning



* 加速器

* RILAC, AVF, RRC

* fRC, IRC, SRC

* 2次ビームライン

* Big RIPS

* (ビームライン)スペクトロメータ

* Zero Degree Spectrometer

* SHARAQ [CNS]

* 実験装置

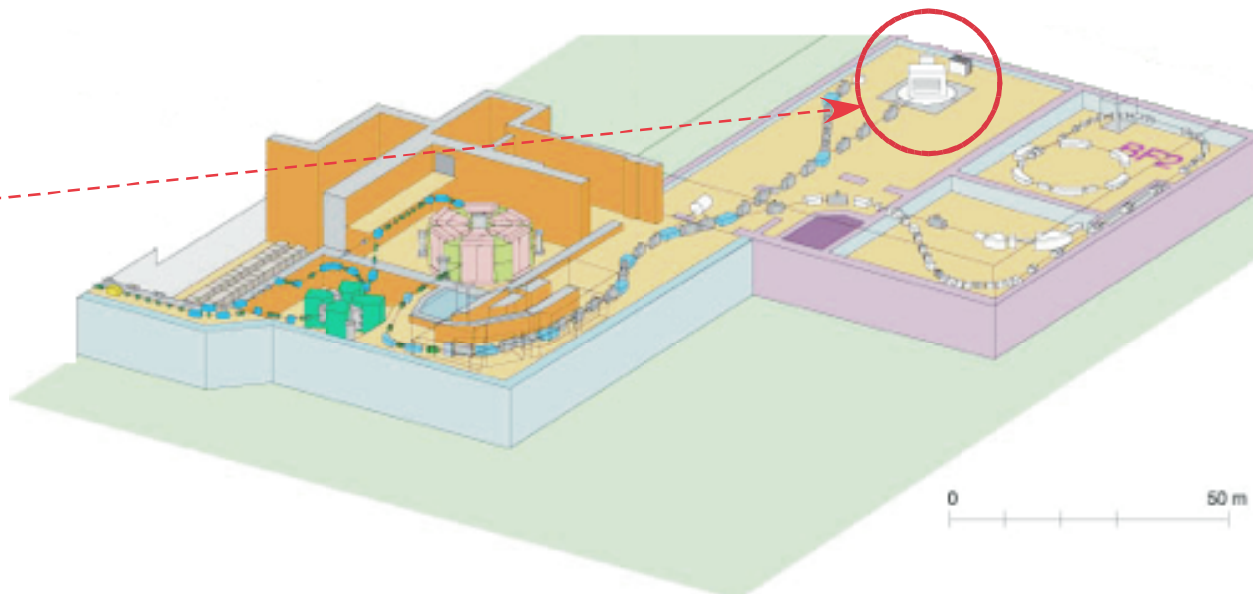
* SAMURAI

* SCRIT

* SLOWRI

* RI-ring

* ...



* 建設： 2008年度 - 2011年度（4年間）

* 予算： 4年丸債

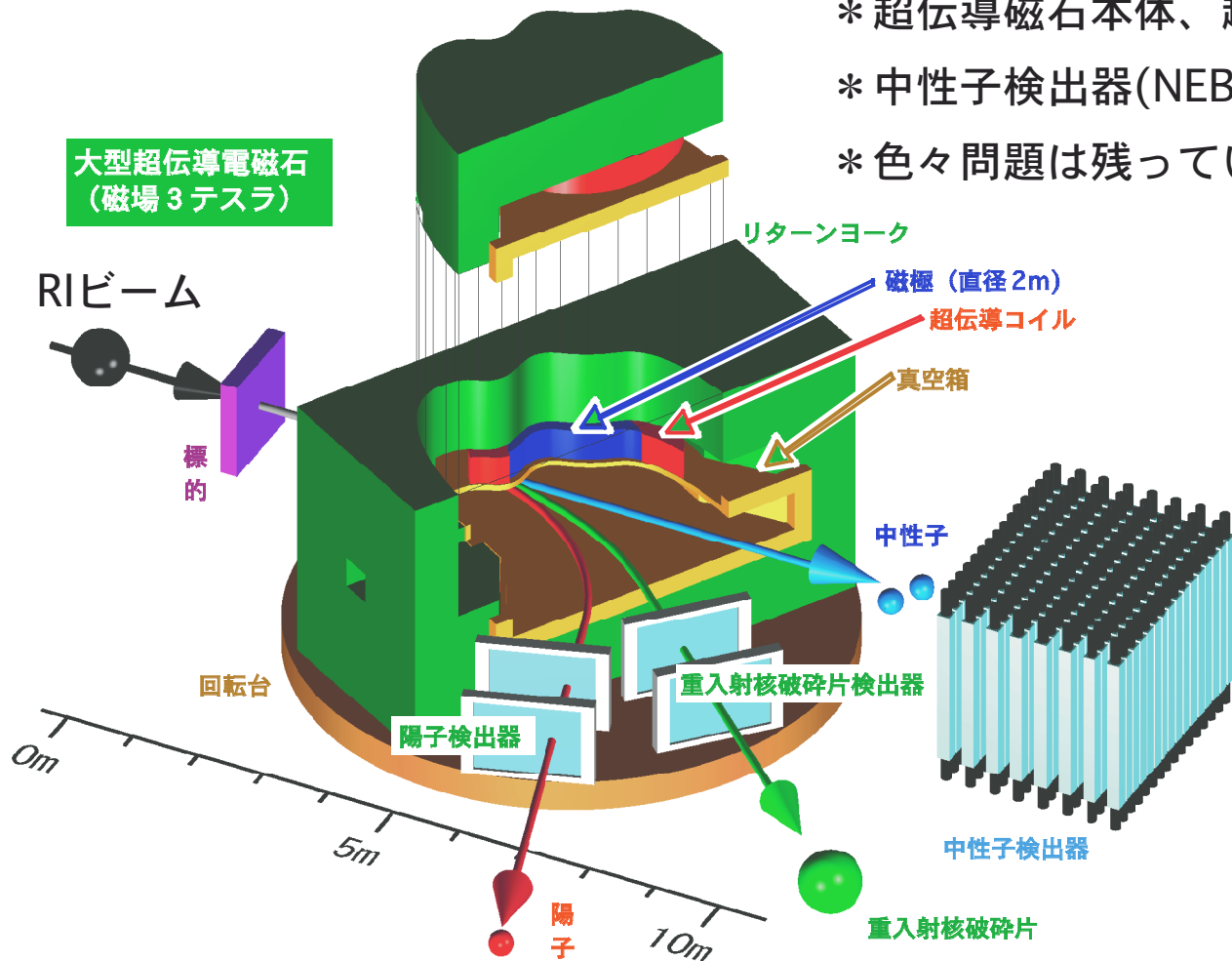
* 2008年度中に全ての契約を済ませる必要があった。

* 現状：

* 超伝導磁石本体、超伝導Quad.-Triplet

* 中性子検出器(NEBULA)、ビーム/重破碎片/陽子検出器

* 色々問題は残っているが、前進中



以下現状報告

○ Invariant-Mass 分光

* (γ, n)型： Coulomb breakup

soft GDR, GDR: collective motion

non-resonant excitation: single-particle orbit

* (γ, p)型: Coulomb breakup

(p, γ) radiative capture反応の逆反応： 天体核物理

* 直接反応に伴う Invariant-mass spectroscopy : (p, p') etc

○ Missing-Mass分光での励起核の崩壊モードのタグ

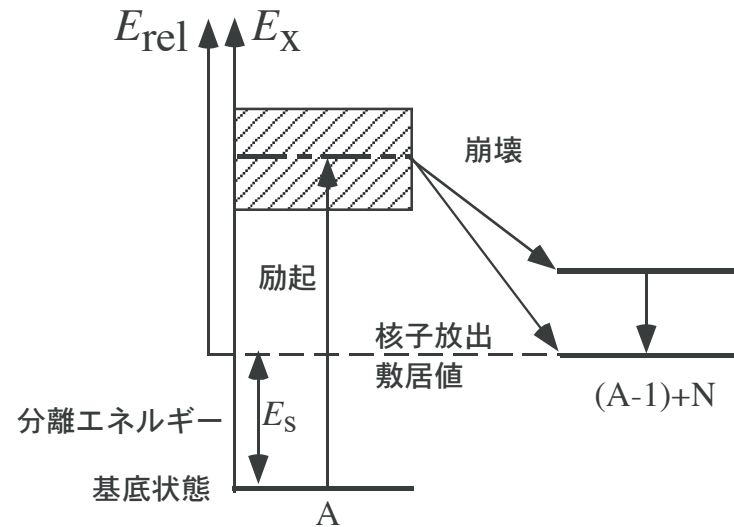
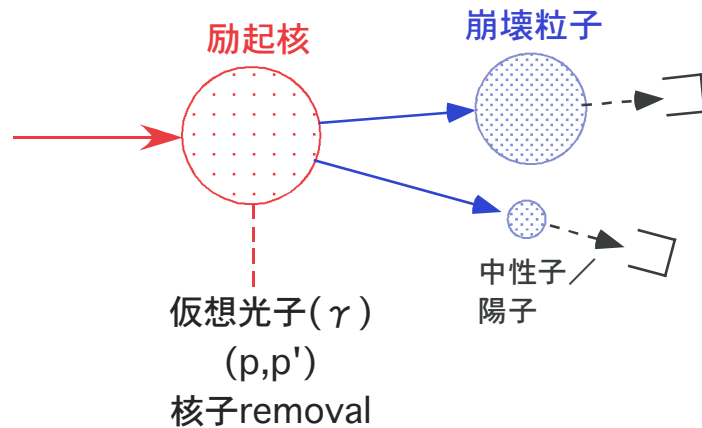
* option: Missing-Mass(target) + Invariant-Mass (projectile)

○ 偏極重陽子散乱による 3 体力

○ 核物質、状態方程式

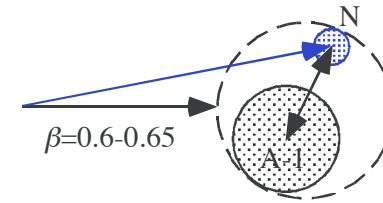
○

● Invariant-Mass 分光



$$E_x = \sqrt{\left(\sum E_i\right)^2 - \left(\sum p_i\right)^2} - \sum M_i + E_s$$

○ 測定領域 :



中性子/陽子側 : $E_{rel} = 3(10)\text{MeV} @ 250\text{MeV}/A$

角度 : $\theta_n \leq 6(11)^\circ$

運動量 $\Delta p/p \leq 13(24)\%$

○ 分解能 : $\sigma(E_{rel}) \approx 0.2(0.4)\sqrt{E_{rel}} [\text{MeV}]$

運動量(F)

速度(n)

角度(n)

$$\frac{\sigma_R}{R} \approx \frac{1}{100}$$

$$\frac{\sigma_\beta}{\beta} \approx \frac{6}{1000}$$

$$\sigma(\theta_{12}) \approx \frac{5}{1000}$$

○ 重粒子のPID :

質量数 A
 原子番号 Z
 (電荷 Q)



エネルギー損失
 運動量 (磁気分析)
 速度 (TOF)

又は

エネルギー損失
 運動量 (磁気分析)
 全運動エネルギー

○ 分解能

$$\frac{\sigma_A}{A} \approx \frac{0.2}{100}$$



電荷 $\sigma_Z \approx 0.2$

運動量 $\frac{\sigma_R}{R} \approx \frac{1}{700}$

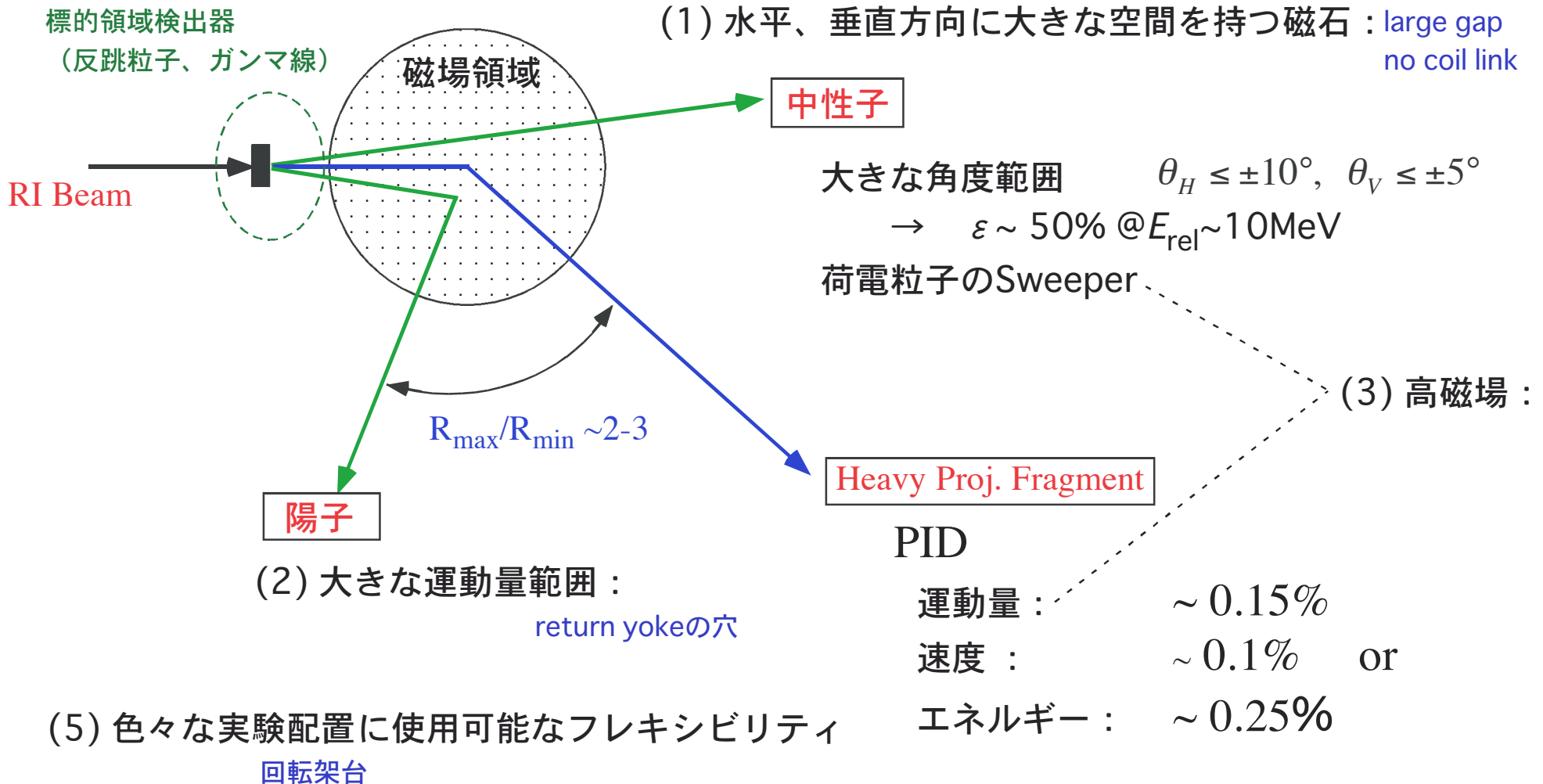
速度 $\frac{\sigma_\beta}{\beta} \approx \frac{1}{1100}$

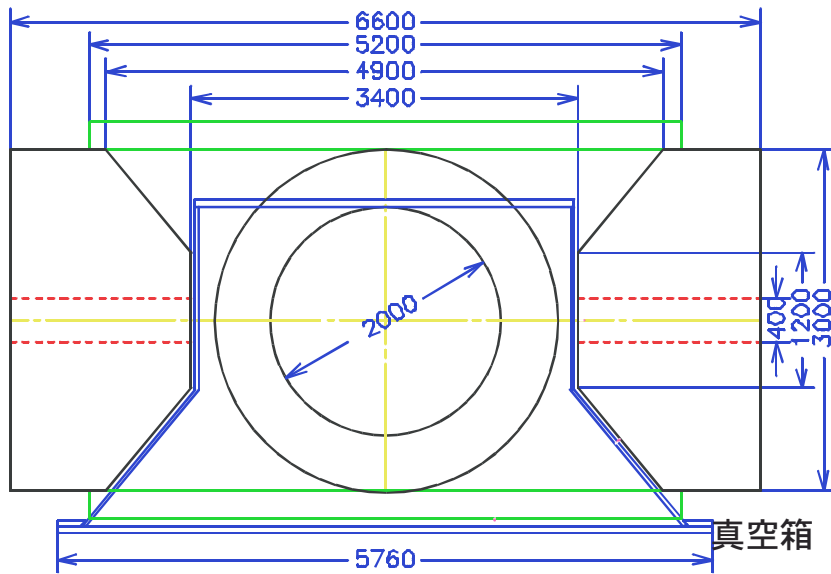
又は エネルギー $\frac{\sigma_E}{E} \approx \frac{1}{400}$

○ 問題点 : Fully-stripped ion ($Q=Z$)しか扱えない (要アイデア)

→ 質量数 < 100

(4) 小さい漏磁場 : Field cramp





Pole: Diameter= 2 m,
Gap= 0.8(0.88) m

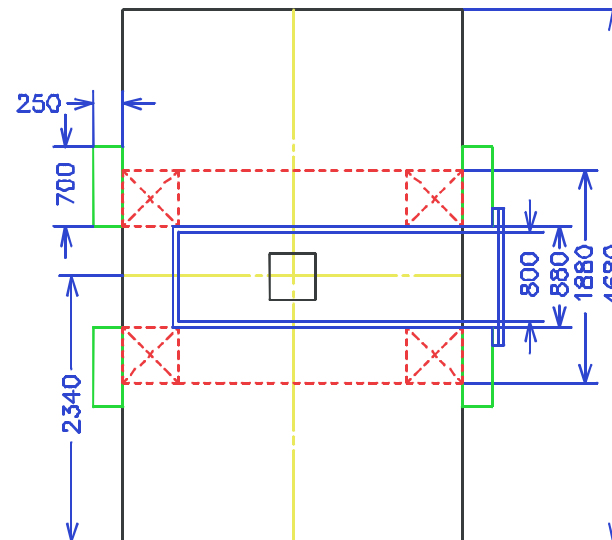
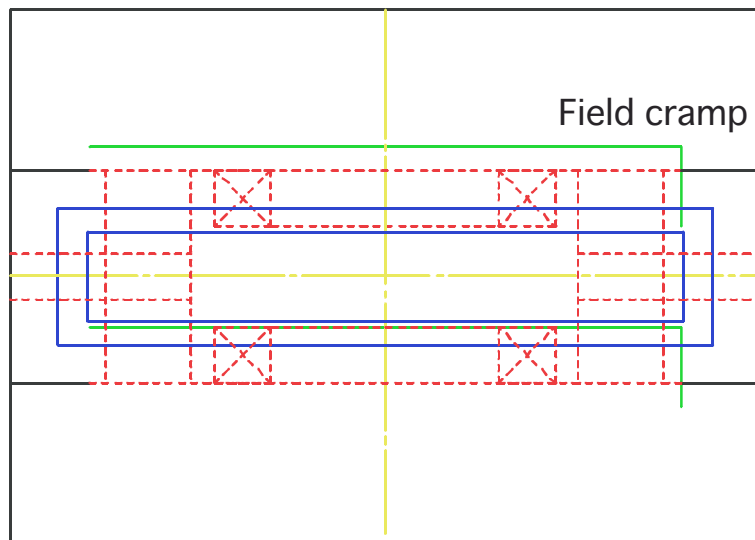
Field: 3.1 T @3.9 MAT

Stored Energy: 36 MJ

BL: 7 Tm

Current: 750 A

Weight(Yoke): 640 ton



* 密巻コイル
180x180mm²
60A/mm²

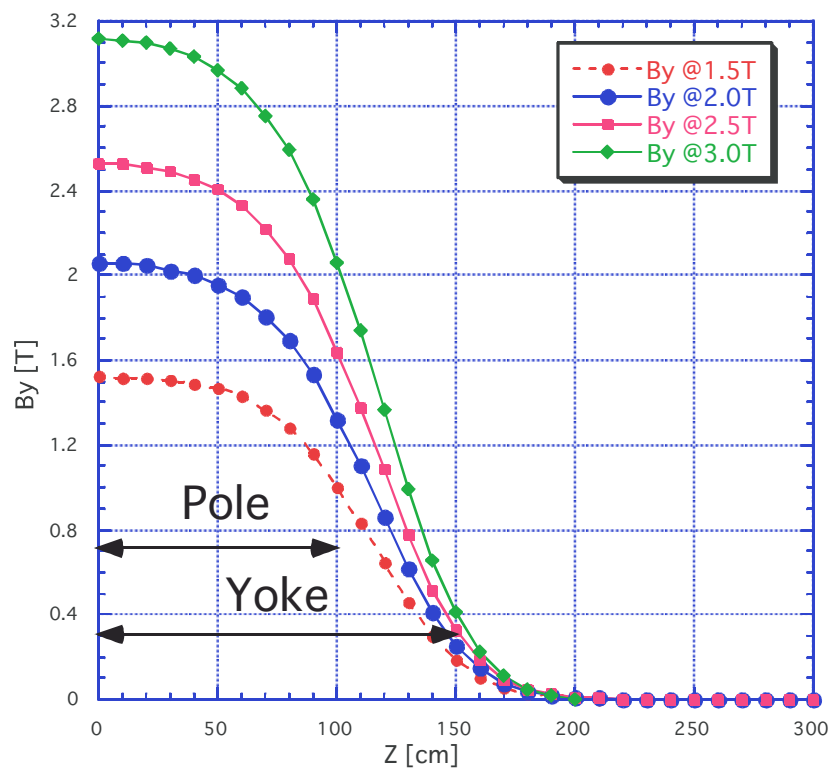
* 小形冷凍機
@4K, 80K



○ 最適化 :

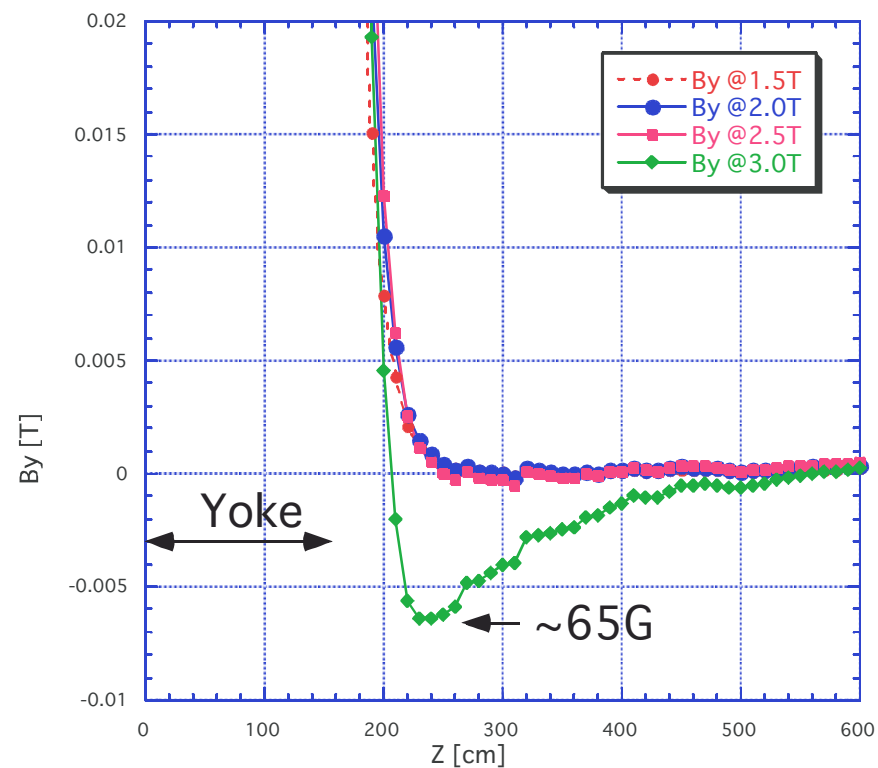
- * Return Yoke : 厚さ
- * Field Cramp : 位置、厚さ

○ 磁場分布

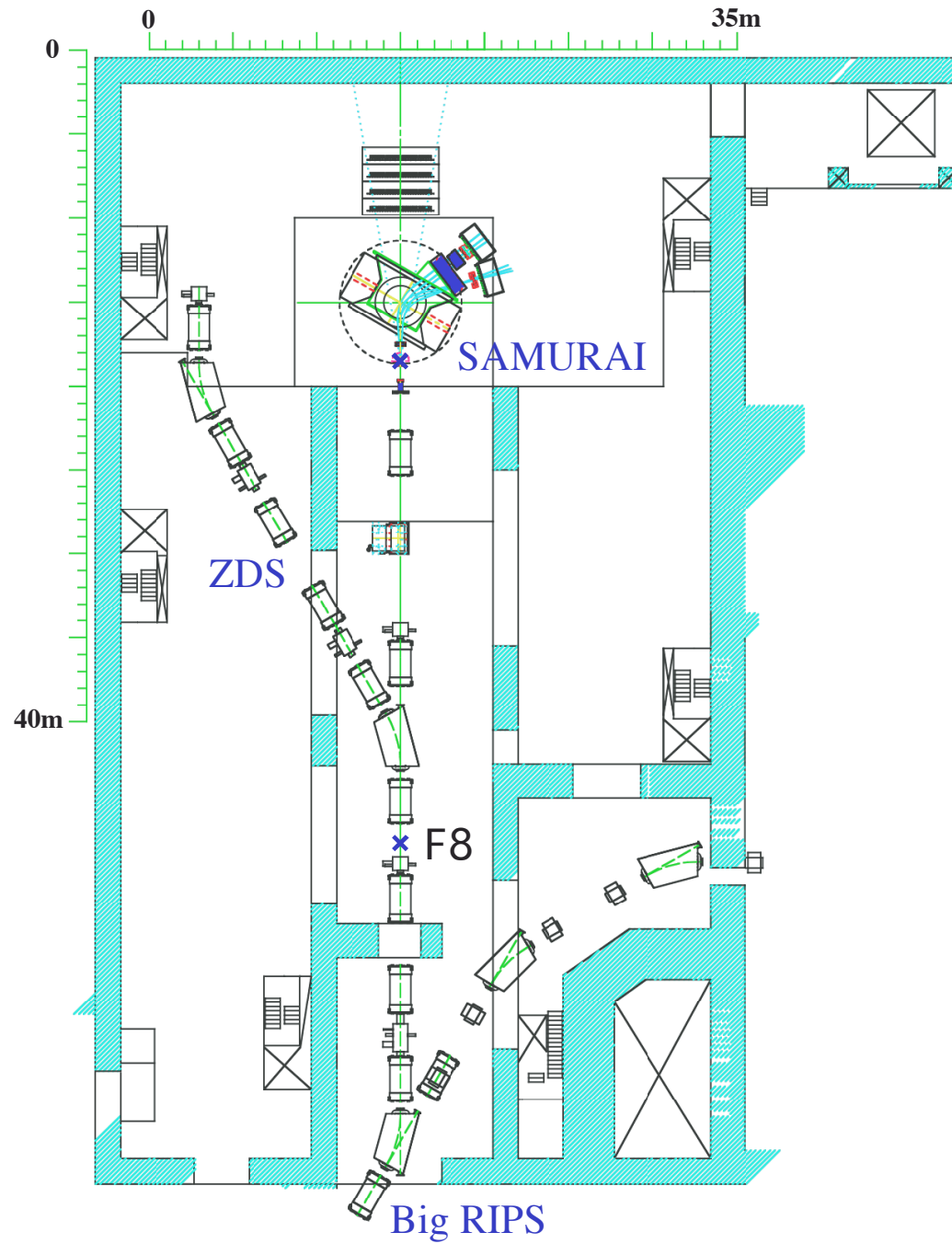


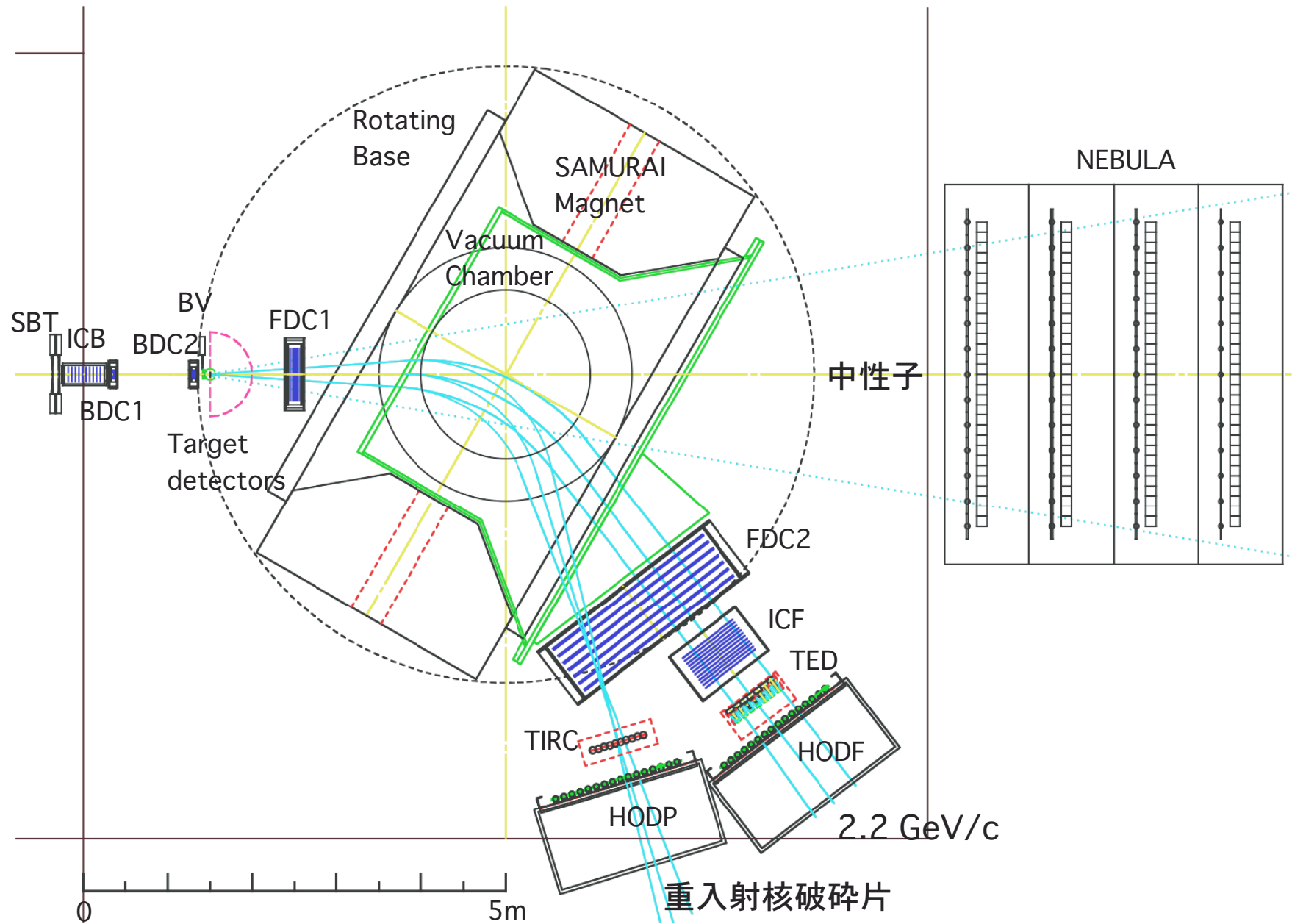
$B(\text{side yoke}) \quad \sim 1.8 \text{ T} @ 3 \text{ T}$
 $B(\text{hole}) \quad \sim 200 \text{ G}$

○ 漏磁場(Fringe Field)

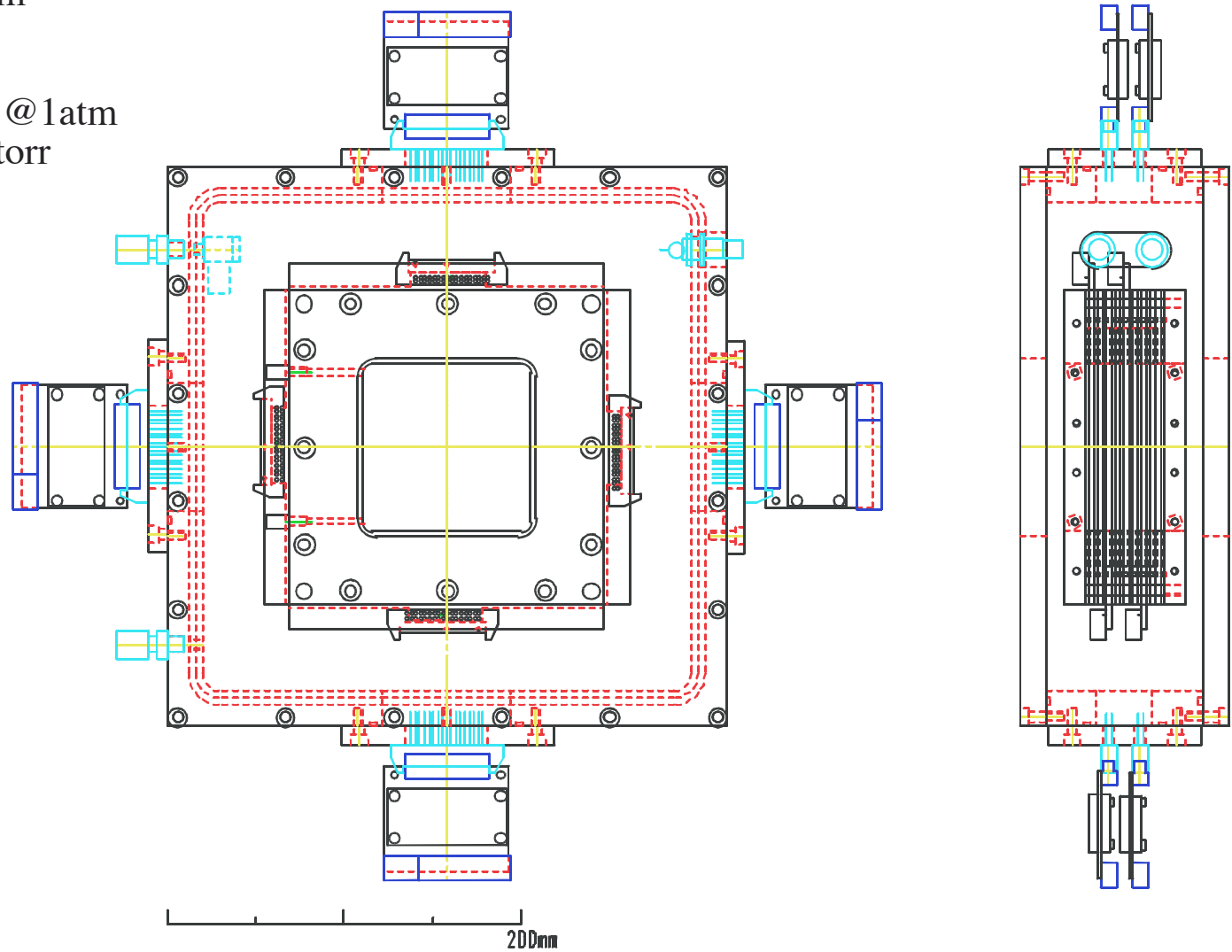


2.5T以下では非常に良い磁石

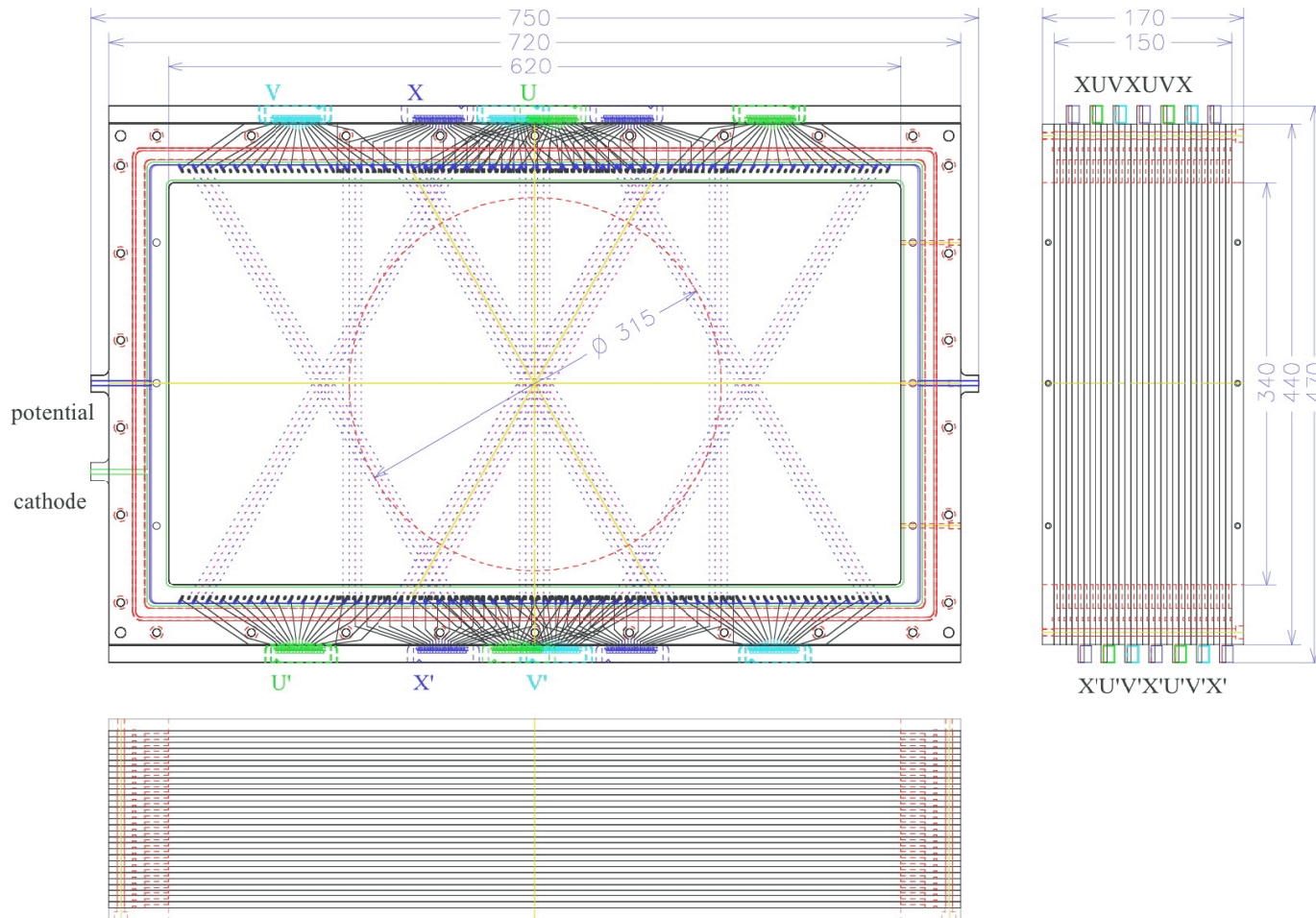




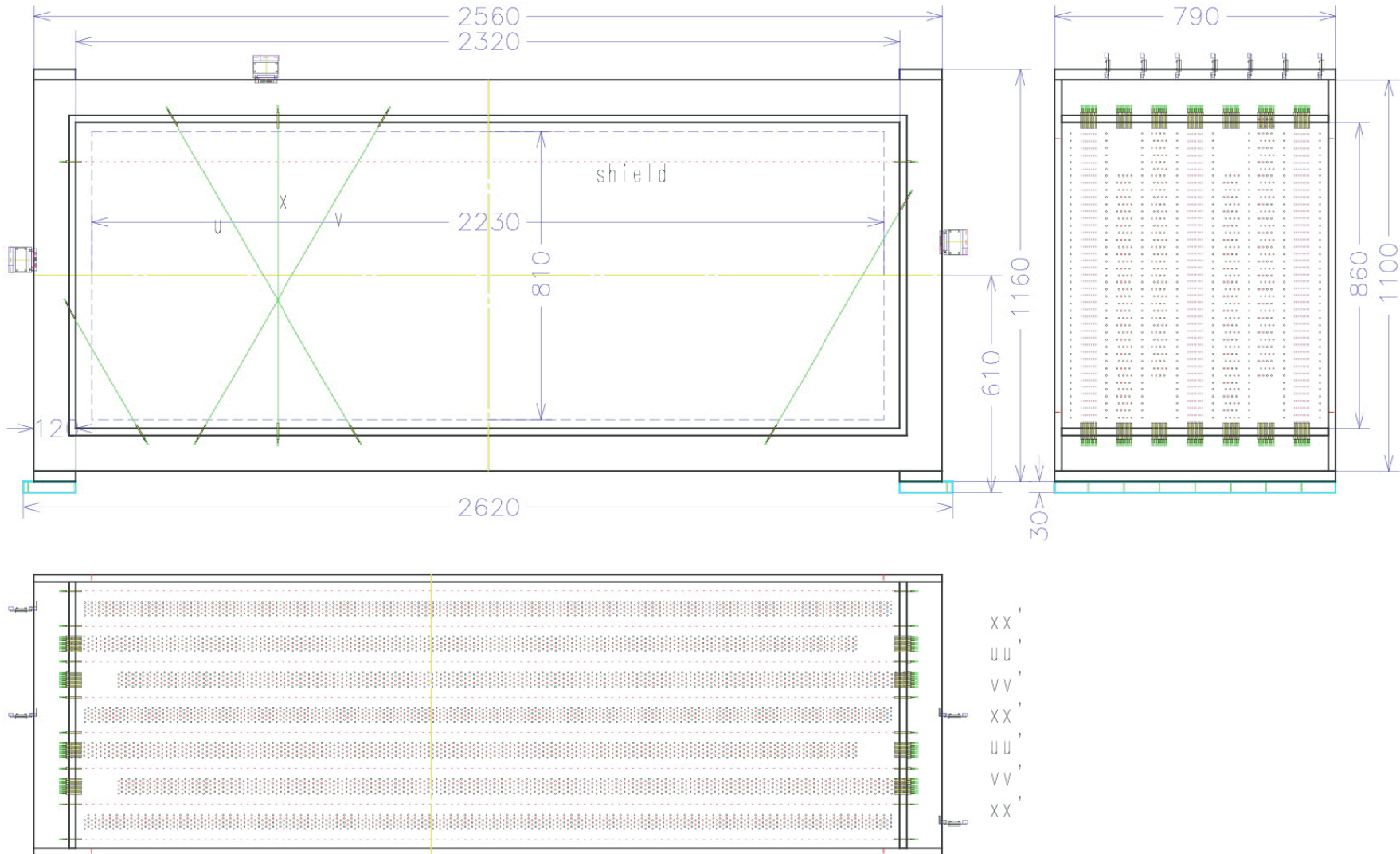
Drift dist.: $\pm 2.5\text{mm}$ for high rate
 Half Gap: 2.5mm
 Eff. Area: 80mm x 80mm
 Config: xx'yy'xx'yy'
 #Anodes: 256
 Gas: He+60%CH₄ @ 1atm
 iC₄H₁₀ @ 100torr



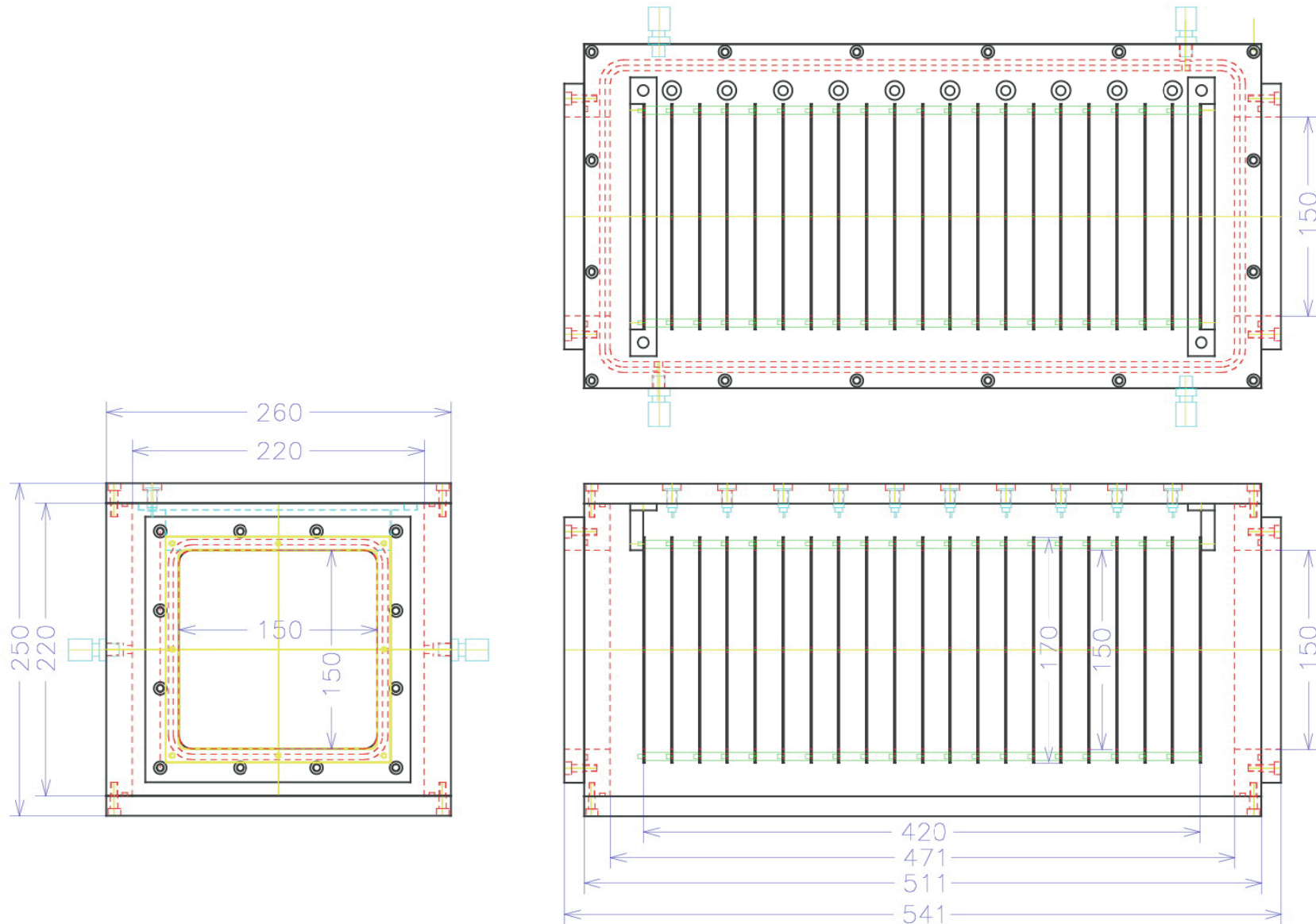
Drift dist.: $\pm 5\text{mm}$
 Half Gap: 5mm
 Eff. Area: $\phi 315\text{mm}$
 #Anodes: 448
 Config: xx'uu'vv'xx'uu'vv'xx'
 Gas: He+60%CH₄ @1atm, iC₄H₁₀ @100torr



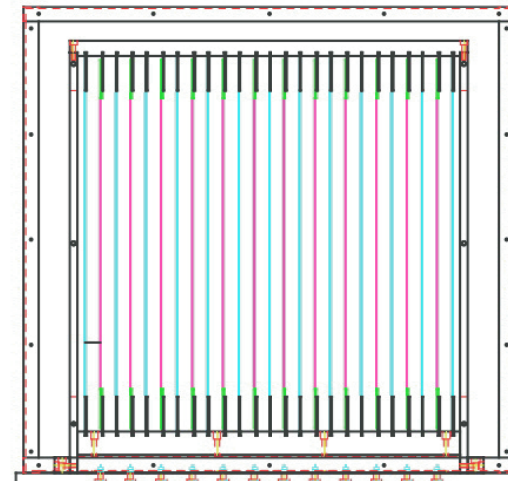
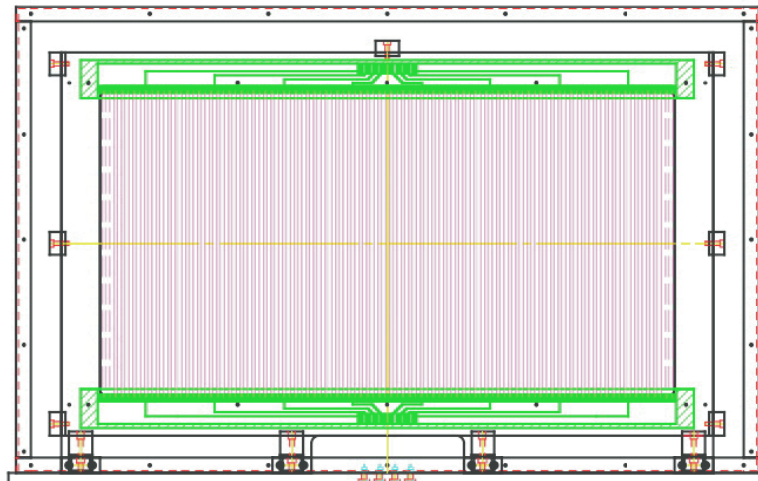
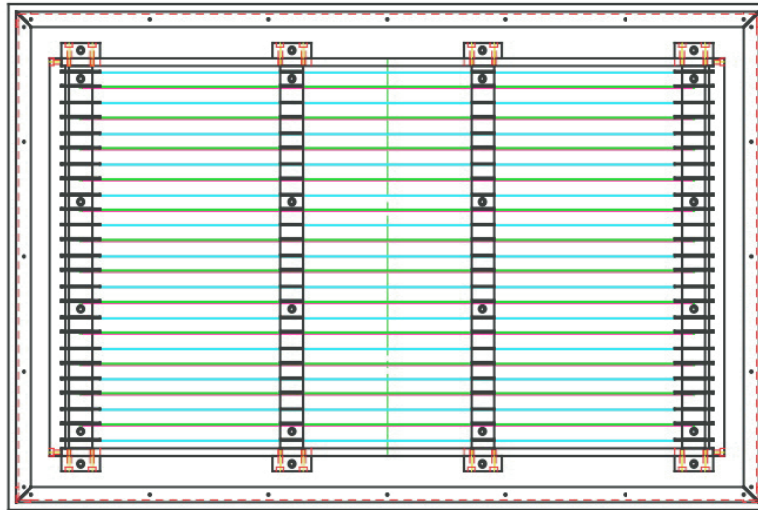
Drift dist.: $\pm 10\text{mm}$, Hexagonal cell
 Eff. Area: $2.23\text{m(H)} \times 0.81\text{m(V)} \times 0.79\text{m(D)}$
 #Anodes: 1568
 Config: xx'uu'vv'xx'uu'vv'xx'
 Gas: He+60%CH₄ @ 1atm, iC₄H₁₀ @ 100torr



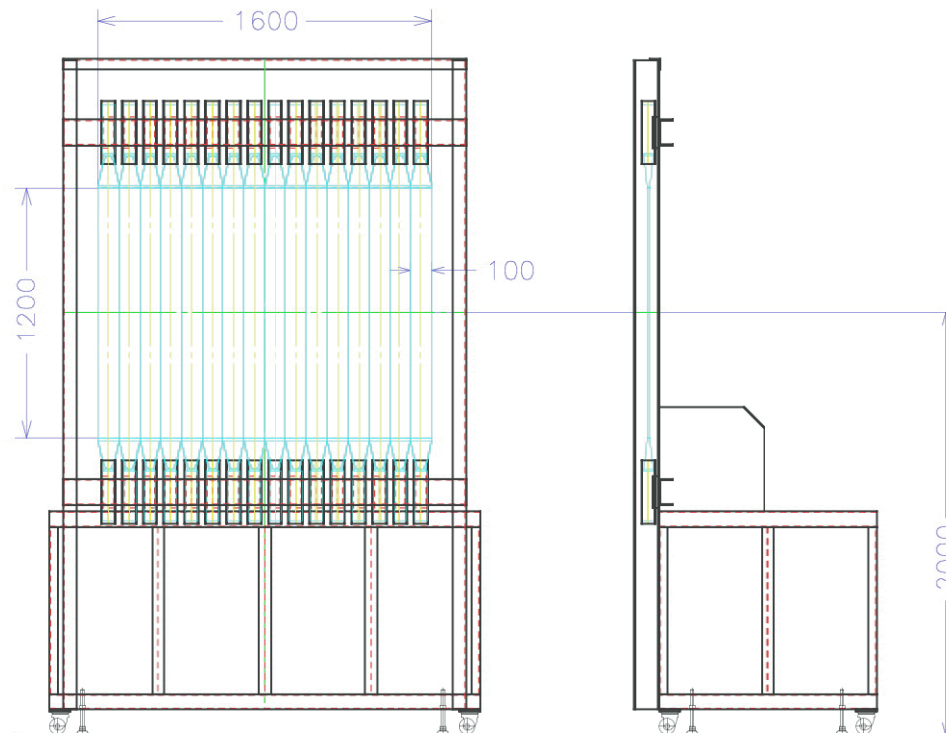
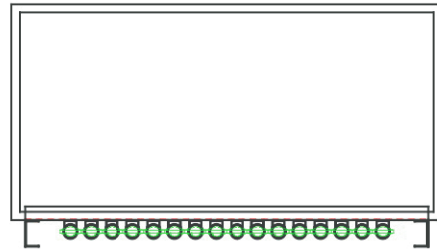
Multi-Layer Ion Chamber: 10 anodes+11 cathodes
Effective area: 140mm(H) x 140mm(V) x 420mm(D)
Gas: P10 @1atm



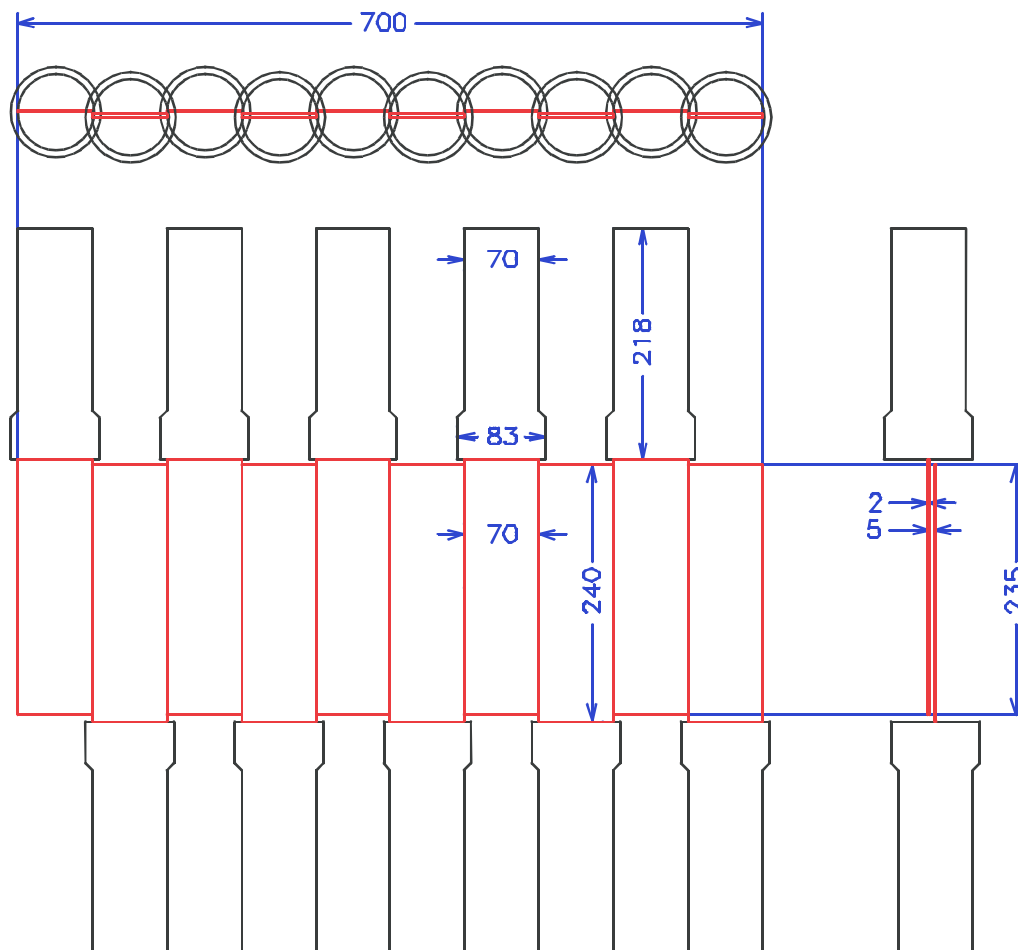
Multi-Layer Ion Chamber: 12 anodes (4,8-strips/plane) +13 cathodes
Effective area: 750mm(H) x 400mm(V) x 480mm(D)
Gas: P10 @1atm



Slat: 1200mm(V) x 100mm(H) x 10mm(t), 16 slats/hodoscope
Plastic: BC408/EJ200
effective area: 1600mm(H) x 1200mm(V)
PMT: H7195 with Booster

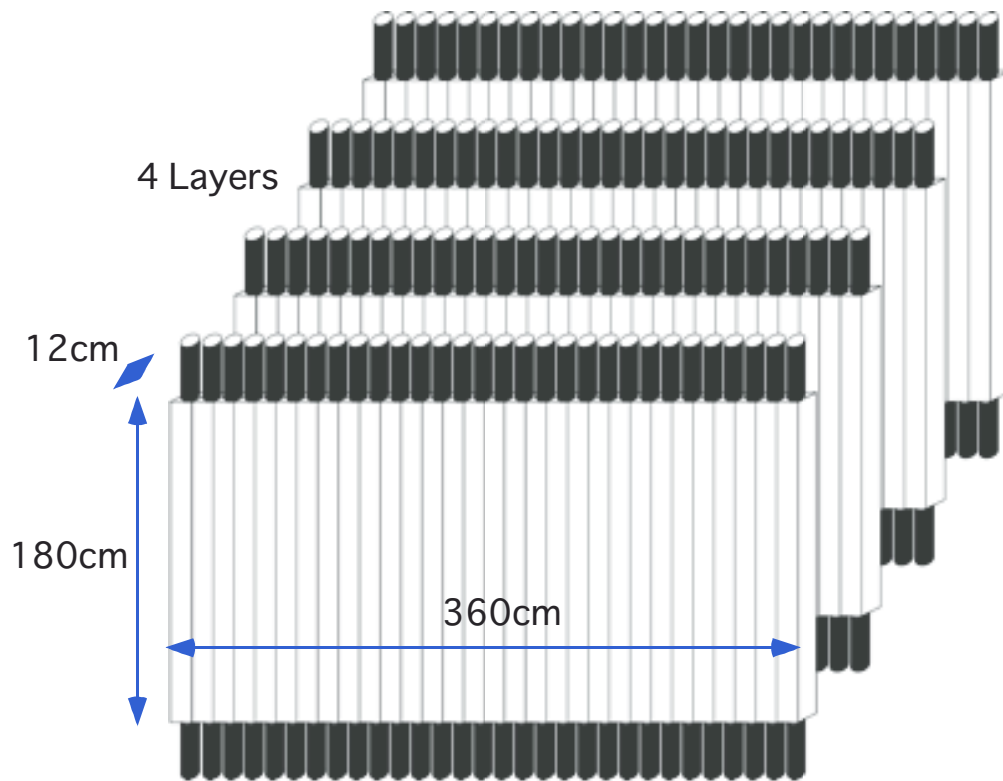


Radiator: TAFD30 (n=1.92) 240mm(V) x 70mm(H) x 2mm or 1mm(t)
 PMT: H6559
 Effective area: 700mm(H) x 240mm(V)

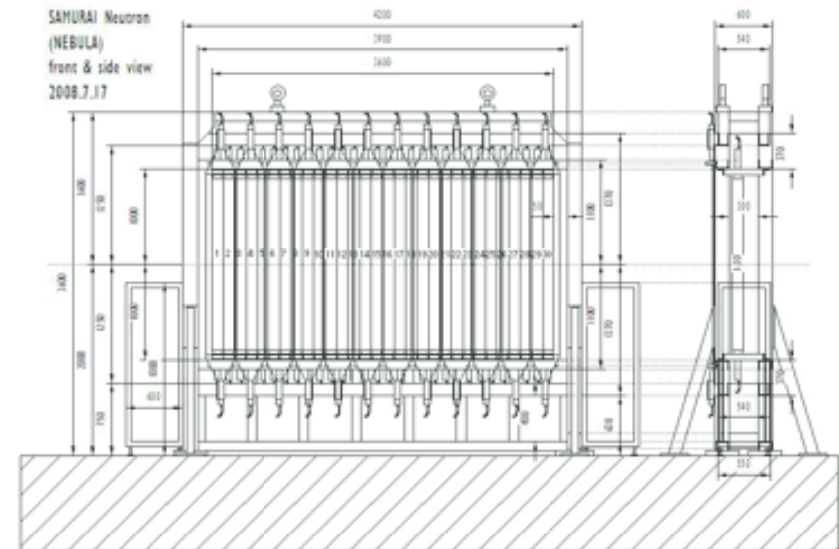


* 両のぞきに変更
 * 磁気シールド / 遮光箱

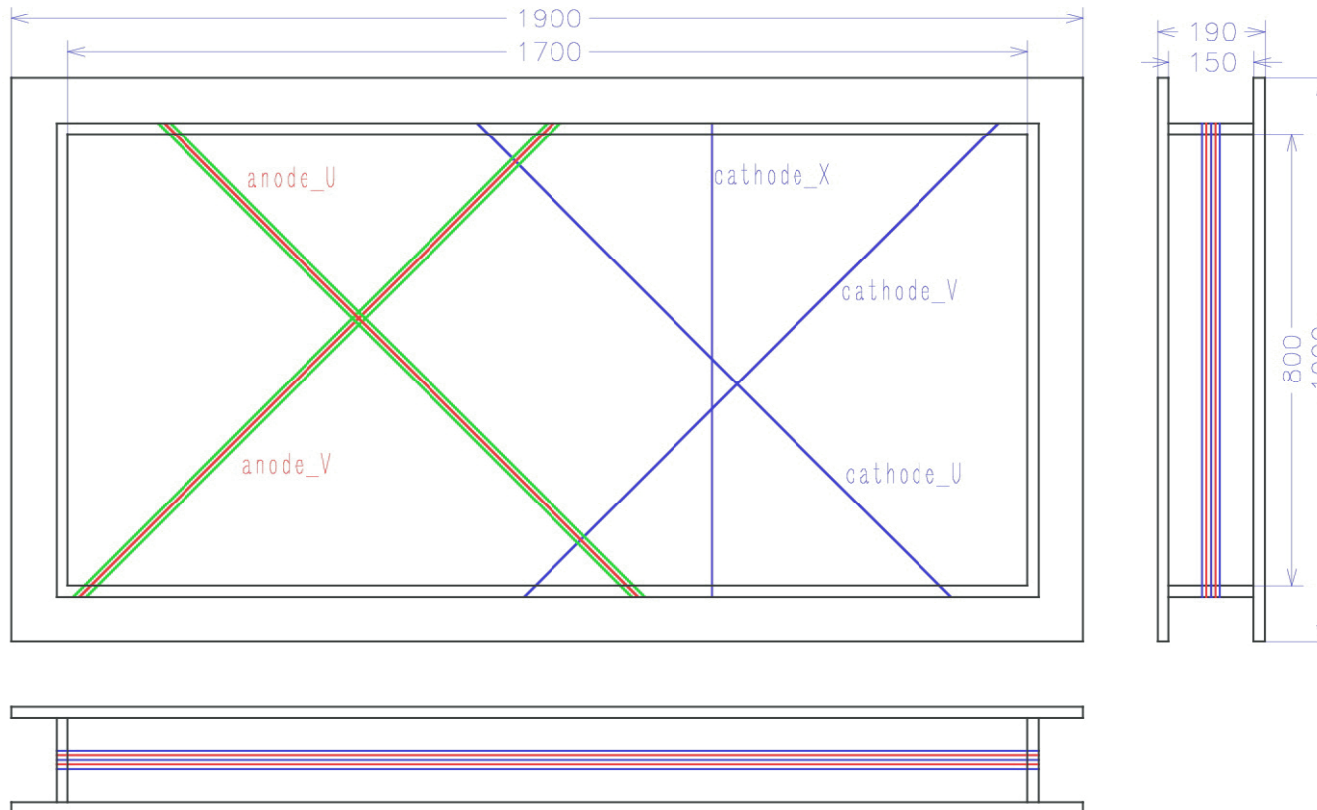
Slat (neutron) : 12cm(D) x 12cm(H) x 180cm(V), 30 slats/layer, total 4 layers
 Slat (veto): 190cm(H) x 32cm(V) x 1cm(t), 12 slats/layer, total 4 layers
 Effective Area: 360cm(H) x 180cm(V)
 Total thickness: 48cm



$$\epsilon_n \approx 40\%$$

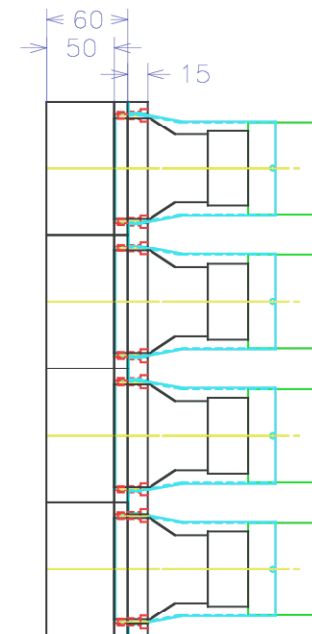
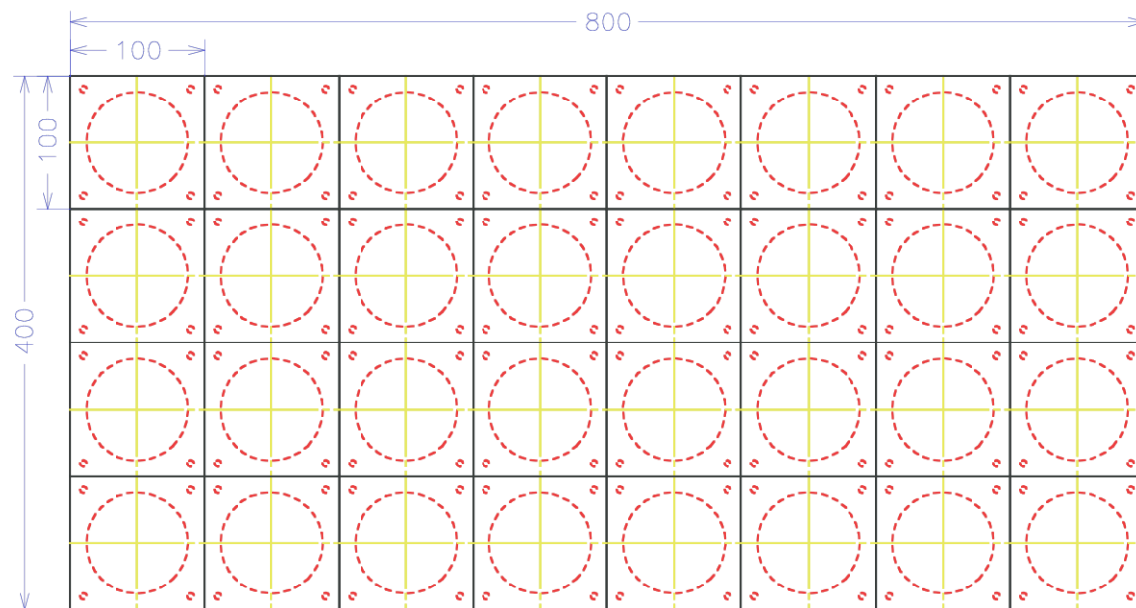
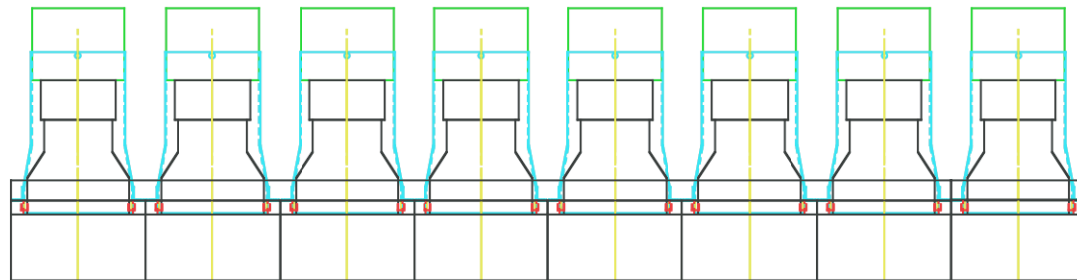


Configuration: Cathode_U(+45°), Anode_V(-45°), Cathode_X(0°), Anode_U, Cathode_V
 Drift dist.: ±8mm
 Half Gap: 8mm
 Cathode pitch: 3mm
 Cathode Strip: 12mm (4 cathode wires)
 Charge Division Readout: every 8 cathode strip
 #Anodes: 428
 #Charge Division Readout: 108
 Effective area: 1700mm(H) x 800mm(V)



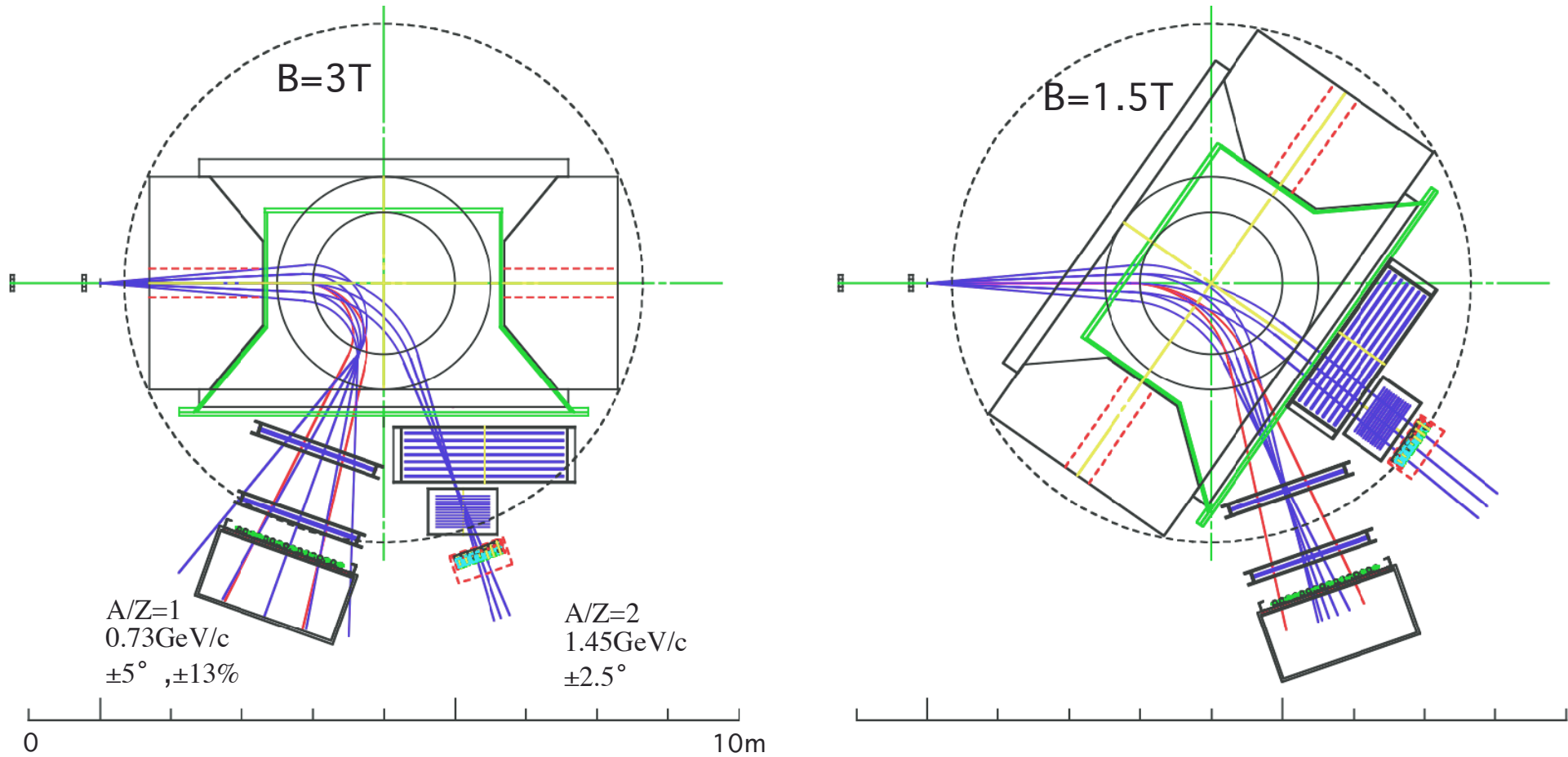
結晶： pure CsI, 100x100x50(t), x32

PMT： R6233HA (non-UV)



*磁気シールド／遮光箱

*温度コントロール／モニター



$\theta < \pm 60\text{mrad}$ @ $E_{\text{rel}}=1\text{MeV}$

$P_{\text{max}}/P_{\text{min}} \sim 2-3$

$\sigma(E_{\text{rel}}) \approx 0.1\sqrt{E_{\text{rel}}} [\text{MeV}] \Leftrightarrow \sigma_\theta \approx 2\text{mrad}, \sigma_p/p \approx 0.5\%$

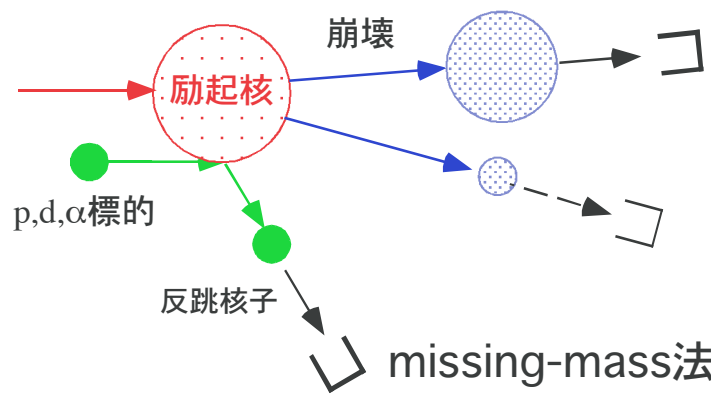
○ 陽子(p,d,He...)散乱/反応

(p,p), (p,p'), (p,n)

(p,d)

(p,pp), (p,pn)

(α , α), (α , α')

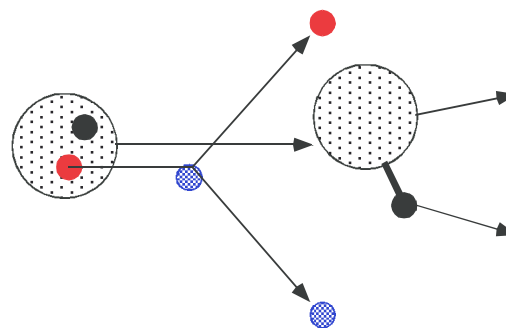


前方に放出されるビーム速度の重破碎片

反応で生成された励起核の崩壊様式の高効率同時測定

○ Missing-Mass分光 @target + Invariant-Mass分光 @projectile

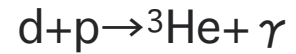
軽いボロミアン系では面白い



偏極d beam : 250-440 MeV/A

物理 :

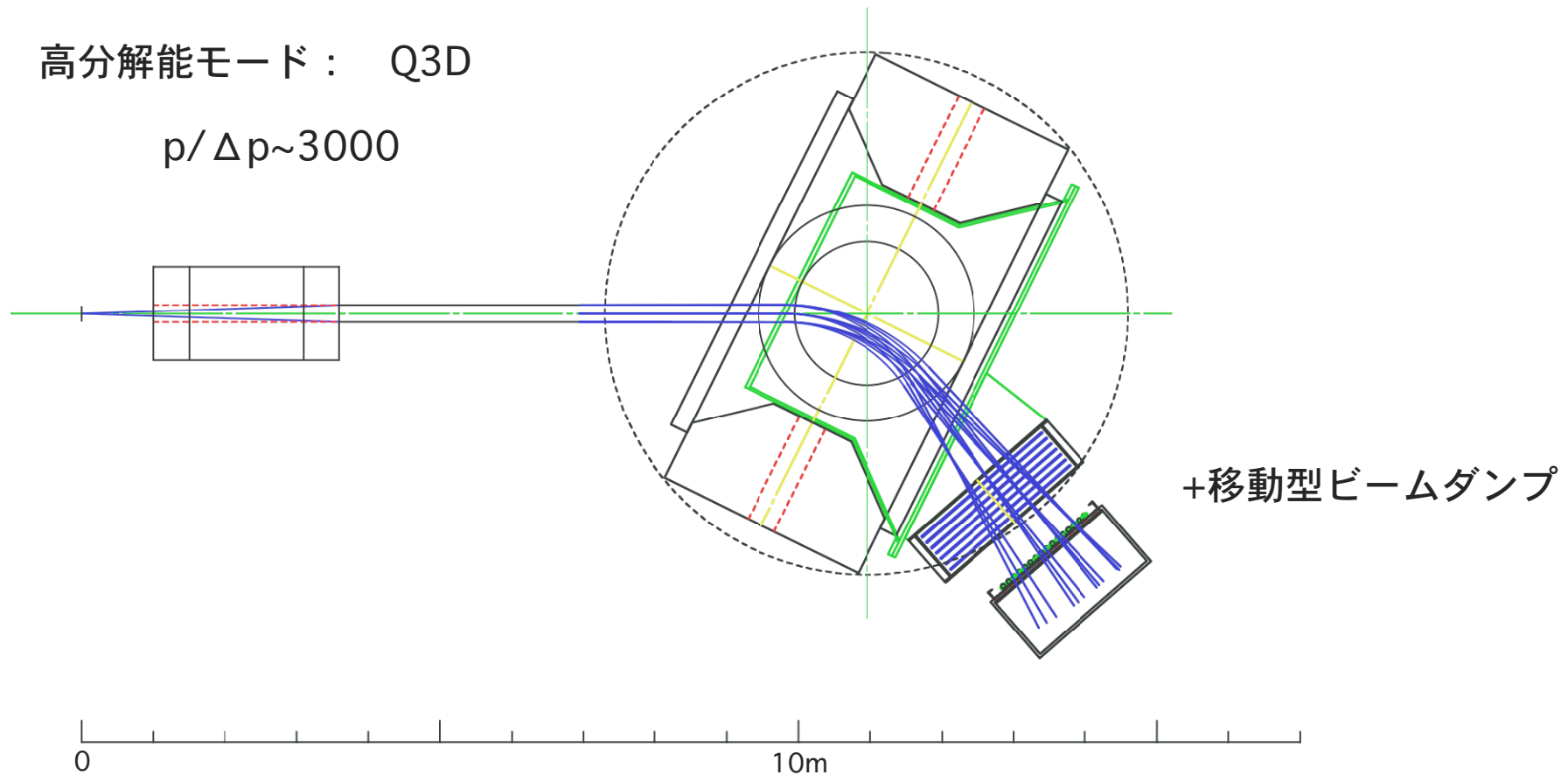
* 3体力 : dp elastic/breakup



* NNテンソル力の短距離相関 : ${}^3\text{He}(d,p){}^4\text{He}$

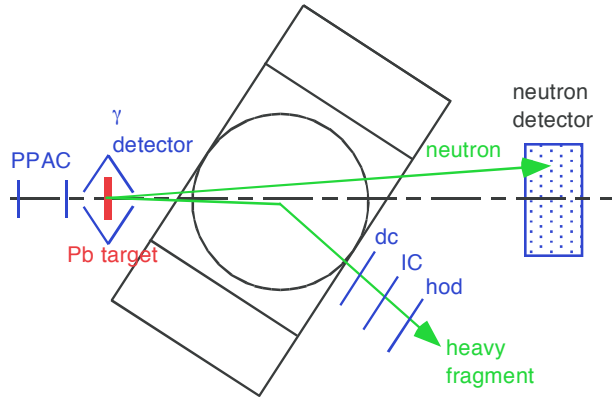
高分解能モード : Q3D

$p/\Delta p \sim 3000$

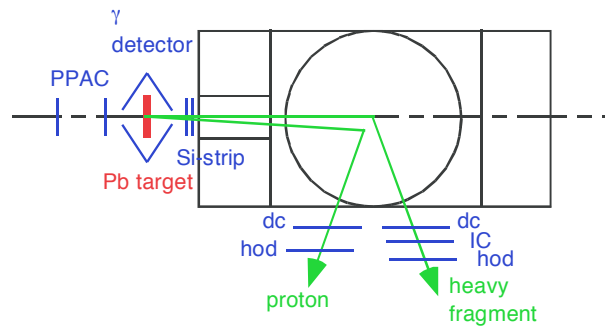


Invariant-Mass

(γ, n) reaction: neutron-rich side

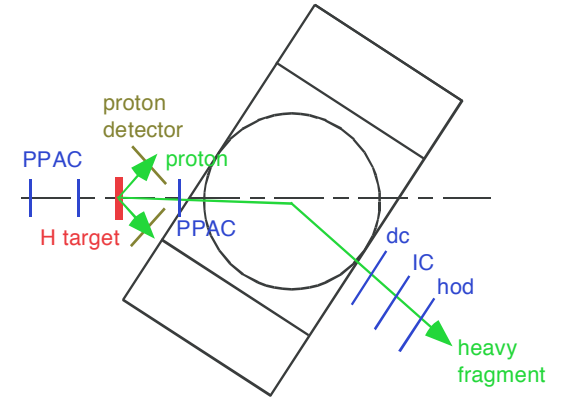


(γ, p) reaction: proton-rich side



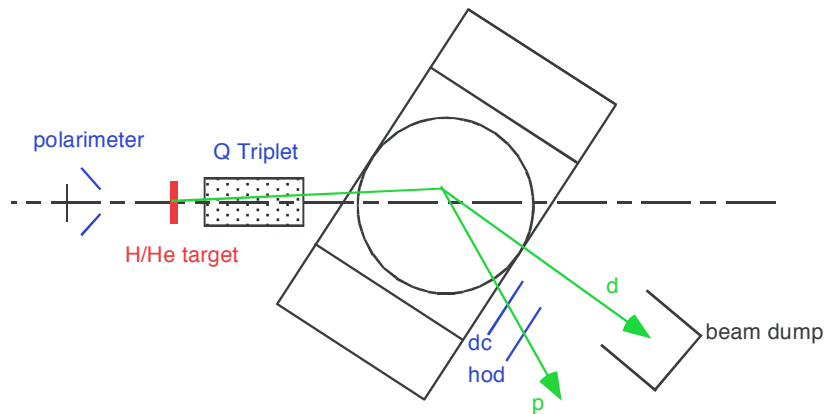
Missing-Mass+Decay tag

(p, p') , $(p, 2p)$ etc.



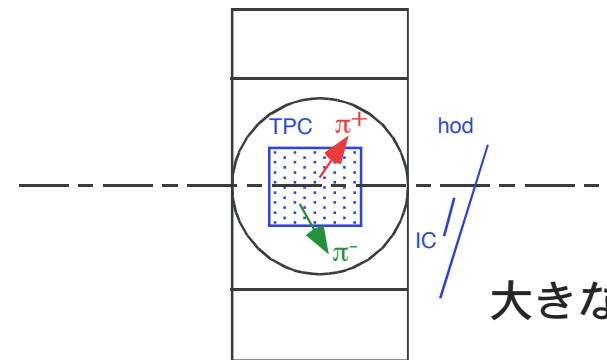
高分解能測定

Pol. d-induced reaction



[4] 核物質の性質

EOS measurement :



大きな磁気体積を利用

* (γ, p)実験用のSi-strip検出器

読出回路： 米国と共同開発中

* EOS実験用TPC

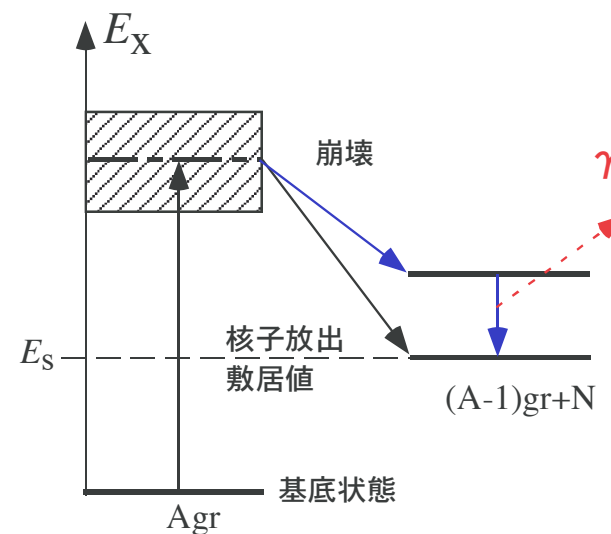
日本担当： 読出回路

* 重陽子実験： STQが1個不足

* **Invariant-Mass分光が主目的！**

Doppler補正可能な高効率 γ 検出器

* 中性子検出器は原案の半分



- 理化学研究所 RIBFでSAMURAIの建設が始まった。

建設期間： 2008年度から4年間、2011年度完成

- 目標とする物理とスペクトロメータの現案について概要を報告した。

スペクトロメータ磁石+大型中性子検出器は(γ, n)型のInvariant-Mass分光に最適化

高磁場+大ギャップ+低漏磁場

他の色々な目的に使用可能