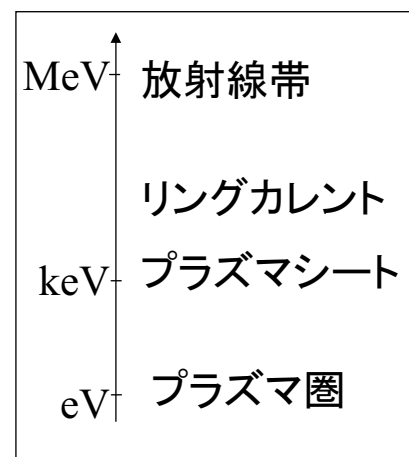
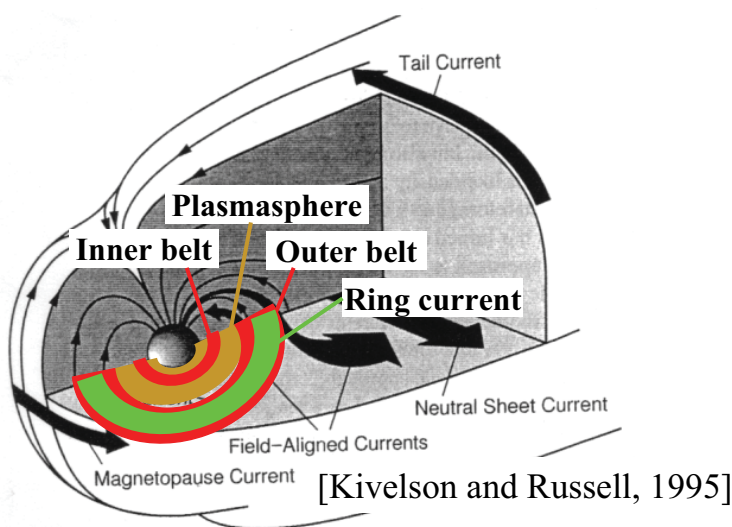


円筒形電極を用いた 斜め入射型中エネルギー(10-200keV) 粒子静電分析器の開発

青山 聡[1];町田 忍[1];小原 隆博[2];平原 聖文[3];齋藤 義文[4]; 齋藤 昭則[1];横田 勝一郎[4]
[1]京大・理・地球惑星; [2]JAXA・宇宙環境グループ; [3]東大・理・地球惑星; [4]JAXA/ISAS

1.1 導入 内部磁気圏



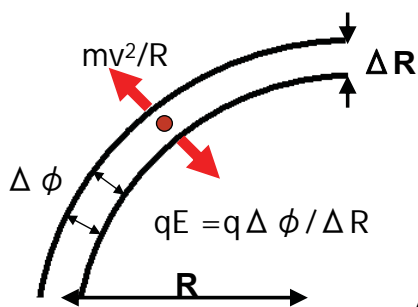
粒子のエネルギー帯

- ・プラズマ圏, リングカレント, 放射線帯
6桁以上にわたる広いエネルギー範囲のプラズマが共存
⇒電場、磁場を介した粒子間のエネルギーのやり取り。

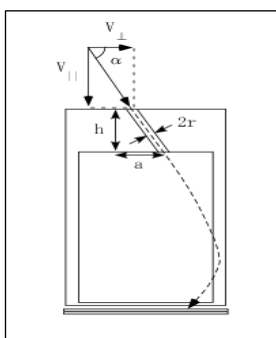
1.2 新たな検出器の設計目標

- 対象: 内部磁気圏、リングカレント領域
- Energy range: 10-200keV
- Energy分解能: ~20%
- 視野: 1spinで 4π sr
- G-factor: $\sim 10^{-3}$ [cm² sr keV/keV/1chあたり]
 - ・ $\varepsilon/q=200$ keV
 - ・ J(微分Flux) $\sim 10^5$ [(cm² sr keV s)⁻¹]
 - ・ 1spin ~ 3-4秒
 - ・ 各ch(角度の分割数を16程度とする)に100countsを取得

2.1 装置の原理



一般的な静電分析器



装置の原理

$$\begin{aligned}\varepsilon/q &= mv^2/2q \\ &= (\Delta\phi/2) \cdot (R/\Delta R)\end{aligned}$$

$\Delta\phi, R, \Delta R$ を変えることで ε/q の分析が可能

⇒しかし、中エネルギーを計測するためには $\Delta\phi$ の高電圧化、機器の巨大化が避けられない。

◎本装置の原理

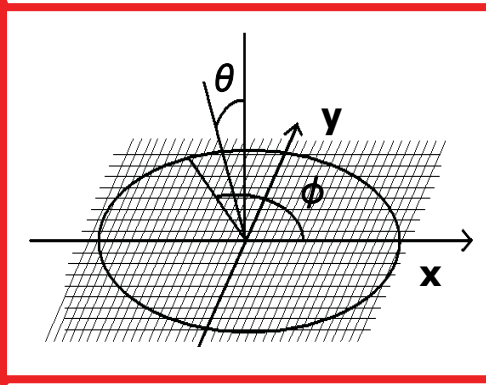
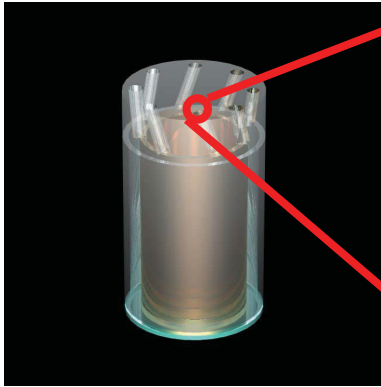
円筒電極に粒子を斜め入射させることで、粒子の速度を2成分に分解し、その一方を計測する。

・実際の粒子の速度 $=V$

・計測する速度 $=V_{\perp} = V\cos\alpha$

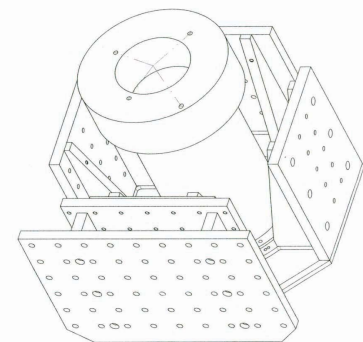
→ $1/\cos^2\alpha$ 倍の ε/q の粒子を計測できる

2.2 シミュレーション

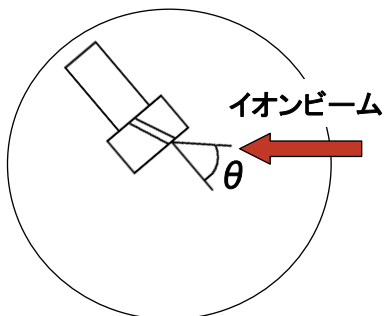


- コリメータ部では x, y (粒子の入射位置), θ, ϕ (入射角度), ε (エネルギー)を変数として採用。
- 円筒電極内に入ってからからは円筒座標を用い、中心方向に電場からの力が働くとして計算。

2.3 実験のセッティング



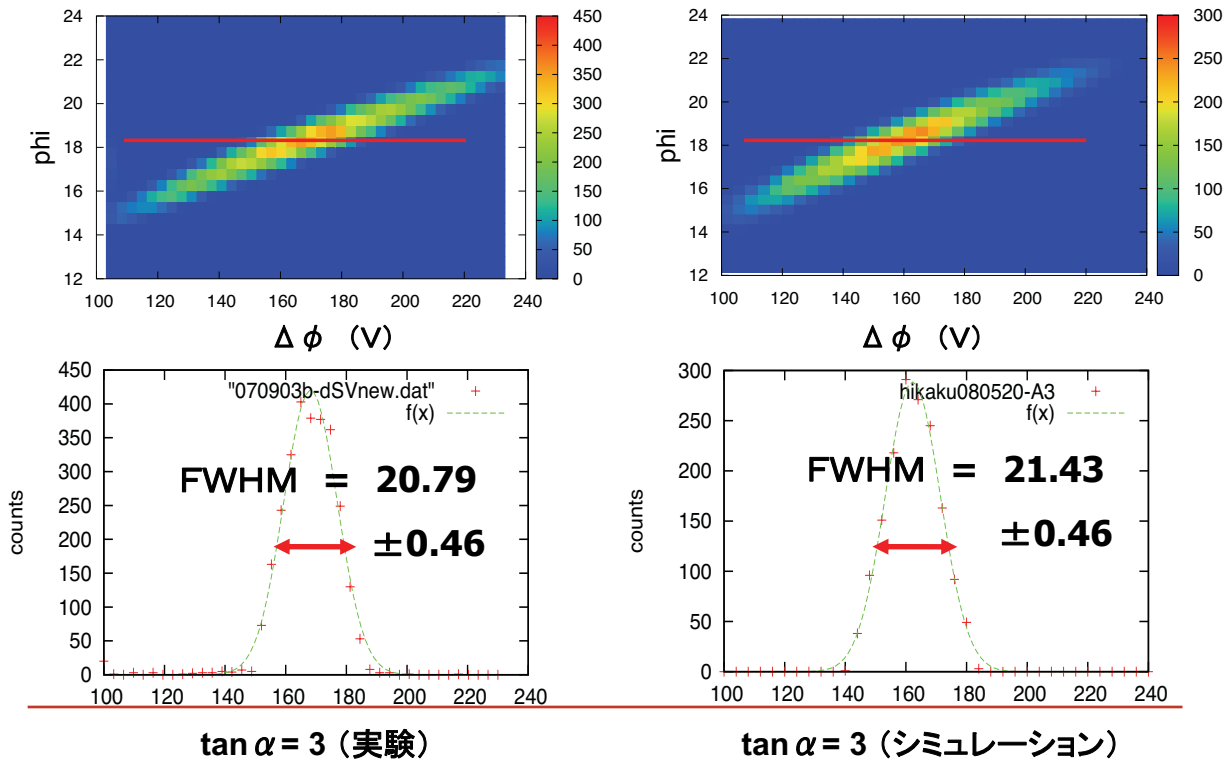
$\tan \alpha = 1, 2, 3, 4$ $R = 40(\text{mm})$ $\Delta R = 4(\text{mm})$ $r(\text{コリメータの半径}) = \Delta R/2(\text{mm})$ $H(\text{電極の高さ}) = 180(\text{mm})$ $h(\text{コリメータの高さ}) = 50(\text{mm})$
--



・入射方向 θ , 極板間電圧 $\Delta \phi$ を変化させ、各値でのイオンの検出カウントを記録した。

イオンビーム (N^+ , 8keV) を入射させた。

3.1 シミュレーションと実験の相互比較

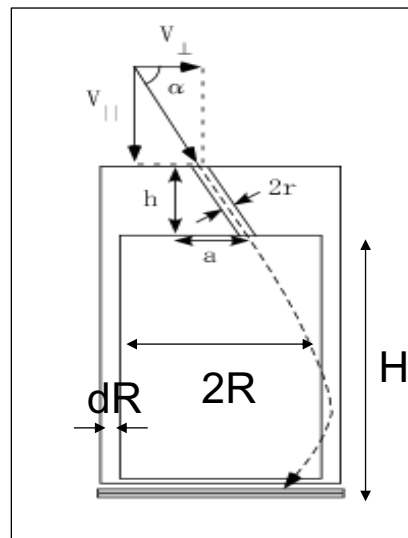


3.2 シミュレーションによる性能特性の一般化

- 寸法のパラメータ
 - R : 電極の平均半径
 - ΔR : 電極間距離
 - H : 電極の高さ
 - h : コリメータの高さ
 - r : コリメータ半径
 - (※ $r = \Delta R/2$ で固定する)

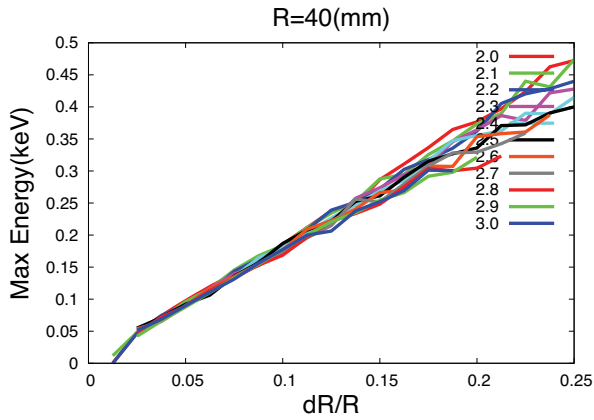
- 性能評価の指標
 - 計測可能な粒子エネルギー
 - エネルギー分解能
 - 角度分解能
 - g-factor

⇒ 各パラメータを変化させ、これらによる指標の変化を見る。
 パラメータを固定する際は、試作機の寸法に準じた値を定数として用いた。

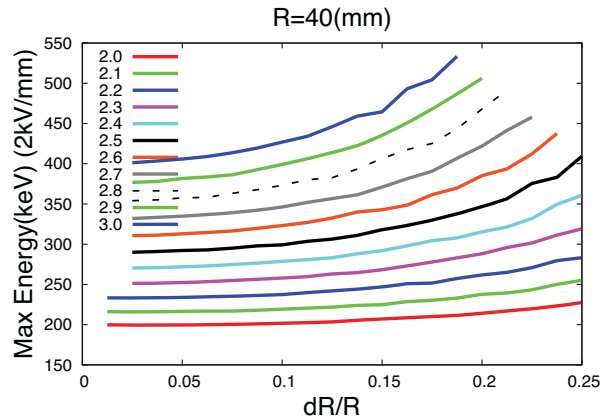


ΔRに対する計測エネルギー範囲の変化

$$\varepsilon / q = (\Delta \phi / 2) \cdot (R / \Delta R) = (R / 2) \cdot (\Delta \phi / \Delta R)$$



電極間電圧 = 300V

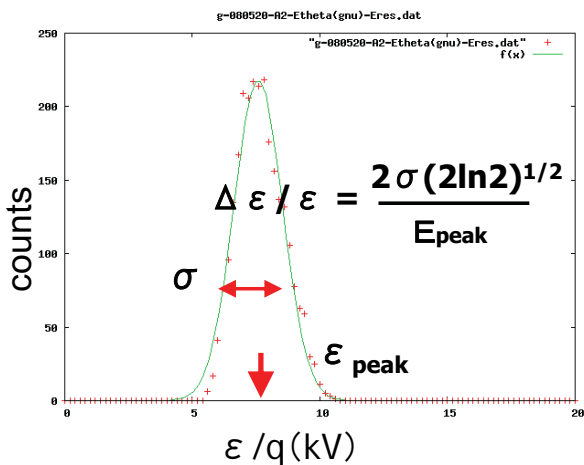


電極間電圧 = 2kV/1mm

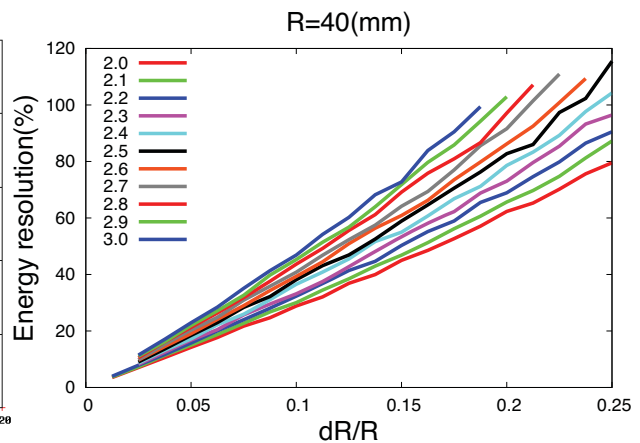
ΔRに対するエネルギー分解能の変化

- 検出部に到着した粒子に関する ε-counts 図を、ガウス関数で Fitting して、エネルギー分解能を評価した。

$$\varepsilon / q = (\Delta \phi / 2) \cdot (R / \Delta R \pm 1/2)$$



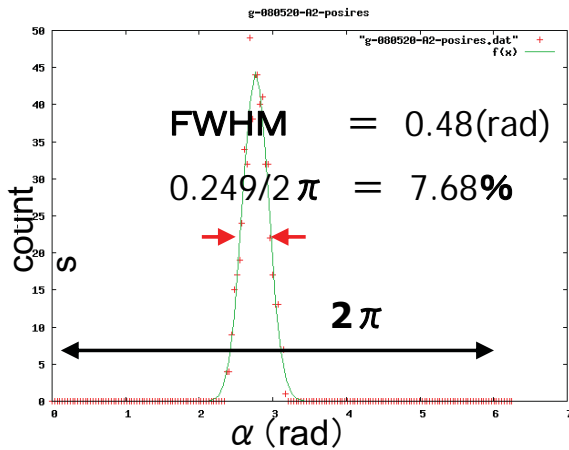
ε/q-counts 図 (tan α = 2)



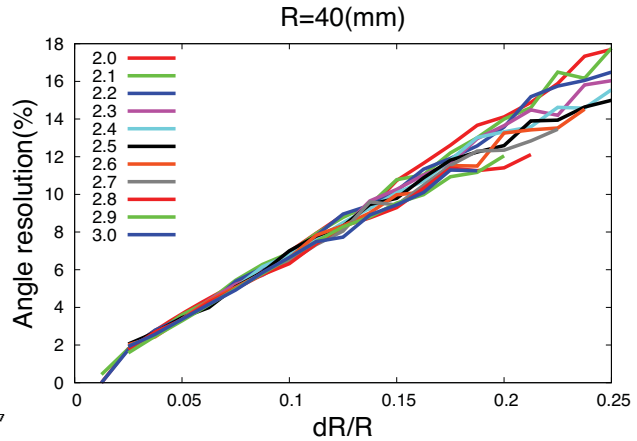
ΔR/R-エネルギー分解能(%) 図

ΔRに対する角度分解能の変化

- 底面(検出器のある位置)における粒子の到達位置から入射粒子の広がりを調べた。



α-counts図(tan α=2)

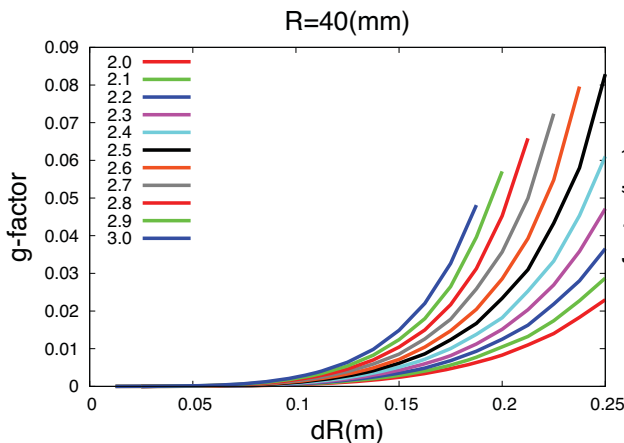


ΔR/R-角度分解能図

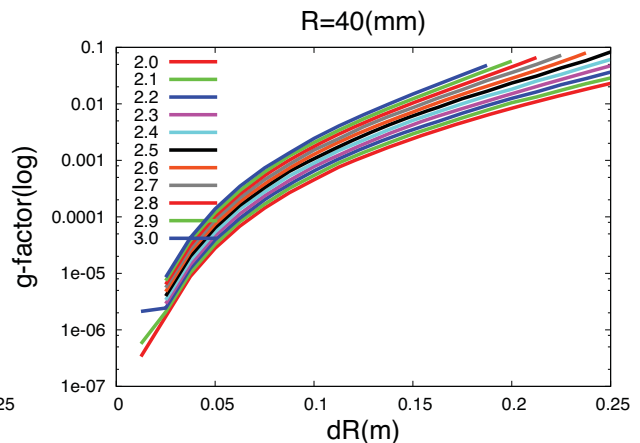
ΔRに対する感度(g-factor)の変化

- g-factorはシミュレーション結果を用いて下記のように求められる。

$$G = g_e / \varepsilon \doteq \Delta \theta \cdot \Delta \phi \cdot \Delta x \cdot \Delta y$$



ΔR/R - g-factor図

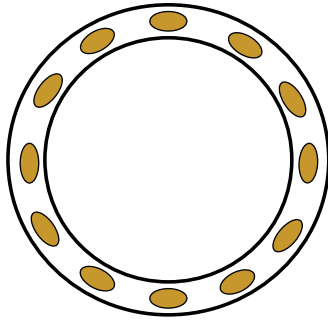


ΔR/R - g-factor(log)図

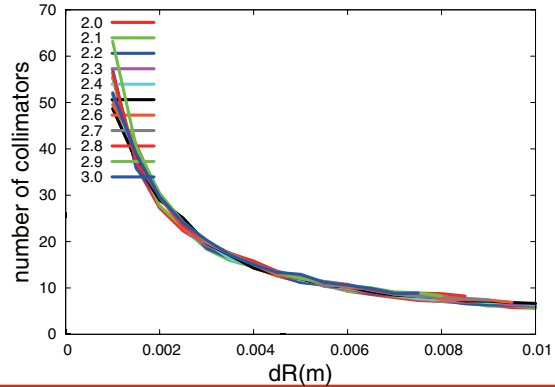
△Rに対する感度(1chあたりg-factor)の変化

- コリメータを円周上に複数個並べ、検出器全体でのについて言及する。
- 一周に配置出来るコリメータの数は、 r, R, α および角度分解能からが決まる。
- 例) $\tan \alpha = 2.0, R = 180$ のとき 角度分解能 = 4.19 より ~ 20個
- 1chあたりg-factor

$$= (\text{g-factor}) \times (\text{一周に配置できるコリメータの個数}) / \text{ch数}$$

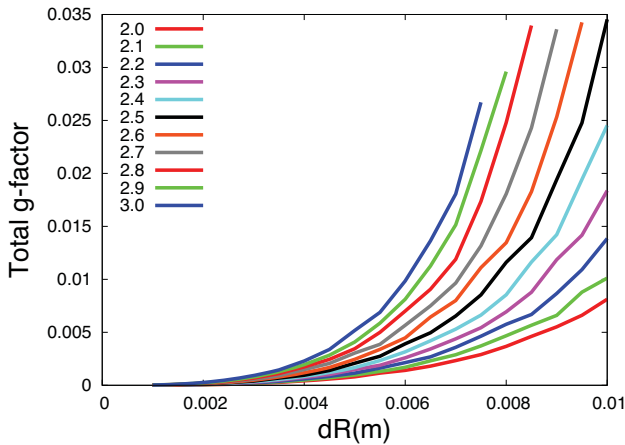


検出器のコリメータ部分

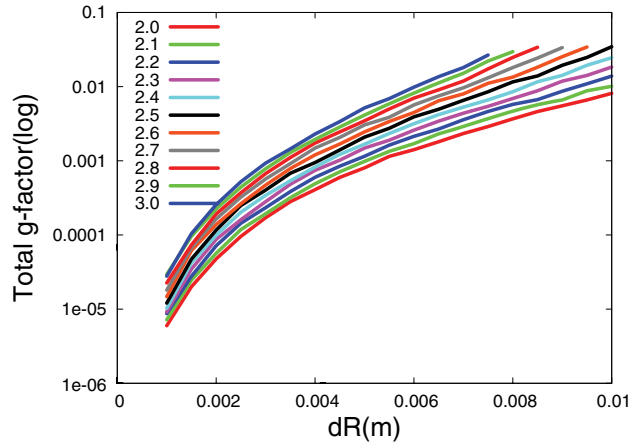


一周に配置できるコリメータの個数

Total g-factor (パラメータ: H, α)



1chあたりのg-factor



1chあたりのg-factor(log)

4. 考察

- 寸法をパラメータにしたシミュレーションより、各指標と寸法の関係がわかった。

⇒ リングカレント領域を計測するのに適した寸法を求めた。

□ $\tan \alpha = 2.0$	➔	計測エネルギー	~202[keV]
□ $R = 40(\text{mm})$		エネルギー分解能	~20.88[%]
□ $\Delta R = 3.5$		位置分解能	~4.21[%]
□ $H = 120$		g-factor	
□ $h = 80$		~ 5.1×10^{-4} [$\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{keV}/\text{keV}/\text{コリメータ}$]	
($\Delta \Phi = 2\text{kV}/\text{mm}$)		1chあたりg-factor (コリメータ数:24、全ch数:12) ~ 1.2×10^{-3} [$\text{cm}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{keV}/\text{keV}/\text{ch}$]	

5. まとめ

- 円筒形電極を用いた中エネルギー(10-200keV)粒子静電分析器の性能評価および最適化をおこなった。
- ΔR をパラメータとしてシミュレーションを行った。またその結果をエネルギー分解能、角度分解能、g-factorを指標として性能を評価した。
- この結果をもとに、観測対象に適合させたパラメータを求めた。
- 今後は、視野拡大・感度向上に向けて、一周に複数個のコリメータを並べたものを二重、三重に配置する形式についても考察する