

**重RIビーム粒子識別用検出器の開発**  
**Detector Developments for Heavy RI Beam Identification**  
**(16P181)**

小林俊雄<sup>a</sup>, 大津秀暁<sup>a</sup>, 松田洋平<sup>a</sup>, 三木俊也<sup>a</sup>, 直井由紀<sup>a</sup>,  
 日下理太郎<sup>a</sup>, 遠藤奈津美<sup>a</sup>, 岡村弘之<sup>b</sup>, 高田栄一<sup>c</sup>  
 T.Kobayashi<sup>a</sup>, H.Otsu<sup>a</sup>, Y.Matsuda, T.Miki<sup>a</sup>, Y.Naoi<sup>a</sup>,  
 R. Kusaka<sup>a</sup>, N.Endoh<sup>a</sup>, H.Okamura<sup>b</sup>, E.Takada<sup>c</sup>

**Abstract**

We have developed and tested various detectors to be used for the identification of heavy RI beams in the few hundreds/nucleon energy region. These are 4 kinds of drift chambers, low-pressure MWPC's, low-pressure cathode-readout drift chambers for tracking, Cherenkov detector operated at the total internal reflection threshold for velocity measurement, and NaI(Tl) and HP-Ge detectors for total-energy measurements. They have been tested using 290 MeV/A <sup>40</sup>Ar primary beams and secondary RI beams between 130 - 250 MeV/A at SB2 beam line.

1. 研究の目的とバックグラウンド

私達は、RI Beam Factory (RIBF)での原子核に用いる大立体角磁気分析器(Daimajin)とその検出器系の設計・開発を行っている。RIBFでは250-350 MeV/Aエネルギー領域の中重核RIビームに重点が置かれており、Daimajinを用いた実験での最大の課題点は、反応で超前方に放出される重い入射核破砕片(重イオン)の粒子識別である。粒子の質量数Aと原子番号Zを識別するには、電荷Z、運動量R(magnetic rigidity)、速度β、全エネルギーEのうち3種類の独立な測定が必要となる。例えば質量数A=100に対し質量分解能 $\sigma_A=0.2$ が必要とすると、運動量R=2.2 GeV/cに対して $\sigma_p/p=1/700$ の運動量分解能、速度β=0.6に対して $\sigma_\beta/\beta=1/1000$ の速度分解能、又は全エネルギーE=25GeVに対して $\sigma_E/E=1/400$ の全エネルギー分解能が必要となる。これらのどれを取っても検出器技術的には非常に困難な問題を含み、又これまで殆ど調べられた事が無い。

250MeV/Aエネルギー領域で質量数100程度までの重イオンの粒子識別に必要な色々な検出器を系統的に調べる為、このエネルギー領域の重イオンビームを供給できる国内唯一(全世界で2箇所)の加速器施設であるHIMACで各種検出器の試験を行った。

2. 今年度の研究内容

今年度は290 MeV/Aの<sup>40</sup>Ar(Z=18)1次ビームと、130-250 MeV/A、10<Z<17, 20<A<40の2次RIビームを用いて検出器試験を行った。課題申し込みが年度半ばだった為、予定した全ての検出器が試験できたわけではなく、又ビームタイムが12月末(12/20夜, 12/21夜, 12/23夜, 12/24夜-12/25夜)だった事もありデータ解析が終了していない部分もある。

今回、以下の6種類の検出器のビーム試験を行った。

(A) Drift Chamber 4種類

Daimajin下流の焦点面位置検出器としてドリフトチェンバー(Drift Chamber)を考えている。高運動量分解能を得る為の100μm程度の高位置分解能とクーロン多重散乱低減の為の低物質量化と1MHz以上の高計数率対応が必要であり、プロトタイプとして6角型セル(ドリフト距離6mmと13mm)と4角型セル(ドリフト距離9mmと10mm)の4種類のセル構造を持つdrift chamberを準備した。今回、ガスとしてHe+C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>(50%)を用い、290MeV/A <sup>40</sup>Ar(Z=18)ビームと250MeV/A RIビーム(5<Z<17)に対する動作特性を測定した。

(B) LP-MWPC

2次ビームラインの運動量分散焦点面での運動量測定には、位置分解能は1-2mmでよいが、ビームライン真空中での使用が可能な高計数率対応の位置検出器が必要である。その候補として、低圧力(Low Pressure)で動作するMulti Wire Proportional Chamber(MWPC)であるLP-MWPCを開発した。今回は、ガスとしてC<sub>3</sub>F<sub>8</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, iC<sub>4</sub>H<sub>10</sub>を用い、圧力30-90 torrにおいて、290MeV/A <sup>40</sup>Ar(Z=18)に対する動作特性を測定した。

(C) LP-KDC

Drift chamberはカソード読出を行う事で、低物質量化とさらに高い位置分解能を得る事ができる。私達は真空中での動作可能性を合わせ持つ、低圧(LP)-カソード読出(K)-ドリフトチェンバー(DC)を製作し、宇宙線に対し約100μmの位置分解能を得た。今回、ガスとしてHe+C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>(50%), C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, iC<sub>4</sub>H<sub>10</sub>を

用い、圧力20–760 torrにおいて、290 MeV/A  $^{40}\text{Ar}$ ( $Z=18$ )に対する動作特性を測定した。

(D) HP-Ge検出器

粒子の全エネルギーを1%以下の高精度で測定するのに最適な、高純度(High Purity)-Ge結晶の重イオンに対する特性を試験した。用いた結晶はセミ平板型で、直径70mm、厚さ30mmであり、自作の真空箱と液体窒素による冷却系に接続されている。今回は高電圧が充分かからなかった問題もあり、130MeV/A  $^{38}\text{S}$ に対する動作特性を測定した。

(E) NaI(Tl)検出器

Geと同じ目的で、比較的low価格のNaI(Tl)結晶の重イオンに対するエネルギー分解能を測定した。用いたのは直径30厚さ30の円筒型結晶で、その前に厚さ0.3mm、面積5cmx5cmのSi検出器を設置した。今回は290MeV/A  $^{40}\text{Ar}$ と170MeV/A  $10 < Z < 17$ ,  $20 < A < 39$ のRIビームに対する動作特性を測定した。

(F) TIR型チェレンコフ検出器

速度 $\beta=0.6$ において、1/1000の速度分解能を持つ検出器の候補として全反射型(TIR: Total Internal Reflection)チェレンコフ検出器がある。この領域に全反射数値を持つ為には屈折率2程度の光学物質が必要で、一つの候補として透明セラミックを用いたTIR検出器を製作した。今回、エネルギー140–290 MeV/A  $^{40}\text{Ar}$ に対する動作特性を測定した。

3. 今年度の研究成果と解析結果

以下に結果の概要を示す。

(A) Drift Chamber

図1に、250MeV/A  $Z=16$ と17の重イオンに対する6角セル(6mm)と4角セル(10mm)の検出効率の高電圧依存性を示す。

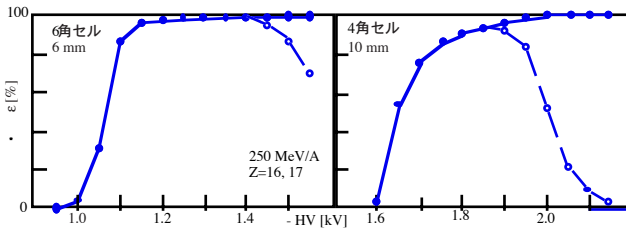


図1:  $Z=16+17$  に対する検出効率

図中で黒丸は全検出効率 $\epsilon_{\text{tot}}$ 、白丸はワイヤー多重度1の検出効率 $\epsilon_{\text{w1}}$ を示す。右側が広い検出効率100%のプラトーを持つのにに対し、右側では $\epsilon_{\text{tot}}$ が100%に達する前に $\epsilon_{\text{w1}}$ が下がり始め、好ましくない。これはセル構造が重イオンに対しては悪い事をしており、改善が必要である事がわかった。他のセル構造に対してはほぼ問題が無く、広い電荷 $Z$ の範囲に渡って、系統的なデータを取る事ができた。位置分解能に関しては解析中である。

(B) LP-MWPC

詳細は省略するが、30–90 torrの低圧力で検出効率100%のプラトーを持ち安定に動作した。

(C) LP-KDC

結果の1例を図2に示す。 $\text{IC}_4\text{H}_{10}$ を20 torrで用いた場合、130 $\mu\text{m}$ (rms)という良い位置分解能が得られた。

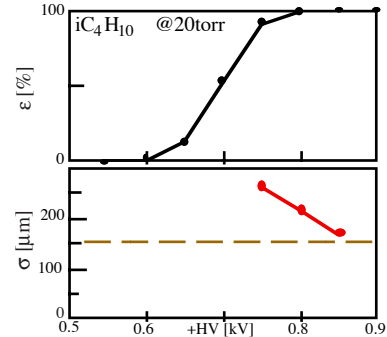


図2: KDCの検出効率と位置分解能

(D,E) HP-Ge と NaI(Tl)

狭いエネルギー巾の粒子を直接入射した場合、全エネルギー5–12GeVに対して、 $\sigma_E/E=0.3-0.4\%$ という良い値が得られた: 目標の0.25%まではあと一息である。図3に示すように、実ビーム運動量を $-0.5\%$ で制限した場合、Siによるエネルギー損失とNaI(Tl)による全エネルギーの測定により、 $Z=17$ ,  $A=39$ までの粒子が良く分離する事ができた。

190 MeV/A  $\sigma_p/p = \pm 0.5\%$

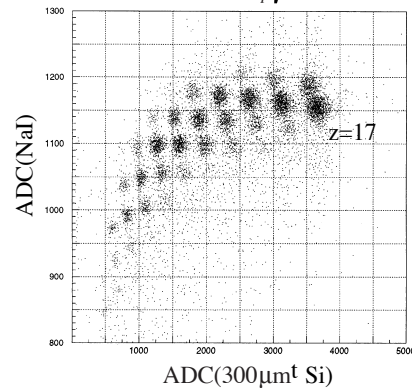


図3: Si-NaI(Tl)による粒子識別

(G) TIR型 Cherenkov 検出器

$n=2.1$ という高い屈折率を持つ透明セラミックを用い140–290 MeV/Aの $^{40}\text{Ar}$ に対する発光量を測定した。全反射数値以上では光量が増加し、チェレンコフ光を観測できたと思われるが、低いエネルギー領域でシンチレーション光と思われる光も観測された。別の物質を探る必要があると思われる。

- a. 東北大学大学院理学研究科物理学専攻
- b. 東北大学サイクロトロンラジオアイソトープセンター
- c. 放射線医学総合研究所 加速器理工学部