

## OPERATIONAL STATUS OF BigRIPS HELIUM CRYOGENIC SYSTEM

Masao Ohtake, Kensuke Kusaka, Toshiyuki Kubo, and Yasushige Yano  
Nishina Center for Accelerator Based Science, RIKEN  
2-1 Hirosawa, Wako-shi, Saitama, 351-0198

### Abstract

The BigRIPS separator is an in-flight separator characterized by superconducting quadrupole triplets (STQ's). These superconducting magnets are cooled by two different system; a large liquid-helium cryogenic plant for the first five STQ's and small cryocoolers for the rest. Operational status of the large cryogenic plant and STQ's with small cryocoolers are reported.

### BigRIPSヘリウム冷凍システムの運転状況

#### 1. はじめに

RIビームの生成分離装置であるBigRIPSとは、SRCで加速された高エネルギーのウランなどの安定核ビームを生成標的中の安定原子核との衝突で破砕・分裂させ、得られる破砕片および分裂片核種(RIビーム)を高効率で集めることを目的とする、8台の常伝導偏向電磁石と、23台の大口徑超伝導3連4重極電磁石(STQ)で構成されるビームラインである<sup>[1]</sup>。大角度に散乱するRIビームを効率良く収束するため、そのイオン光学は、大きな角度(水平80mr, 垂直100mr)及び、運動量(6%)アクセプタンスによって特徴づけられるが、これらは強い磁場勾配と、大きなビーム空間(ボア径)をもつ超伝導電磁石STQによって実現される。この超伝導電磁石を冷却するヘリウム冷凍システムの運転状況について報告する。

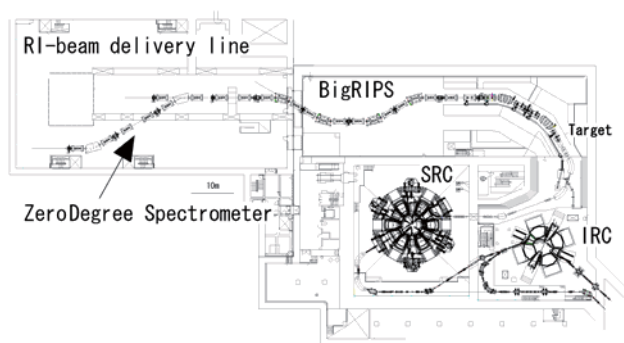


図1 RIBFレイアウト

#### 2. BigRIPSヘリウム冷凍システム

RIビームを分離する第1ステージには、生成標的や一次ビームを止めるビームダンプが配置されるが、それらは中性子、荷電粒子の発生源であるため、ここに配置されるSTQ1~STQ5を冷却する冷凍システム

は、通常の熱侵入に加えて、中性子、荷電粒子による放射性熱負荷を考慮しなければならない。このビーム熱負荷のために、第1ステージのクライオスタットは大型ヘリウム冷凍機(Linde社, TCF50S)によって冷却される<sup>[2,3]</sup>。(図2)



図2 STQ1-3とTCF50S

一方、ビーム熱負荷が無いと期待される位置に配置されるSTQ6~STQ23は、クライオスタット上部に取り付けられた2台の小型冷凍機によって冷却される小型冷凍機搭載型STQである。超伝導コイルおよび鉄心を格納するHe容器はGM/JT 4K冷凍機によって、シールドと電流リードはGM冷凍機によって冷却され、それらの冷凍能力はそれぞれ、4.3Kで2.5W、80Kで100Wである。熱侵入をできるだけ抑えるために、高温超伝導体を用いた電流リードを用いていることが特徴である<sup>[4]</sup>。

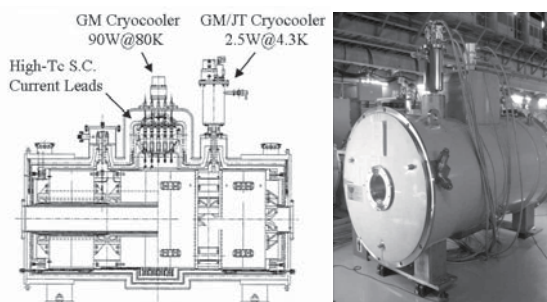


図3 冷凍機搭載型STQ

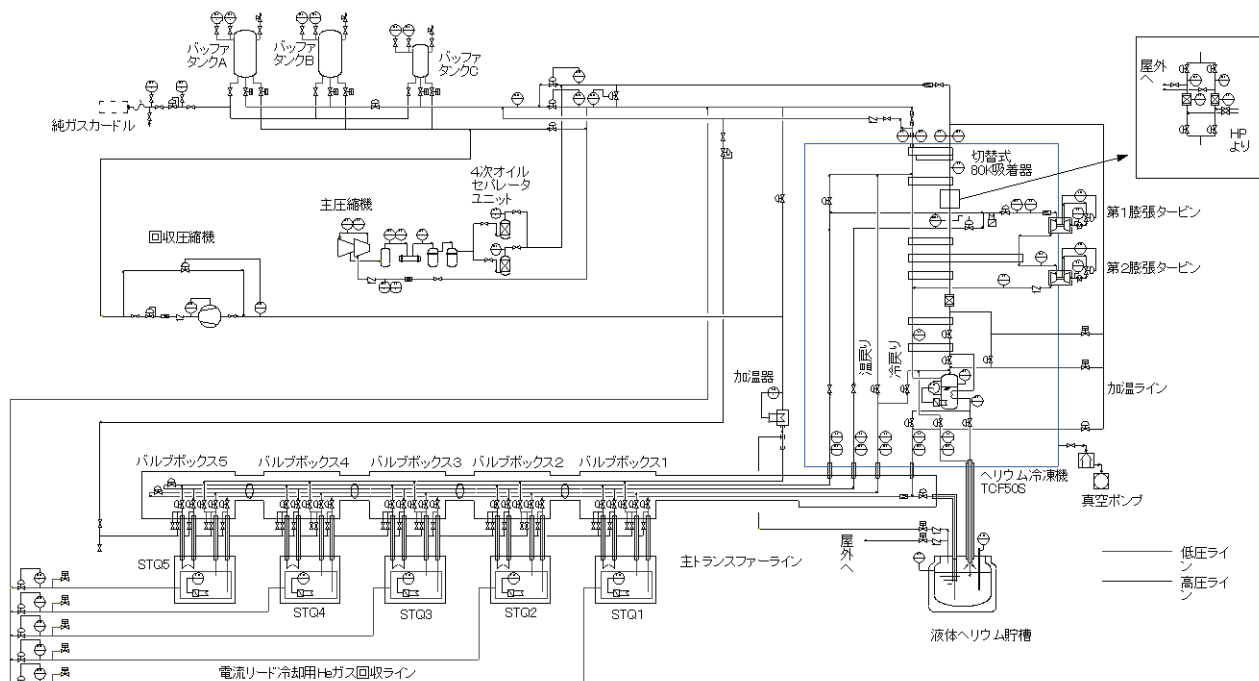


図4 大型ヘリウム冷凍システム概略系統図

### 3. 大型ヘリウム冷凍システムの運転状況

大型ヘリウム冷凍システムの概略系統図を図2に、主たるパラメータを表1に示す。ヘリウムバッファータンク（100m<sup>3</sup>2基、10m<sup>3</sup>1基すべて許容圧力2.0MPa）に充填された冷媒ヘリウムガスは主圧縮機を介して冷凍機に送気され、膨張タービンおよびJT弁の作用によって液化ヘリウムガスを製造する。製造された液体ヘリウムは、全長約50mのトランスファーチューブによりバルブボックスを介してSTQ1～STQ5に送液される。また、STQの80Kシールド層も冷凍機の80K吸着器出口から分岐したヘリウムガスにより冷却される。

図3に予冷曲線の一例を示す。予冷時には、マグネットの圧力、戻りガス温度に応じて、冷媒供給圧、JT弁、JTバイパス弁の開度を変更して運転するが、これらの手動操作を除けば、ほぼ自動で冷却が可能である。システム全系が室温から液体ヘリウム温度まで冷却するのに約15日、貯液完了まで約20日を要する。

貯液完了後は、各STQの冷媒供給弁開度を固定後に、戻り弁でマグネットの圧力が一定となるよう制御しながら、一定の液位（85%）を保つようにSTQ

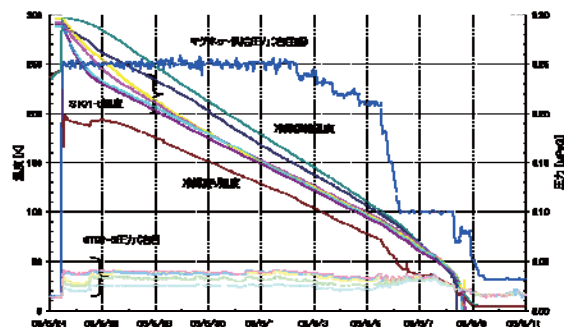


図5 STQ1-5冷却曲線

内のヒーター出力を自動制御している。この制御は台形制御で行い、液面維持運転はほぼ全自動化されている。

2004年の試運転後、シールドの強化工事を経て、配管類熱負荷の測定を終え、2006年3月にマグネットシステムとしての冷凍システムが完成した。2006年5月に圧縮機を起動し、循環精製運転、冷凍機単体冷却試験後にマグネットを含む全体冷却を開始、上述のように約20日で貯液まで完了した。その後通電試験、液面制御ヒーターの調整などで、約45日間連続運転を行い、定期自主検査のため冷凍機、圧縮機を停止した。同年10月に運転を再開したのだが、

主圧縮機	前川製作所 HE2520MSC-LMB	油噴射スクリー式2段圧縮機	吐出圧力1.6MPaG 吐出流量73.5g/s、消費電力315kW
冷凍機	Linde TCF-50S	膨張タービン式	4K冷凍能力(設計値)320W、 80K冷凍能力(設計値)700W 電流リード冷却 0.91g/s
負荷	マグネット(STQ1-5) 配管類	侵し冷却式、総低温重量42ton	負荷 18W(4K), 225W(80K) 負荷 101W(4K), 481W(80K)

表1 大型ヘリウム冷凍システム基本パラメータ

ガス分析器の誤操作で、系内に大気が混入するトラブルが起こる。低温精製器を使用してマグネットを除く全系の循環精製運転を行い、11月中旬から冷却運転を開始、12月には液面維持運転を行った。しかしながら、液面維持運転開始後30日ごろから冷凍能力が下がり始め、50日目にはマグネットの液位を保てなくなり、冷凍機を昇温した。

その後はビームタイムにあわせて冷却、液面維持、冷凍機の昇温を繰り返す運転を半年にわたり続けてきた。図6に冷凍能力の低下を表す第一タービンの流量カーブを示す。この流量低下は第1および第2熱交換器付近の高圧部で圧力降下が起こっているため、高融点の不純物（水分など）が固着しているものと考えている。

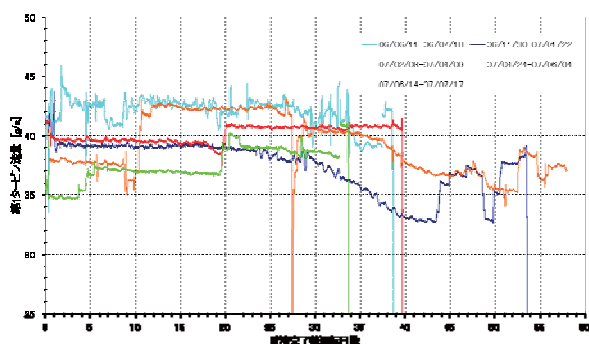


図6 第一タービン流量の変化

#### 4. 小型冷凍機搭載型STQの運転状況

STQ6～STQ14の小型冷凍機搭載型STQは、2004年に工場試験後納品され、常温で保管された後、2005年2月から2006年2月の間に液体窒素、液体ヘリウムを外部から注液して予冷が行われ、同時に据付も行われた。図5にSTQ6～STQ14の予冷時に使用した冷媒総量、及び総送液時間を示す。STQ15～STQ22については、工場試験後、冷却したままでサイトに搬入、据付が行われ、2006年12月にはすべての小型冷凍機搭載型STQの運転が開始された。

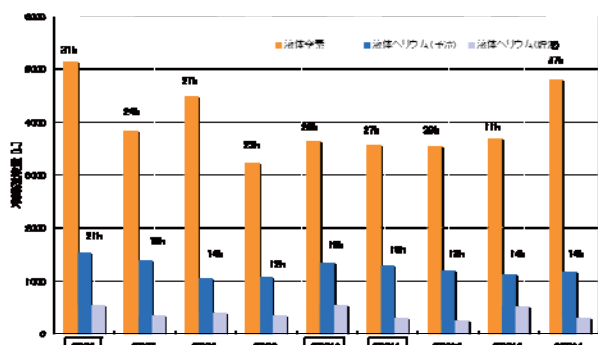


図7 予冷時冷媒使用量

貯液完了後は、80Kシールドおよび超伝導電流リード冷却用GM冷凍機は完全自動運転、4K容器の冷

却用のGM/JT冷凍機は立ち上げ時のJT弁開度調整を除き完全自動で連続運転を行っている。

小型冷凍機が停止すると直ちに液体ヘリウムが蒸発、容器の圧力が上昇し、安全弁の圧力を超えると、ヘリウムが散逸するため、異常時の早期発見が重要となる。そのため監視端末で容器の圧力、液位、インタロック信号を終日監視、1日2回の現場巡視を行っている。また、月例点検としてGM冷凍機圧縮機、GM/JT冷凍機圧縮機の圧力および冷却水水量を記録している。

しかしながら、落雷による停電、冷凍機の初期不良に加えて、2度にわたりストレーナの目詰まり、流量不足による圧縮機の停止が起こり、冷却水の状態を改善することが必要とされている。

メンテナンスは8,000時間毎にGM冷凍機圧縮機、GM/JT冷凍機圧縮機ともにディスプレイサの交換が必要である。GM冷凍機は冷えた状態で行う、コールドメンテが可能であるが、GM/JT冷凍機の交換作業は昇温が必要で、約12時間の昇温と作業時間（約2時間）の間は冷凍機を停止する必要があり、メンテナンス後には、液体ヘリウムの注液を要する。またこのウォームメンテの際にはGM/JT冷凍機の断熱真空の排気が必要である。

#### 5. 今後の課題

大型ヘリウム冷凍システムに関しては、長期連続運転を行うため、冷媒純度の改善が最緊急課題である。主圧縮機のセパレータ、吸着器の再生を行うと同時に、純度管理のためのガス分析計、露点計の導入を計画している。また、負荷変動があるときの運転を確立することも、将来SRCからのビーム強度が増大した時のための重要な課題である。

小型冷凍機搭載型のSTQにおいては、冷却水の水质管理が重要で、他の系統も含めてストレーナの清掃、薬注などを行っていくと同時に、定期的な流量管理を行うことが重要である。

#### 参考文献

- [1] T. Kubo, "In-flight RI beam separator BigRIPS at RIKEN and elsewhere in Japan," Nucl. Instr and Meth., B204, 97 (2003)
- [2] T. Kubo et al., "Basic design of a liquid-helium cryogenic system for the BigRIPS separator", RIKEN Accel. Prog. Rep. 36, 316 (2003).
- [3] T. Kubo et al., "Stand-alone test operation of the BigRIPS liquid-helium cryogenic plant and heat-load measurement of its cryogenic-temperature transfer line", RIKEN Accel. Prog. Rep. 38, 289 (2005).
- [4] K. Kusaka et al., "Prototype of Superferric Quadrupole Magnets for the BigRIPS Separator at RIKEN", IEEE Trans. Appl. Supercond, vol. 14, no. 2, pp.310-315, 2004.