

J-PARC E17 実験 :
“Precision spectroscopy of Kaonic Helium $3d \rightarrow 2p$ X-rays”
実験申請課題技術評価委員会 (FIFC) 資料

目 次

1 本実験の概要 (J-PARC E17)	2
1.1 E15 実験との関連	2
1.2 DAY-1 実験	2
2 ビームライン	4
2.1 ビーム中心運動量の選択	4
2.2 π^- 絶対強度 (K/π 比)	4
3 実験装置	6
3.1 実験装置の概要	6
3.2 減速材	7
3.3 入射 K^- ビーム検出	8
3.4 崩壊荷電粒子検出	9
3.5 X線検出	9
3.6 ヘリウム3 標的	11
4 データ収集システム (DAQ システム)	13
5 予算状況	13
6 実験組織	15
7 安全上の問題に関して	16

1 本実験の概要 (J-PARC E17)

本実験は、K中間子ヘリウム3原子の最終軌道(2p)のシフトを ~ 2 eVの精度で決定することを目的とする。K中間子ヘリウム3原子は、液体ヘリウム3を標的とした静止 K^- 反応を用いて生成し、その脱励起過程から放出される $3d \rightarrow 2p$ X線を高分解能X線検出器によって測定し精密分光を行う。ここで必要となる具体的な実験手法の本質的な部分は、2005年末に行ったKEK-PS E570実験において確立されており、実験遂行にあたって原理的問題は存在しない。

本実験は、PACによる審査によって物理的意義が認められたものであり、J-PARCでのDAY-1実験としてステージ1の認定を受けている。

1.1 E15実験との関連

本実験E17は、E15実験“A search for deeply-bound kaonic nuclear states by in-flight ${}^3\text{He}(K^-, n)$ reaction”と深く関連している。いずれの実験も、違う角度からではあるが、K中間子と原子核の相互作用を研究しようとするものであり、必要となる実験装置面でも共通する部分が多い。また、多くの実験協力者がE15とオーバーラップする。このため、共通する部分を共同で開発すれば、効率的な実験の実施が可能となる。以下に両実験の共通/相違部分を下表にまとめ、本文では相違点に的を絞った記述を行う。

	本実験 E17	E15
反応	静止 K^-	In-flight K^-
二次ビームライン	K1.8BR	
二次ビーム運動量	0.75 GeV/c K^-	1.0 GeV/c K^-
入射ビーム検出	(静止 K) ビームライン検出器群	ビームラインスペクトロメーター
標的	液体ヘリウム3 ($\sim 500 \text{ cm}^3$)	
崩壊荷電粒子検出	円筒型検出器システム (CDS)	
磁場	無し	有り (ソレノイド電磁石)
X線検出	シリコンドリフト検出器 (SDD)	-
(前方) 中性子検出	-	中性子カウンター

1.2 DAY-1実験

本実験は、実験の性質上、非常に短時間で終了することが期待される。プロポーザルにおけるビームタイム要求は、

	K1.8BR の場合	(K1.1 の場合)
プロダクション (最大強度: 30GeV-9 μ A)	3.5 日	(2 日)
コミッショニング	10 日	(10 日)

とした。これは、ビーム強度が一桁弱い場合においても、一ヶ月程度(35日(K1.8BR) / 20日(K1.1))でデータ収集が可能であることを意味し、ビームタイム初期における低ビーム強度下においても実験可能である。従って、我々は、本実験(E17)を”DAY-1”実験としてE15実験の直前に同ビームラインで行うことを提案した。但し、上記のコミッショニングとは、本実験の検出器系に対するものであり、ビームライン調整期間は別途必要となる事は、注意しなければならない。特に、全く新規の、最初のビームラインチューニングとなる場合(入射ビームの中心運動量測定・エミッタンス測定・ K/π 比の最適化・ K^+ を用いた静止 K の調整等)、経験上少なくとも3週間程度のビームラインスタディが必要である。また、新規ビームラインの場合には、計算に乗らない想定外のパイオン軌道などが見いだされる事もしばしばあり、このようなビームライン本体に上流の改良を伴わなければならないような不具合が見いだされた場合は、例外として扱う必要がある。

2 ビームライン

本実験のプロポーザルでは、K1.1 ビームラインの使用も視野に入れ、K1.8BR と K1.1 の両方に対する収量見積もりを行ったが、現在、DAY-1 実験開始時には K1.8・K1.8BR の 2 本のビームラインが建設される予定となっている為、我々は (E15 実験も含め) K1.8BR を用いるものとして準備を進めている。

2.1 ビーム中心運動量の選択

表 1 に予想される K1.8BR の性能を示す。図 1 には、入射 K^- の運動量を関数とした、スピル¹あたりの静止 K^- の収量の計算結果を示す。最終フォーカス点 (FF) における入射 K^- ビーム収量は、Sanford-Wang の式とシミュレーションコード TURTLE で計算し、³He 標的 (15cm 長、6.4cm ϕ) に静止する割合は、(TURTLE で求めたビームプロファイルと運動量バイトを仮定した) モンテカルロシミュレーションから求めた。結果、750MeV/c において最大収量 ~ 900 イベント (/スピル) が得られ、本実験においては入射 K 中間子ビームの中心運動量として 750MeV/c 付近を用いる。図から見て取れるように、E570 で採用した 650MeV/c 入射からの K の収量には大きな差は無い。運動量を上げると、減速材等で、必要となる空間スペースが大きくなる。このため、実際の運動量の詳細決定は、架台やケーブルの取り回し等の詳細な詰めを待つて行う。

最大運動量	[GeV/c]	1.1
ビームラインの長さ	[m]	27.573
アクセプタンス	[msr·%]	2.5
運動量バイト	[%]	± 2.5
K^- 強度 [/スピル]	@ FF	0.19×10^6
K/π 比	@ FF	12.6

表 1: K1.8BR ビームラインの仕様 (preliminary)。 K^- 強度及び K/π 比は、Phase-I (30GeV-9 μ A) におけるビーム運動量 0.75GeV/c に対する見積もり (但し、“クラウド π ” による効果は含まれていない)。

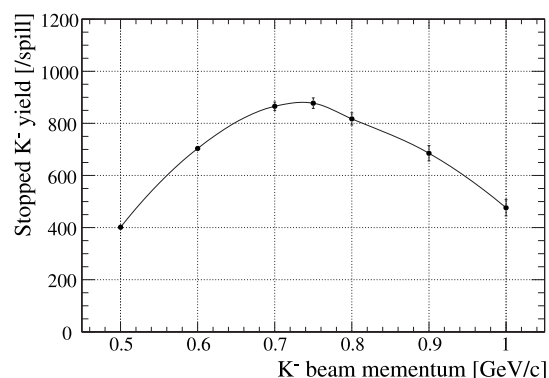


図 1: K1.8BR ビームラインにおける、スピル当たりの静止 K^- 収量の計算結果

2.2 π^- 絶対強度 (K/π 比)

E570 実験では、X 線エネルギー較正を、 K^- ビームに混在する最小電離損失粒子 (MIPS) である π^- により、ビームライン上に置かれたチタン及びニッケル箔を通過する際に生成する特性 X 線をエネルギー指標として使用している。この手法は、in-situ でのエネルギー較正が可能であり、ゲイン等の長期ドリフトに強く、数 eV 程度の精度を目指す為には必

¹スピル間隔:3.53[sec], フラットトップ:0.7[sec]

要不可欠である。このため本実験でも、同様の手法を適用する。従って、本実験の場合には K/π 比が良い事よりも、むしろコントロールされた、ある程度の π の混入が必要となる。後述するように、TURTLE で求めた π^- の広がり及び本実験のセットアップを考慮に入れた詳細な見積もりによると、 π^- の絶対強度はスピル当たり約 0.25×10^6 必要とする。従って、上記の K^- 強度を仮定すると、本実験においては K/π 比 ~ 0.75 程度が好ましい。表 1 の通り、計算結果の K/π 比は一桁以上大きいのが、TURTLE ではいわゆる“クラウド π ”は見積もる事が出来ないのが、この計算結果よりは K/π 比は小さいと考えられるが、本実験で必要な量であるかどうかは現時点では判断できない。しかしながら、この比は例えばセパレータ電圧等で調整可能であり、本質的な問題とはならない。

3 実験装置

3.1 実験装置の概要

E17実験における標的周辺の概略図を図2に示す。図のように、本実験セットアップは、減速材、標的、及び粒子検出システムによって構成され、粒子検出システムは、Kが標的中に止まった事を保証する為の入射ビーム検出および2次荷電粒子検出(CDC)と、X線検出の3パートに分類できる。

以下ではまず、精密分光の鍵となる実験手法及び装置について簡単にまとめ、後に実験装置の詳細について述べる。

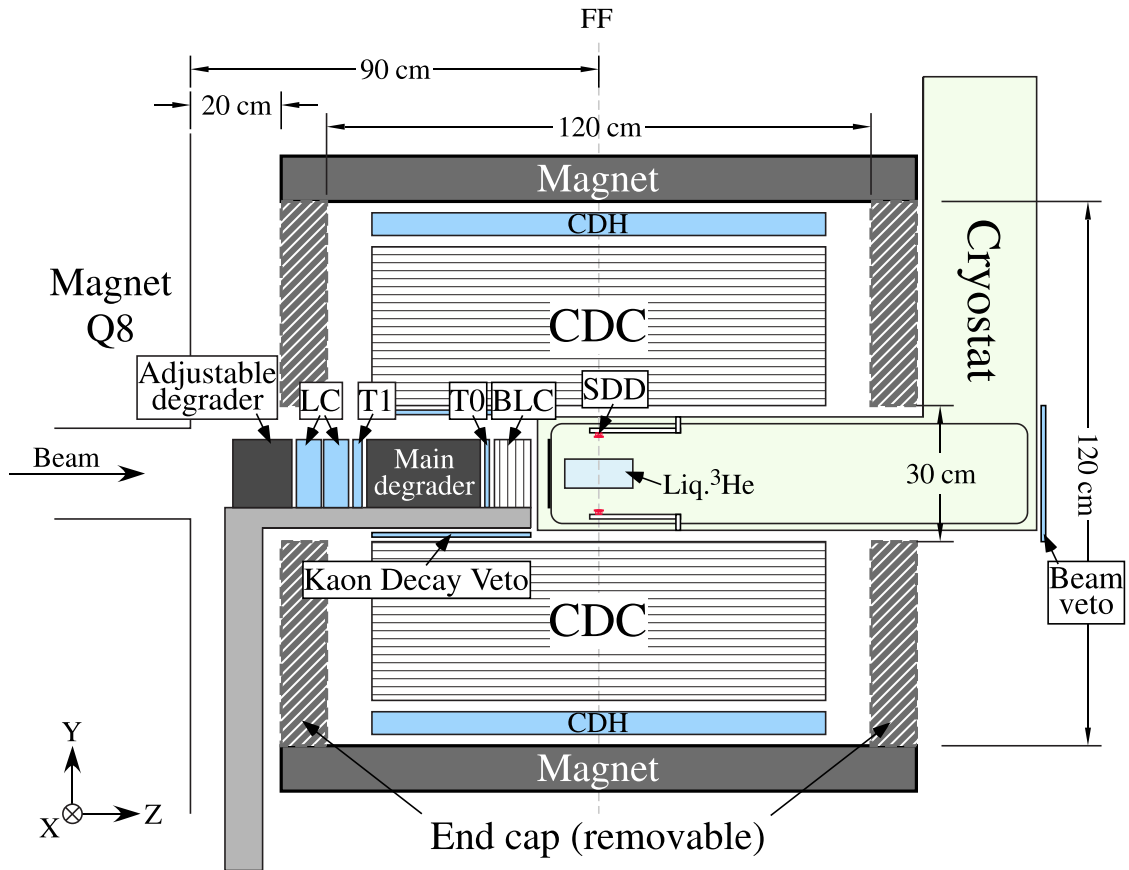


図 2: E17 実験における標的周辺の概略図

高分解能 X 線検出器

本実験では、E570 と同様に、X 線分光実験においてこれまで広く用いられてきた Si(Li) 型シリコン検出器の代わりに、新たに開発された X 線検出器「シリコンドリフト検出器(SDD)」を使用する。これにより、エネルギー精度が向上し (FWHM 300eV(Si(Li)) → 180eV(SDD))、薄いアクティブレイヤー (4mm(Si(Li))→260 μ m(SDD)) によりソフトコンプトン起因のバックグラウンドに対して強い検出器となった。

標的・内静止事象の選択

入射 K 中間子と K 中間子原子生成後の崩壊に伴い放出される荷電粒子を飛跡追跡することで反応点を再構成し、標的以外で反応した事象を除くことで、バックグラウンドを低減する。さらに、標的入射直前の K 中間子の速度と反応点の関係から、静止事象のみを積極的に選択する。この手法により、前実験 (E570) においては、S/N 比 ~ 8 を実現した (過去の実験に対して約 10 倍の改善)。

ビーム励起による特性 X 線を用いたエネルギー較正

エネルギー較正には、入射 K^- ビームに混在した π^- 中間子²が励起するチタン及びニッケル箔からの特性 X 線を用いる。目的の K 中間子ヘリウム原子 $3d \rightarrow 2p$ X 線のエネルギーが $\sim 6.4\text{keV}$ であるのに対して、チタン及びニッケルの $K\alpha$ 線のエネルギーは、これを挟むように 4.5keV (Ti) と 7.5keV (Ni) に位置しているため、理想的な in-situ キャリブレーションを実現する。 $3d \rightarrow 2p$ X 線のシグナルと同時に較正データの収集するため、信頼度の高いエネルギー較正となる。

E570 において、較正用データは、チタン及びニッケルの $K\alpha$ 線に対してそれぞれ、SDD 当たり 1 シフト (8 時間) で約 5,000 イベントずつ得られ、数シフト毎のエネルギー較正を可能とした。そこで、本実験に対して、E570 から得られた K 殻電離断面積を用い、TURTLE で求めた K1.8BR における π^- の広がり及び本実験のセットアップ (標的・校正用 Ti/Ni 箔・SDD の配置) を考慮に入れ、較正用データの収量見積もりを行った。結果、本実験においては、スパイル当たり約 0.25×10^6 の π^- 入射によって、E570 と同程度の較正データを得られることがわかった。

3.2 減速材

入射 K^- ビームを標的中に静止させるため、カーボン減速材を用いる。これには、E570 で用いた、密度 $\sim 1.9\text{g/cm}^3$ のカーボングラファイトブロックを再利用する。実験中、CDC 内部のアクセスは困難なため、図 2 のように、メインの減速材は CDC 内部、レンジカーブ調整用の減速材は最上流に配置する。E570 では、 $660\text{MeV}/c$ の K 入射を行ったが、運動量を上げる場合には、減速材を増やす必要が有る。しかしながら、減速材と言う意味ではその変更は大きな物ではない。ビームライン上のカウンターの物質量を考慮した上で、必要なカーボン (メイン減速材 + 調整用減速材) の厚さは、入射ビーム運動量 $650 / 700 / 750$ (MeV/c) に対して、それぞれ、約 $38 / 48 / 58$ (cm) と予想される。

²数 eV 程度の精度を要求する際には、特性 X 線のエネルギーといえども、どのように電子軌道に空孔を生成するかによるエネルギー変化が必ずしも無視できない。特に荷電粒子によって励起する場合、エネルギー損失の大きさにわずかながら依存する。本実験は、最小電離損失を与える π^- 中間子起因の特性 X 線事象のみを選択し較正に用いる。

3.3 入射 K^- ビーム検出

基本構成は、E570と同様で、図2のように、最上流から、ルサイトチェレンコフカウンター、シンチレーションカウンター、及び、ドリフトチェンバーを配置する。

ルサイトチェレンコフカウンター (LC)

最上流にルサイトチェレンコフカウンター (LC) を設置し、トリガーレベルで入射ビームの K/π 識別を行う。識別効率向上のため二台の LC を用いる。二台の LC は、E570 で使用した屈折率 $n=1.5$ 、サイズ $20 \times 20 \times 5.5\text{cm}$ のものを再利用する。ルサイトチェレンコフは、 $650\text{MeV}/c$ の K でも既に多少 K に対して感度を持つ為、その配置には、多少の工夫が必要となる。より高い運動量入射を採用する事が確定すれば、最近開発された高屈折率型のアエロジェル採用も視野に入れるが、その読み出しは技術的に確立しており、これも本質的な問題とはならない。

シンチレーションカウンター (T1, T0)

シンチレーションカウンター T1 は、トリガーにおけるビーム決定のために用いる (defining counter)。メイン減速材の直後に配置するシンチレーションカウンター T0 は、十分に減速された K^- のエネルギー損失を ADC 情報から得ることによって、in-flight K^- 事象との選別に用いる。

T1 は、E570 で使用したものを再利用する。T0 は、CDC の中に配置するため、光電子増倍管 (PMT) が CDC と干渉しないよう上流方向に 90 度曲がった特殊な形のライトガイドをもつ両読みのプラスチックシンチレーションカウンターとして制作する。高計数に対応するため (水平方向に) 3 セグメントに分割、PMT はブースター付きの $3/4$ インチ管を用いる。

ビームラインドリフトチェンバー (BLC)

標的の直前に配置されたビームラインドリフトチェンバー (BLC) は、減速された K 中間子の飛跡を標的直前でトラックするために用いる。BLC は、CDC 筒中 (直径 30cm 以内) にインストール可能な小型のドリフトチェンバーでなければならない。標的の直径は 6.4cm と小さく、また標的までの距離は $\sim 8\text{cm}$ と短いことから、有効面積 $8 \times 8\text{cm}^2$ 、 2.5mm ピッチ、8面 ($xx'yy'xx'yy'$) の小型ドリフトチェンバーを制作する。ASD カード及び読み出し回路は、E15 実験の最下流のビームラインチェンバーで使用するものを共用する (COPPER システム)。

ビーム VETO カウンター

In-flight イベントをトリガーレベルで除くため、最下流にビーム VETO カウンターを配置する。E570 で使用した、サイズ $31.5 \times 31.5 \times 1.0\text{cm}$ のプラスチックシンチレーターを再利用する。

3.4 崩壊荷電粒子検出

反応点を再構成するための崩壊荷電粒子の飛跡追跡には、E15 で制作する円筒型検出器システム (CDS) を用いる。CDS は、ソレノイド電磁石、その内部に設置される円筒型ドリフトチェンバー (CDC)、CDC を取り囲むように設置されるトリガーホドスコープ (CDH)、及び CDC 内部に設置する荷電粒子 VETO 用シンチレーターによって構成された複合検出器群である。この崩壊荷電粒子検出器系は、E15 実験と共同で開発を進める。(CDC 及び CDH に関する詳細は E15 の同 FIFC 資料を参照。)

円筒型荷電粒子 VETO カウンター

円筒型荷電粒子 VETO カウンターは、E15 実験において、CDC の入り口から標的までの間における、入射 K 中間子崩壊に起因した荷電粒子の VETO を目的とした、厚さ 1cm の円筒型プラスチックシンチレーションカウンター群である。本カウンターは、CDH に対してトリガーレベルで VETO を行う。一方 E17 では、同区間に、減速材及びビームラインカウンター群を配置するため、入射ビームの崩壊だけでなく、これらの物質による散乱や反応によって荷電粒子が大量に放出される。これらのバックグラウンドの除去を目的とし、本カウンターを共用する。信号は、シンチレーターに掘られた溝に「Wave length shifting fiber」を埋め込み、これを電磁石外部に引き出し、マルチアノード光電子増倍管を用いて読み出される。

CDS 上流部分の空間的制約について

CDS 上流部分は、多チャンネルの検出器が CDC 中心付近に設置されるため、空間的な余裕が少ない。さらに CDC 内側と検出器のすき間を用いて、内部の検出器への配線を通す必要があるが、その数はビームライン検出器系の 28 本のみであるから、問題とはならない。また、CDC/CDH へのケーブルは、電磁石前後の蓋を開けて使用可能であるため、そこから配線できる。

一方、既に述べたように、E17 の直後に E15 を行う予定である。この E15 における、“磁場 + CDC システム” を用いた運動量測定 of 絶対値較正には、既知の単色荷電粒子が必須である。そこで、静止 K^+ の $K\mu 2$ 崩壊からの単色 μ^+ が有用であるため、E15 においても、静止 K のためのセットアップが必要となり、本実験セットアップをそのまま運動量絶対値較正用のセットアップとして使用できることが望ましい。このためには、電磁石の蓋をした状態で、ビームライン検出器系と CDC/CDH のケーブルが空間的に収まる事が必要である。今後、この空間的制約をクリアすべく、十分な検討を行う。

3.5 X 線検出

X 線検出器には、KEK-PS E570 実験において使用したものと同様の、シリコンドリフト検出器 (SDD) を用いる。SDD は、図 3 のように、 ^3He 標的セルをサイドから見るように、真空容器中に配置する。E570 同様、サポート治具を通して液体窒素温度に冷却される。

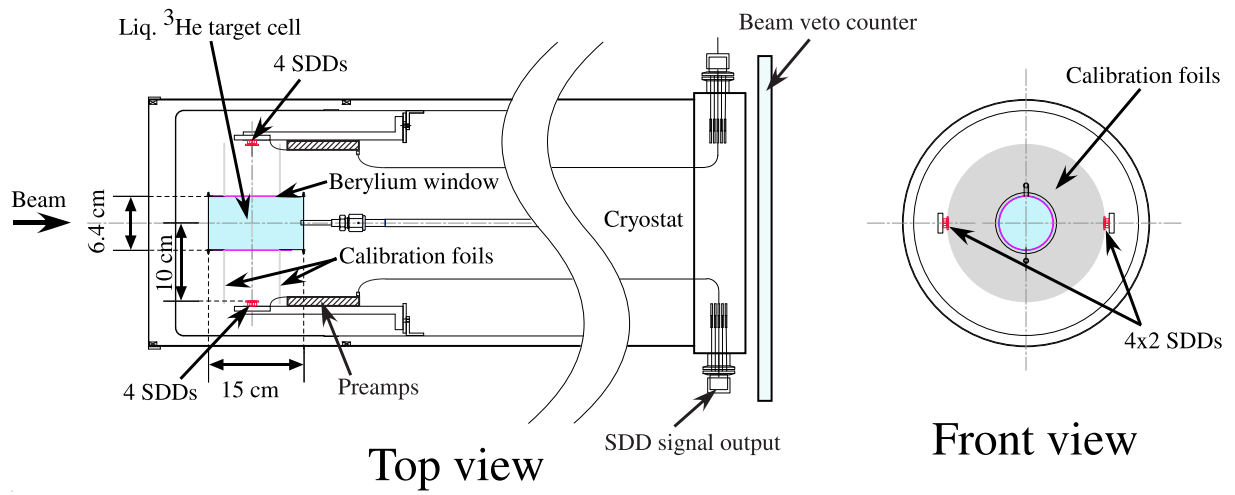


図 3: X線検出器・プリアンプ・ケーブル配線・校正用フォイルの配置

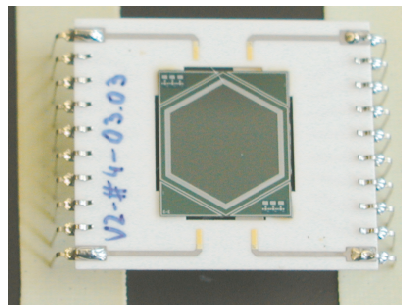


図 4: KETEK SDD プロトタイプ (100 mm²) : E570 で使用

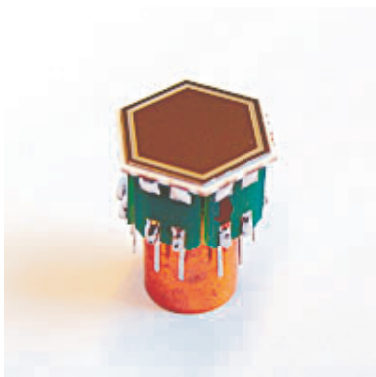


図 5: KETEK 100 mm² VITUS SDD スリムラインコンポーネント

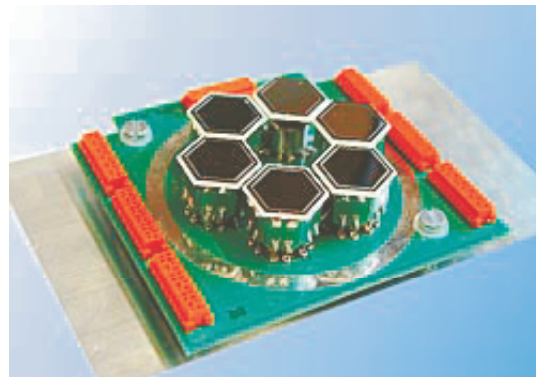


図 6: KETEK カスタマイズ VITUS SDD アレー

シリコンドリフト検出器 (SDD)

E570 で使用していた SDD は図 4 のようなプロトタイプ版であったが、最新のパッケージは図 5 のようにモジュール化されており、図 6 のように集積可能となっている。このため、ビームハローが少ないと予想される領域に、より立体角を稼ぎやすい位置に高密度実装が可能となる。本実験では、新しいタイプの 4SDD パッケージ版を 2 台使用する。

一方、現在、正常動作するプロトタイプ版 SDD は、プリアンプとセットで 12 台所有している (内 3 台は共同実験者の所有) ため、本機を使用することも可能である。(但し、新しい物が確保できた場合に、このプロトタイプもつぎ足すことは、読み出しの空間的制約からあまり現実的ではない。)

プリアンプ

E570 実験では、SDD 使用が初めてと言う事も有り、プリアンプの外部制御がしやすいように、プリアンプは真空の外に置いた。本実験の場合には、空間的制約から、不可避免的に真空内に設置せざるを得ない。すでに十分の経験を有しているので、この際、プリアンプの外部制御の自由度は重要ではない。プリアンプカード自体も必要であればモールド等を施す事も可能である。より技術的問題としては、真空中でどのようにプリアンプの温度コントロールするかが挙げられるが、これもテストベンチで十分に試験する事が可能であり、原理的な問題とはならない。むしろ、アンプする前の微弱なシグナルの引き回し距離が減る事により、より安定した分解能の良いデータ収集が可能であると考えられる。

シェイピングアンプ

プリアンプ後のシグナルは、現在我々が所有している (E570 で使用した) シェイピングアンプ「CAEN Spectroscopy Amplifier N568B」を使用する。16 チャンネルインプットをもち、CAENET により外部からの操作が可能である。本機は、真空容器のシグナル取り出しポートのすぐ近くに設置する。

3.6 ヘリウム 3 標的

液体ヘリウム 3 標的は E15 実験と共同開発を行う。ヘリウム標的に関する液化方法、開発状況等の詳細は、E15 実験の FIFC 資料と重複するので、ここでは省略する。図 7 に E17 実験に使用する液体ヘリウム 3 標的の構成を示す。本実験では、測定する X 線の減衰を考慮し X 線検出システムを標的装置内に組み込む。そこで、E15 実験用よりも大きな直径 25 cm の CFRP 真空容器と直径 20 cm の放射シールドを用いる。

熱流入の見積もり

E570 実験ではノイズを軽減するために、真空容器外部に配置したプリアンプと中の SDD を最短ルートで結線する必要があり、放射シールドの標的容器に近い位置に穴を空け、そこからハーメチックを通して配線をした。これにより 0.16 W であった標的の 1K 部分への

熱流入は 0.48 W まで増加した。本実験でもそれと同等の熱流入が予想されるので、E17 実験での 1K タンクの温度は 1.4 K、ヘリウム 3 熱交換器から下流までの熱流入は 0.25 W と見積もられる。E15 の資料と同様の計算により熱交換器内のヘリウム 3 の温度は 1.5 K となり、E15 実験に比べて熱流入は増加するが、冷凍器は液化するには十分な温度まで熱交換器を冷やすことができる。更に、本実験では SDD だけではなくプリアンプも真空容器中に入れる予定なので、信号を十分長いケーブルを使い標的の下流より外部へ取り出すことが可能になり、また放射シールドに穴を空ける必要もなくなったため、1K 部分への熱流入は 0.3 W 程度まで軽減できる。

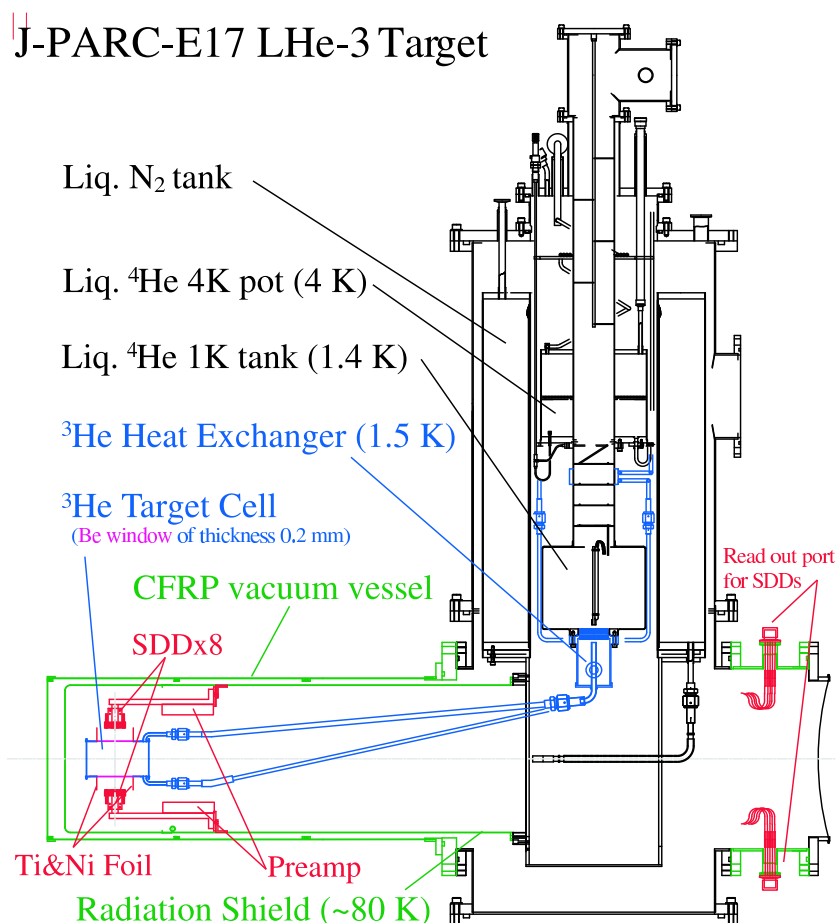


図 7: 液体ヘリウム標的の構成 (図中の SDD 及びサポート治具は、現在所有しているプロトタイプ SDD を用いた場合のセットアップとなっている。)

4 データ収集システム (DAQシステム)

E17実験のDAQシステムは、前述の通り測定器系がE15実験に追加されるような構成となっているため、E15実験のシステムに対して必要なチャンネルを追加した形で構成される。E15実験のDAQシステムはCOPPERシステムとTKOシステムの混成であり、E17実験も同様のシステムとなる。

追加されるチャンネルのうち、ビームライン上のカウンター(TKO ADC 10 ch, TKO TDC 10 ch)の他はSDD関係のものであり、SDD ADC (48 ch = ピークホールド (P.H.) 型 32ch, Flash ADC 16 ch) と SDD TDC (8 ch) を合わせて約 100 チャンネルである。これらにE15実験でも使われるビームラインスペクトロメーター、CDS、中性子検出器関連の合計約 3,000 chを加えたものが全読み出しチャンネルとなる。

特にSDD用のP.H.型ADCについては、実験全体の分解能を左右する部分であるため、同時にウイルキンソン型と逐次近似型のアナログ⇒デジタル変換器を用いることで相互に検証可能であることを保障する。また、Flash ADCは主にパイルアップ事象の棄却に用いる。

E570実験でのデータに基づき期待されるトリガレートは500 Hz程度であるとすれば、TKO + COPPERシステムのデータ収集サイクル時間を考慮すると85%以上のライブレートでデータ収集が可能となる。また、ゼロサプレス後の取得データは凡そ毎時1.5 GB程度となる。データは、光ディスクに書き出すと同時に、J-PARCカウンティングハウス内と理研に設置したデータサーバーにネットワークを通して分散して保存し、冗長性を確保する。

以上のうち、TKOを利用する部分に関しては既存の設備を利用し、テスト兼予備分を含めたCOPPERシステムと、データサーバー関連を新規に購入する。

5 予算状況

E15実験と共通セットアップに関しては、H17年度からH21年度の予定で認められている特定領域研究計画「マルチストレンジネス多体系の分光」(代表：永江知文)のうち研究計画「K中間子が拓く超高密度クォーク物質の研究」を基に準備を進めている。一方、E17実験に特化した予算について、別途申請を予定している。下表に、E15との共有部分を除いた、実験装置の概算見積を項目別に示す。

品目	個数	概算金額 [千円]
X 線検出システム		
X 線検出器：4SDD array × 2 台 (プリアンプ含)	2	8,500
エネルギー較正用 チタン・ニッケル箔 (純度:5N%,10×10cm ²)	4	1,200
	小計	9,700
標的システム		
CFRP(フランジ・キャップ等含)	2	950
放射シールド	1	600
最下流フランジ等	1	450
SDD サポート治具	1	500
クライオスタット改造費用	1	500
	小計	3,000
ビームライン飛跡検出器システム		
ビームラインカウンター T0	1	700
(小型) ビームラインドリフトチェンバー (BLC)	1	3,000
ビームライン検出器架台	1	1,000
	小計	4,700
DAQ システム (COPPER システム)		
クレート	2	900
メインボード	2	600
プロセッサ	3	450
Flash ADC カード	2	1,500
ウイルキンソン ADC カード	2	1,200
逐次近似 ADC カード	2	1,200
トリガモジュール	3	150
	小計	6,000
データサーバー		
サーバー	2	800
ストレージ	2	1,800
大容量光学ディスク装置	2	200
ネットワーク機器	1	800
	小計	3,600
	合計	27,000

6 実験組織

本実験の組織は、世界の9つの大学・研究機関から38名の研究者によって構成されている。下記に、本実験のコラボレーションリスト³を示す。既に述べた通り、本実験の多くの実験協力者がE15とオーバーラップしており、測定器建設・³He標的開発等、共同開発を進めていく。現状における、機関別の役割分担を下記の通りである。

コラボレーションリスト

G. Beer^a, H. Bhang^b, P. Buehler^c, M. Cargnelli^c, 千葉順成^d, S. Choi^b, C. Curceanu^e, 福田芳之^f, C. Guaraldo^e, 花木俊生^d, 早野龍五^{g,4}, A. Hirtl^c, 飯尾雅実^h, M. Iliescu^e, 石川隆^g, 石元茂ⁱ, 石渡智一^c, 板橋健太^h, 岩崎雅彦^{f,h}, P. Kienle^c, J. Marton^c, 松田恭幸^h, 大西宏明^h, 岡田信二^{h,5}, 應田治彦^{h,6}, D. Pietreanu^e, 佐久間史典^h, 佐藤将春^f, D. Sirghi^e, F. Sirghi^e, 鈴木祥仁ⁱ, 鈴木隆敏^h, 竜野秀行^g, 友野大^h, E. Widmann^c, 山崎敏光^{g,h}, H. Yim^b, J. Zmeskal^c

^a ヴィクトリア大学 (カナダ)

^b ソウル大学 (韓国)

^c ステファンマイヤー研究所 (オーストリア)

^d 東京理科大学

^e LNF-INFN (イタリア)

^f 東京工業大学

^g 東京大学

^h 理化学研究所

ⁱ 高エネルギー加速器研究機構

参加機関別責任分担

X線検出器 : 理化学研究所 - 東京大学 - ステファンマイヤー研究所 - LNF-INFN

円筒型検出器システム (CDS) : E15 実験 FIFC 資料 (実験組織の章) を参照

ヘリウム3標的 : 理化学研究所 - 高エネルギー加速器研究機構

(静止Kのための) 入射ビーム検出器群 : 理化学研究所

データ収集系 : 理化学研究所

³プロポーザル時のリストより新規に2名加わった。

⁴Spokesperson

⁵Technical coordinator

⁶Co-spokesperson

7 安全上の問題に関して

E15 と共通の「可燃ガス」「高電圧」「放射性防護」「 ^3He 標的」に関する安全対策については、E15 の同 FIFC 資料を参照。