

STF2 クライオモジュールの熱負荷試験 HEAT LOAD MEASUREMENT OF STF2 CRYOMODULES

岡田昭和^{#, A)}

今田信一^{B)}, 浅野峰行^{B)}, 植木竜一^{B)}, 柳町太亮^{B)}, 山田浩気^{B)}

宍戸寿郎^{C)}, 山本康史^{C)}, 加古永治^{C)}, 小島裕二^{C)}, 仲井浩孝^{C)}

Terukazu Okada^{#, A)}

Shin-ichi Imada^{B)}, Mineyuki Asano^{B)}, Ryuichi Ueki^{B)}, Taisuke Yanagimachi^{B)}, Hiroki Yamada^{B)}

Toshio Shishido^{C)}, Yasuchika Yamamoto^{C)}, Eiji Kako^{C)}, Yuji Kojima^{C)} and Hirotaka Nakai^{C)}

^{A)} K-vac

^{B)} Nippon Advanced Technology

^{C)} High Energy Accelerator Research Organization

Abstract

The ILC prototype cryomodules were constructed as the STF2 project at KEK. There are two cryomodules called CM1 and CM2a. The superconducting 9-cell cavity in CM2a has larger LHe supply pipe than CM1's to confirm whether we can use the ILC-type superconducting 9-cell cavity for CW operation. The heater was installed on He jacket of four superconducting 9-cell cavities in CM1 and CM2a. The heat load measurement was carried out to confirm the difference of cooling capacity between CM1 and CM2a. In this paper, the results of the measurement are reported.

1. はじめに

KEK STF においては STF-2 計画として 2 台のクライオモジュール(CM1, CM2a)を建設した(Fig.1)。CM1 は ILC の仕様をみたすクライオモジュールで、9 セル超伝導空洞 8 台と 1 台の超伝導磁石が組み込まれ、CM2a には 9 セル超伝導空洞 4 台が組み込まれている。ILC 仕様(パルス運転)の 9 セル超伝導空洞を CW 運転にも対応させるため、CM2a 側の 9 セル超伝導空洞の He 供給配管を太くした。Fig.2 に示すように He 供給配管径を CM1 の 55 mm から CM2a の 69 mm にすることで、冷却能力としては 36 W から 57 W になることが Bessy 実験から期待される[1]。CM1 の空洞 2 台と CM2a の空洞 2 台のヘリウムジャケットにヒーターを取り付け、冷却能力を確認する実験を行ったので、その結果について報告する。



Figure 1: Completed STF2 cryomodules.

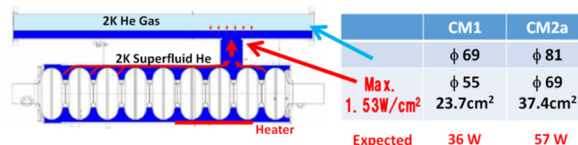


Figure 2: Size of LHe pipes and expected cooling capacity of CM1 and CM2a.

2. 熱負荷測定

2.1 ヒーターの取り付け

Fig.3 に CM1 と CM2a クライオモジュールの概略図を示す。CM1 は 8 台の 9 セル超伝導空洞と 1 台の超伝導電磁石により構成され、CM2a は 4 台の 9 セル超伝導空洞により構成される。上流から#1、#2 空洞と呼ぶこととする。Type A と Type B は周波数チューナーの位置が異なっており、Type A はヘリウムジャケットの中央に、Type B はヘリウムジャケットの端に付いている。また、最下流の End Unit には、液面計が取り付けられている。CM1 の#4、#8 空洞と CM2a の#9、#12 空洞の計 4 台の He ジャケットの下部に 100 W のヒーターを取り付けた(Fig.4)。ヒーターには定電流源を用いて電力を与え、ヒーター電力 = 定電流源 × 電圧により必要な電力を加えた。

kb-okada@post.kek.jp

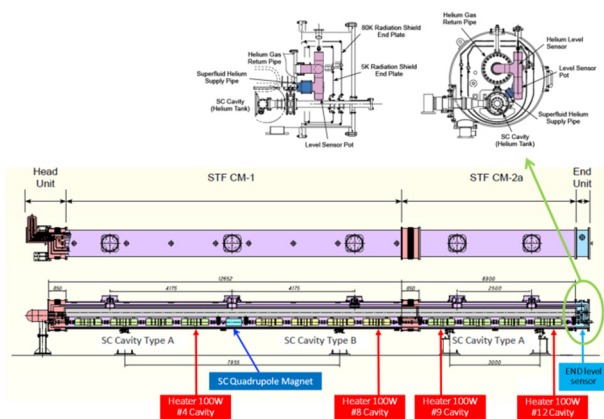


Figure 3: Schematic drawing of CM1 and CM2a: Location of four heaters.

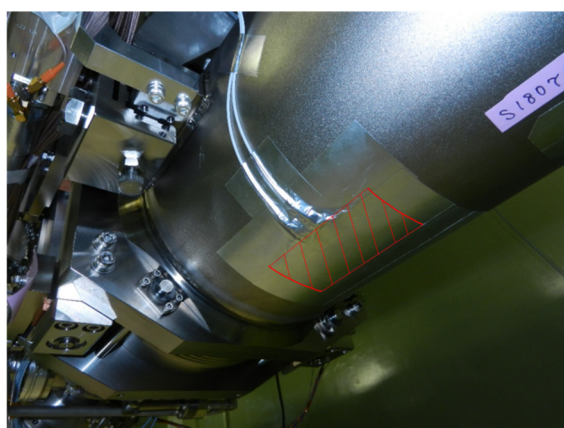


Figure 4: Attachment of polyimide heater.

2.2 熱負荷測定結果

熱負荷測定手順を Fig.5 示す。

Cavity	Heater Power	Heat Loss Meas.
Static Loss	---	27 W
#4, #8, #9, #12	10 W	---
#12 cavity	20 W	20 W
#4 cavity	20 W	20 W
#8 cavity	20 W	20 W
#9 cavity	20 W	20 W
#12 cavity	10 - 30 W	---
#4 cavity	10 - 20 W	---
#8 cavity	10 - 22 W	---

Figure 5: Heat load measurement procedure.

まず始めに、外部から熱負荷を加えずに液体ヘリウムの供給を止めてスタティックロス測定を行った。結果は 27 W であった。スタティックロスの要因は超伝導電磁石、インプットカップラー、サポートポスト、ビームチューブ、ケーブルによる熱侵入であると考えられる。次に、#4、8、9、12 空洞の順にヒーターによる 10 W の熱負荷を加えた。さらに 20 W の熱負荷を加えた。20 W の熱負荷測定の際にヒーターの校正を行い、実際に 20 W の熱負荷が入っていることを確認した。その後、各空洞ごとに最大熱負荷の測定を実施した。

Fig.6 に#4 空洞と#8 空洞の熱負荷測定時の 2K ポット圧力、He 流量、空洞温度、液面レベルの時間変化を示す。#4 空洞は 10 W の熱負荷には耐えられた。次に 20 W の熱負荷を与えようとしたときに液面レベルが急上昇したので、一度熱負荷を下げて少しずつ熱負荷を上げていった。熱負荷が 18 W になると再び、液面が急上昇したため、測定を終了した。#8 空洞は 10 W から始めて 20 W までは熱負荷に耐え 22 W のところで液面が急上昇したので測定を終了した。

Fig.7, 8 はそれぞれ#4 空洞および#8 空洞の熱負荷を増加させたときの He 流量と 2K ラインの圧力の変化を示している。He 流量 1 m³/h がおよそ 1 W の熱負荷に対応するが、#4 空洞の場合、直線の傾きが 1.21 となっており熱負荷が大きくなっているように見える。#8 空洞は 0.97 であり妥当な対応となっている。これは、#4 空洞は超伝導電磁石よりも上流側にあり超伝導電磁石の温度が 7~8 K と高いため、#4 空洞における熱負荷で蒸発したヘリウムが超伝導電磁石によりさらに温められ、見かけ上の熱負荷が大きくなっているためと考えられる。どちらの空洞も 2 K ラインの圧力は 3 kPa を維持している。

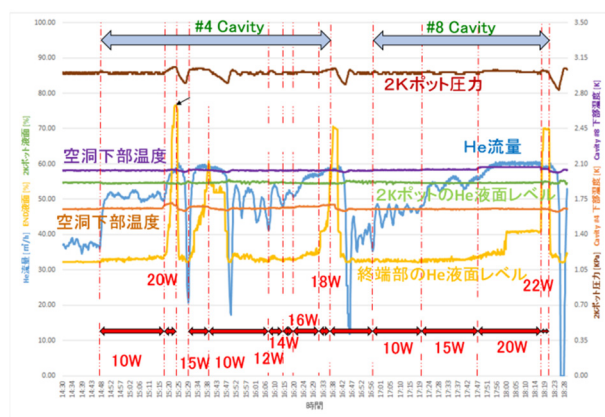


Figure 6: Heat load measurements of #4 and #8 cavities.

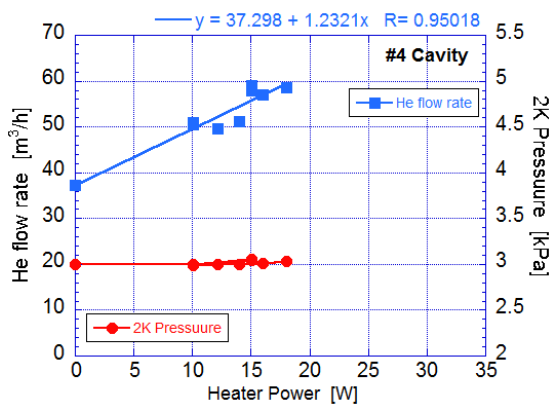


Figure 7: He flow rate and 2 K pressure variation when heater power of #4 cavity was increased.

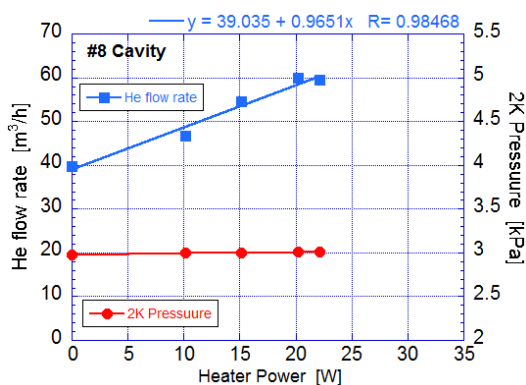


Figure 8: He flow rate and 2 K pressure variation when heater power of #8 cavity was increased.

Fig.9 は#12 空洞の熱負荷測定時の 2 K ポット圧力、He 流量、空洞温度、液面レベルの時間変化を示している。熱負荷を 10 W から 30 W まで液面レベルの上昇なしに増加させることができた。

Figure 10 は#12 空洞の熱負荷を増加させたときの He 流量と 2 K ラインの圧力の変化を示している。He 流量と熱負荷の関係は傾きが 0.97 であり妥当な対応が見られる。2 K ラインの圧力は熱負荷が 25 W 以上になると 3 kPa を維持できなくなった。これは、減圧ポンプの容量が足りなくなったためである。

Figure 11 に熱負荷試験の結果をまとめる。Pmax は各空洞の最大熱負荷を、a,b は Fig.7,8,10 における He 流量と熱負荷の関係式の傾きと切片である。#4 と#8 空洞の Pmax の差は超伝導電磁石の影響によるものと考えられる。#8 と#12 の Pmax の差は液体ヘリウム供給配管を太くした効果により CM2a の冷却能力が改善していることを示している。傾き a の値は#8,12 空洞はおよそ 1 で測定が正しく行われたことを示している。#4 空洞では超伝導電磁石の影響により見かけ上熱負荷が大きくなっており 1 より大きな 1.23 という値になった。切片 b はスタティックロス(27 W)

にトランスファーロスが加わったものを表しており、平均 11 W のトランスファーロスがあることがわかった。

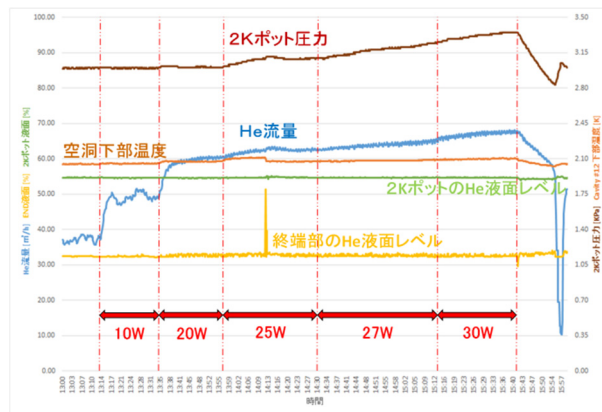


Figure 9: Heat load measurements of #12 cavity.

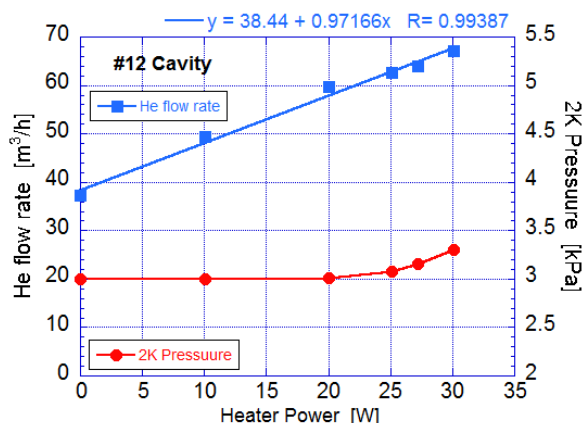


Figure 10: He flow rate and 2 K pressure variation when heater power of #12 cavity was increased.

	Cavity		
	#4	#8	#12
Pmax [W]	18	22	25
a	1.23	0.96	0.97
b	37	39	38

Figure 11: Summary of heat load measurements.

3. まとめ

- 最大ヒーター電力時には、終端部の液面が上がり、ガスリターンパイプへ液体ヘリウムが侵入して蒸発量が増加し、液体ヘリウムの温度が急上昇するので、測定を終了した。
- 超伝導電磁石より上流側にある空洞は、超伝導電磁石の温度が 7~8 K のため、見かけ上の熱負荷が

PASJ2015 WEP061

大きくなる。

- ヒーター電力が 25 W 以上になると 2 K ラインの圧力を 3 kPa に維持できなくなり、温度上昇が始まる。

熱負荷試験の結果、ILC タイプのクライオモジュールを CW 運転で使用した場合、CW 運転時での空洞損失電力として、1 空洞あたり 20-25 W までは使用可能であると推定される。

参考文献

- [1] W.Anders et al., 「CW OPERATION OF SUPERCONDUCTING TESLA CAVITIES」 Proc. SRF'2007 222 (2007).
- [2] 仲井浩孝、「クライオジェニックス」高エネルギー加速器セミナー OHO'14 テキスト、(2014).
- [3] 加古永治、「超伝導空洞の基礎」高エネルギー加速器セミナー OHO'14 テキスト、(2014).