

# 高磁界マグネット用 2K 冷凍機の開発 (1) - 熱設計 -

Development of 2K Cryocooler for High Filed Magnet Applications (1) - Thermal Design -

NIMS<sup>A</sup>, (株)東芝<sup>B</sup>, 東工大総理工<sup>C</sup> ◦ 佐藤明男<sup>A</sup>, 二森茂樹<sup>A</sup>, 前田実<sup>A</sup>, 沼澤健則<sup>A</sup>, 松本文明<sup>A</sup>, 永井秀雄<sup>A</sup>,

高橋政彦<sup>B</sup>, 栗山透<sup>B</sup>, 藤岡勉<sup>B</sup>, 伊藤利道<sup>C</sup>, 岡村哲至<sup>C</sup>

A. Sato<sup>A</sup>, S. Nimori<sup>A</sup>, M. Maeda<sup>A</sup>, T. Takenori<sup>A</sup>, F. Matsumoto<sup>A</sup>, H. Nagai<sup>A</sup>, M. Takahashi<sup>B</sup>, T. Kuriyama<sup>B</sup>, T. Fujioka<sup>B</sup>, T. Ito<sup>C</sup>, T. Okamura<sup>C</sup>

<sup>A</sup>National Institute for Materials Science, <sup>B</sup>Toshiba Corp., <sup>C</sup>Tokyo Institute of Technology

E-mail: sato.akio@nims.go.jp

## 1. はじめに

20 T を越える高磁界超伝導マグネットは、通常超流動ヘリウムで冷却される。しかしながら蓄積エネルギーが大きくなると、クエンチの際の安全性の確保が大きな問題となる。伝導冷却型の超伝導マグネットであれば、冷媒の急激な蒸発による危険性はなくなり、運転操作も簡単になる。NIMS では伝導冷却高磁界超伝導マグネットなどへの応用を目的として 2 K レベルの小型冷凍機を開発している。前回は、GM/JT 冷凍方式で 1.98 K で 1.85 W の冷凍能力を出せることを報告した [1]。マグネットを冷却する場合は HTS 電流リードの冷却が加わるから冷凍能力にはできるだけゆとりをもちたい。GM/JT 冷凍機の冷凍能力のさらなる向上を狙って JT 膨張を 2 段化するなどの改造を施した。JT 回路の 2 段化で期待される効果について報告する。

## 2. 2 段 JT による高効率化

GM/JT 冷凍機では GM 冷凍機で予冷された高圧のヘリウムをジュールトムソン (JT) 弁で膨張させて寒冷を発生する。JT 膨張は等エンタルピー膨張であり、エントロピーを増大させるため効率が低い。JT 膨張を多段化するとエントロピーの生成が少なくなり、効率が增加する。GM の 2 段ステージと第 3 熱交換器との間に JT 弁を追加した場合の効果を調べた (Fig. 1)。

Fig. 2 は、高圧側の圧力を 1.0 MPa、質量流量を 0.0618 g/s に固定した場合、最初の JT 膨張後の圧力によって、1.8 K での冷凍能力がどう変わるかを最初の JT 膨張後の温度をパラメータとして計算したものである。いずれの場合も、

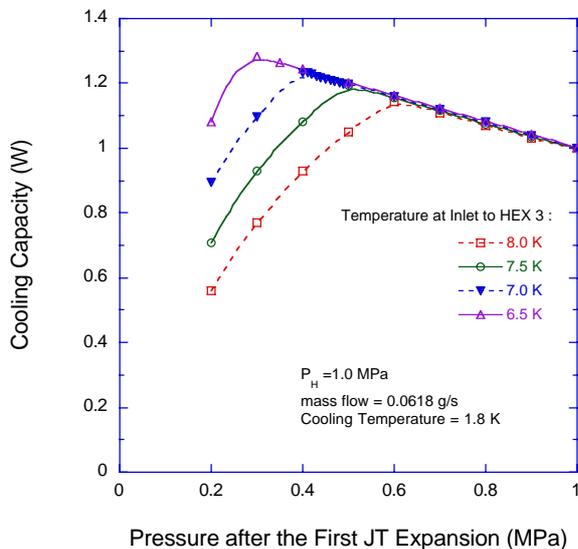


Fig. 2 Cooling Power depending on the Intermediate pressure after the first JT Expansion.

中間圧力を下げると冷凍能力が向上し、ある圧力で極大を示して、それ以上中間圧力を下げると冷凍能力が低下するのが分かる。

一方、高圧側の圧力  $P_H$  をパラメータとして最初の JT 膨張後の圧力によって、1.8 K での冷凍能力がどう変わるかをみたのが Fig. 3 である。最初の JT 膨張後の温度は 8 K に固定している。この圧力範囲では少なくとも極大点の近傍ではさほど大きな違いはない。

GM 冷凍機でどこまで JT 回路のヘリウムの温度を下げられるかにもよるが、第 3 熱交換器に入る直前の温度が 8 K の場合でも JT 膨張を 2 段にすることによって一割程度の冷凍能力向上が期待できることが分かった。

## 参考文献

1. 佐藤明男他:「2K-GM/JT 冷凍機の開発 - 冷凍試験結果」, 第 65 回低温工学. 超電導学会講演概要集, C3-19, p. 278, 2001

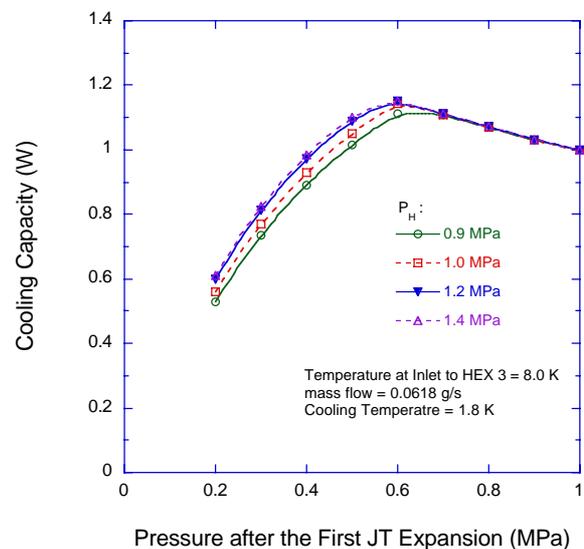


Fig. 3 Effect of the pressure of the high pressure side depending on the intermediate pressure after the first JT Expansion.

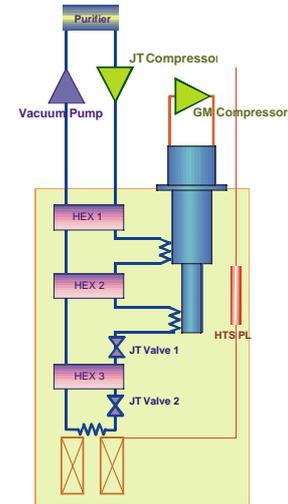


Fig. 1 Flow diagram of the GM/JT Cryocooler with two JT valve.