

PLAN OF PRODUCTION TARGET AT HADRON BEAM LINE

Yutaka Yamanoi^{1,A)}, Keizo Agari^{A)}, Masaharu Ieiri^{A)}, Yohji Kato^{A)}, Yoshinori Sato^{A)},
Shinya Sawada^{A)}, Yoshihisa Shirakabe^{A)}, Yoshihiro Suzuki^{A)}, Minoru Takasaki^{A)}, Hitoshi Takahashi^{A)},
Kazuhiro Tanaka^{A)}, Akihisa Toyoda^{A)}, Megumi Naruki^{A)}, Hiroyuki Noumi^{B)}, Erina Hirose^{A)},
Michifumi Minakawa^{A)}, Ryotaro Muto^{A)}, Hiroaki Watanabe^{A)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801, Japan

^{B)} Research Center for Nuclear Physics (RCNP), Osaka University

10-1, Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047, Japan

Abstract

K1.1 beam line is joined in the hadron experimental hall in this year, and it becomes four beam lines (K1.8, K1.8BR, and KL) in total. It is scheduled that slow extraction is restarted in October, 2010 and the beam power will be increased up to 5kW. T1 target is the first production target in hadron experimental hall. To obtain the amount of the maximum Kaon for this primary beam intensity, operation plan of T1 target was examined. As a result, air-cooling fixed target is used for the beam power of 5kW. Moreover, use water-cooling fixed target made of the platinum for 30kW. The rotating target made of the nickel will be used in 30kW or more.

ハドロンビームラインにおける二次粒子生成標的の計画

1. はじめに

ハドロン実験ホール内のビームライン数は、今年の秋にK1.1が加わり、K1.8、K1.8BR、KLの計4か所となる。このビームラインに二次粒子を供給する生成標的は、現在、T1標的の一か所である。2010年1月と2月にJ-PARCハドロン実験室では最大強度2.0kW（最大 2.5×10^{12} protons per pulse）の陽子ビームをMRより取り出し、Pt標的とNi標的の2種類の固定標的を用いて二次粒子を生成し実験に使用した。

運転開始当初は設計最大強度の750kWを想定し、初期故障の洗い出しや運用の訓練のため、30%ビームロスでニッケル回転円盤標的を設置した。しかし、数十kWビーム強度時においても出来るだけK中間子など二次粒子を多く生成するために、1-2月のRUNでは空冷式の50%ロス固定標的を用いた。

2010年10月運転が再開され5kWのビーム取り出しを計画している。

2. ビーム強度

2.1 設計強度

T1標的は、原子核素粒子実験施設（ハドロン実験ホール）に唯一設置される二次粒子生成標的である。このT1標的は、ハドロン実験ホールの図1（平面図）に示す場所に設置される。

K1.8/K1.8BRビームラインとK1.1/0.8ビームライン

が6°取り出し、K0ビームラインが16°取り出し、ターゲットを臨むモニター孔が50°の角度でそれぞれ設置されている。

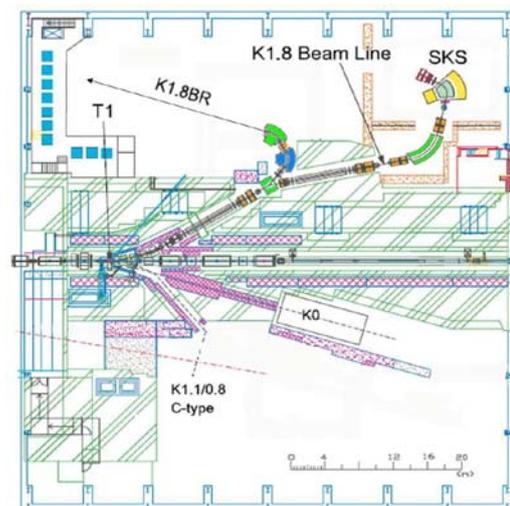


図1：ハドロン実験ホール

ハドロン実験ホールの遮蔽体構造は、放射線防護の観点から、一般区域境界で線量率を $0.25 \mu\text{Sv/h}$ 以下とし、土の放射化に対する線量率は 5mSv/h 以下となるようにコンクリートと鉄遮蔽体の厚さを設計している。

標的の設計のためには、実験施設周辺に対する放射線環境への管理を守り、実験で使用する二次粒子

¹ E-mail: yamanoi@post.kek.jp

数が最大限得られるようにする形状、冷却方法の選択が、その設計の重要な検討要素となる。

当初目標の設計条件は以下の通りである。

- 一次ビームの線質 陽子
- 運動エネルギー 50GeV
- 個数(電流値換算) 3×10^{14} ppp (15 μ A)
- 入射してくる周期 3.4秒
- スピル幅 0.7秒
- 標的部におけるビームサイズ $\sigma=1$ mm
- 上記の強度ではT1標的でのビーム損失量は、最大30%。

2.2 ニッケル円盤標的

2.1章の条件の下にニッケル回転標的を設計、製作した。製作した標的の形状は、材質:純ニッケル(NW2201)、直径360mm、厚さ54mm、分割数5枚、ギャップ3mm、それぞれの厚さ21.7mm、11.2mm、8.3mm、6.9mm、5.9mm、回転数85rpmとし、1枚当たり6345J/スピル(2kW)の熱負荷、総熱負荷10kWになるようにした。

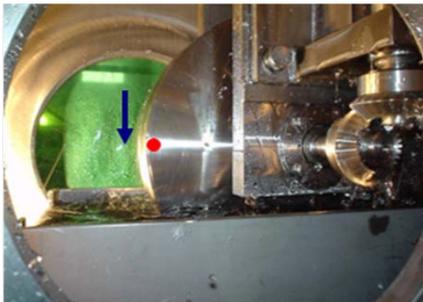


図2: ニッケル回転標的(赤点の位置にビームが入射する)

2.3 現在までのビーム強度

ハドロンビームライン運転開始から現在に至るビーム強度を図2に示す。2010年1月と2月の遅い取り出しでの最大強度 2.5×10^{12} ppp (2.0kW)、平均強度 1.7×10^{12} ppp (1.36kW)である。ちなみに12GeV-PSでの遅い取り出し強度が2001年当時、平均 3.6×10^{12} ppp (1.7kW)であった。

T1標的周辺の遮蔽体構造物は取り出しビーム強度750kWの下で一般区域境界の線量率を0.25 μ Sv/h以下になるように建設されている。そのため取り出し強度が数十kW以下では、標的の発熱処理、交換方法を設計の優先条件として再検討することで、二次粒子の生成量を最大にすることが出来る。

そのため2009年1月運転開始時ではニッケル回転標的を設置したが、その後、回転標的と同じ厚さのNiブロックとビーム損失量50%のPtロッド標的を設置して使用している。

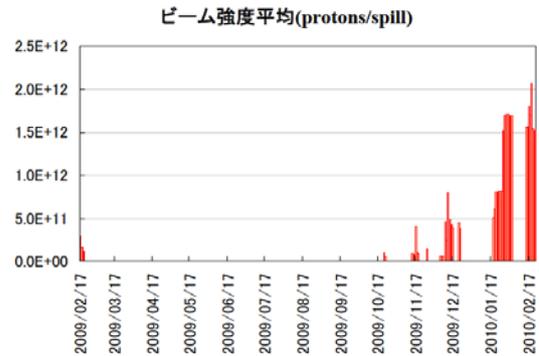


図3: 遅い取り出しビーム強度

3. 固定標的

3.1 形状

ビーム強度2kWまでに使用した固定標的を図4に示す。これは12GeV-PSで使用していた標的と同形状である。Ni標的はビーム軸方向が2.2章で述べた回転標的と同じ形状の厚さ、スリット構造で、Pt標的は直径6mm、長さ60mmである。Pt標的の発熱量は約76.4W(2kW時)でトンネル内の周辺温度を30 $^{\circ}$ Cとすると、平均温度約290 $^{\circ}$ Cであったと推定される。ビーム強度5kW運転では温度上昇643 $^{\circ}$ Cでこのタイプの標的では限界に近い。標的本体以上に周辺の駆動装置へのダメージが強く、駆動装置などの故障リスクは高くなる。



図4: 固定標的(上がNi54mm実効長、下がPt ϕ 6mm-L60mm)

3.2 K中間子の生成量

K1.8ビームラインにおいて、このNi固定標的(30%ロス)を用いて1.8GeV/cのK⁺のビーム収量を測定した。結果は、 $1.7 \times 10^4 \text{K} / 2.5 \times 10^{12} \text{protons}$ となり、設計値の $1.4 \times 10^6 \text{K} / 2.0 \times 10^{14} \text{protons}$ (30GeV-9μA)と良い一致をした。

また、運動量0.75GeV/cのK⁺、K⁻の生成量を、それぞれの標的Ni(30%ロス)とPt(50%ロス)で比較すると表1の通りである。測定値は入射陽子数 $3 \times 10^{11} \text{ppp} \times 5 \text{spill}$ であった。

表1：0.75GeV/cのK⁺、K⁻の生成量

	Ni	Pt	Pt/Ni
K ⁺	1178	2755	2.33 designed
	2218	4992	2.25
K ⁻	331	678	2.00 designed
	601	1116	1.9

4. 水冷固定標的

4.1 AGS-C4、D6標的との比較

ハドロンビームラインの標的を設計する上で参考にしたBNL AGS(24GeV)のビームラインは、1994年以降、入射エネルギーを200MeVから1900MeVに上げるなど、改良を重ねたことにより、大強度取り出し運転を始めた。1994年度に約 $4 \times 10^{13} \text{ppp}$ からスタートし、1995年度には $6 \times 10^{13} \text{ppp}$ 、1998年度には $7 \times 10^{13} \text{ppp}$ (スパイル長2.8s/サイクル5.1s)を達成している。この時の二次ビームラインへのビーム強度は平均 $4 \times 10^{13} \text{ppp}$ (30kW)、標的は水冷のPt標的(60mmから128mm)である。

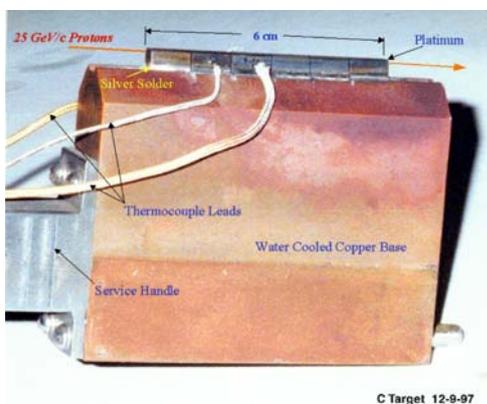


図5: AGS C-Target

4.2 ハドロンビームライン用の形状

ハドロンビームラインで使用する目的で強度

50kW ($6.25 \times 10^{13} \text{ppp}$)、Pt標的60mmでの同型水冷標的を検討している。MARSによる計算によるとPt標的では1.9kW、Cu熱浴などの周辺構造体は0.49kW、合わせて2.4kWの発熱量が予想される。冷却配管の内径を10mm、流速およそ数m/sとすると冷却配管長は400mm程度となり、Pt標的を支えるCu熱浴の外形寸法が大きくなって周辺構造体の発熱量が増加する結果になる。AGSでの実績が半分程度の強度であることから30kW以下での使用が安全である。

5. まとめ

目標強度の750kWに到達するまでには、ビームライン機器の初期故障の洗い出し、大強度加速器という装置の理解や保守作業の確立が必要であり、フルパワーになるまで経験を積む時間が必要である。しかし、実験するユーザーから見るとすぐにでも大強度の二次粒子が欲しいところである。

そのために、取り出し強度を見ながら二次粒子生成標的を選択してきた。ビーム強度に合わせて表2のように標的形状を変えることで最大のパフォーマンスが得られるが、残留線量との競争で作業しなければならないことに注意が必要である。

表2：ビーム強度と使用可能な標的形状

ビーム強度	標的形状	
~5kW	空冷固定標的	Pt50%ロス
~30kW	水冷固定標的	Pt50%ロス
30kW ~ 750kW	回転Ni標的	Ni30%ロス

30GeV 取り出し周期6s

参考文献

- [1] 田中万博他、“大強度陽子加速器施設原子核素粒子実験施設建設グループ ハドロンビームラインサブグループ中間報告書”、KEK Internal 2002-8 (2002)
- [2] 田中万博他、“大強度陽子加速器施設原子核素粒子実験施設建設グループ ハドロンビームラインサブグループ第2次中間報告書”、KEK Internal 2004-3 (2004)
- [3] 田中万博他、“J-PARC原子核素粒子実験施設技術設計報告書 ハドロンビームラインサブグループ第3次中間報告書”、KEK Internal 2007-1 (2007)