

ラージグレインとファイングレインニオブを用いた空洞の耐圧試験

PRESSURE TEST FOR LARGE GRAIN AND FINE GRAIN NIOBIUM CAVITIES

山中将^{#, A)}, 梅森健成^{A)}, 吉田孝一^{A)}, 渡辺勇一^{A)}, 井上均^{A)}, 道前武^{A)}, 佐伯学行^{A)}, 江並和宏^{B)}

Masashi Yamanaka^{#, A)}, Kensei Umemori^{A)}, Koichi Yoshida^{A)}, Yuichi Watanabe^{A)},

Hitoshi Inoue^{A)}, Takeshi Dohmae^{A)}, Takayuki Saeki^{A)}, Kazuhiro Enami^{B)}

^{A)}KEK, ^{B)}University of Tsukuba

Abstract

The pressure test was performed using a fine grain (FG) and a large grain (LG) niobium cavities. The cavity is 1.3 GHz 3-cell TESLA-like shape. The cavity was housed in a steel vessel. Water is supplied into the vessel and the cavity outside is pressurized. The applying pressure and the natural frequency of cavity were measured during the pressure test. The FG and LG cavities were deformed greatly and the pressure dropped suddenly at 3.4 MPa and 1.6 MPa, respectively. The frequency shifted up to 3.4 MHz and 1.3 MHz, respectively. There was no leak after the pressure test, so the cavity did not rupture under above pressure. The result of the pressure at LG cavity is less half than that of the FG cavity. We calculated the stress distribution in the structure by applying outer water pressure using a FEM. The maximum stress at cell when above test pressure is applied, are 146 MPa in FG and 73 MPa in LG, respectively. These stresses are similar to tensile strength of niobium specimen measure by our-selves. The result of pressure tests agrees well with the calculation.

1. はじめに

著者らはラージグレイン (LG) ニオブを用いた超伝導空洞の製造技術研究を行っている[1]。超伝導空洞はヘリウムタンク内に設置され、液体ヘリウムで浸漬冷却される。これらは高圧ガス保安法の適用を受ける。タンクの常用圧力は 0.2 MPa である。空洞の外側から圧力が作用した場合の空洞各部に発生する応力を求め、これがニオブ材の許容応力以下であることを示す必要がある。また実物の空洞を用いた耐圧試験(常用の圧力の 1.5 倍以上)も必要である。

LG ニオブは通常のファイングレイン (FG) ニオブに比べて強度が低い。そのため LG 空洞の方が低い圧力で破損することが報告されている[2]。本稿では LG ニオブと FG ニオブで製造した 1.3 GHz 3 セル空洞[3]を使って、耐圧試験を行った結果を報告する。

2. 実験方法

供試空洞は 1.3 GHz TESLA-like 3 セル空洞である。KEK CFF で製造した。実験装置を図 1 に示す。空洞は鋼製のタンク内に設置する。タンク内に水を供給して、空洞の外側から加圧する。空洞の内部は大気開放である。空洞の両端のフランジはタンクの端板に固定され、加圧中の長手方向の変位は拘束される。加圧試験中の供給圧力と空洞の固有振動数を記録した。圧力は 0.2 MPa 刻みで高くし、30 秒保持して変化がなければ、さらに供給圧力を増した。

3. 実験結果と考察

供給圧力を大きくすると FG 空洞と LG 空洞は大きく変形し、それぞれ 3.4 MPa と 1.6 MPa で圧力が大きく低下した。その時点で試験を終了した。図 2 に変形後の空洞

の様子を示す。試験終了後の空洞のリーク試験をしたところ、両空洞ともリークはなかったので、上述の圧力では破裂はしていない。LG 空洞の耐圧は FG 空洞の半分以下である。傾向は DESY で行われた 9 セル空洞の結果(2)と同じである。固有振動数は図 3 に示すように、初期状態から、それぞれ 3.4 MHz と 1.3 MHz 高くなった。

空洞の外側から上述の圧力が作用した場合の空洞の応力分布を FEM を用いて計算した。セル部分の最大応力(トレスカ応力)を表 1 に示す。空洞と同じ材料を使って引張試験により求めた引張強度を合わせて示す。両者はよく一致した。耐圧力の違いは、ニオブ材の強度に依ることが確認できた。LG 空洞の実験結果の 1.6 MPa は常用圧力の 8 倍であり、現状のセル厚さで高圧ガス保安法に対応できると考えられる。

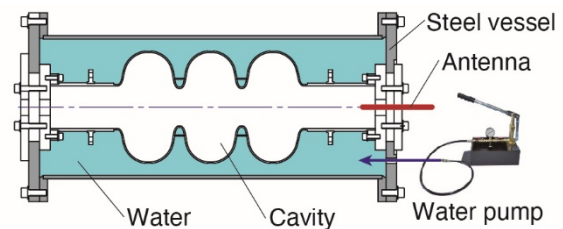
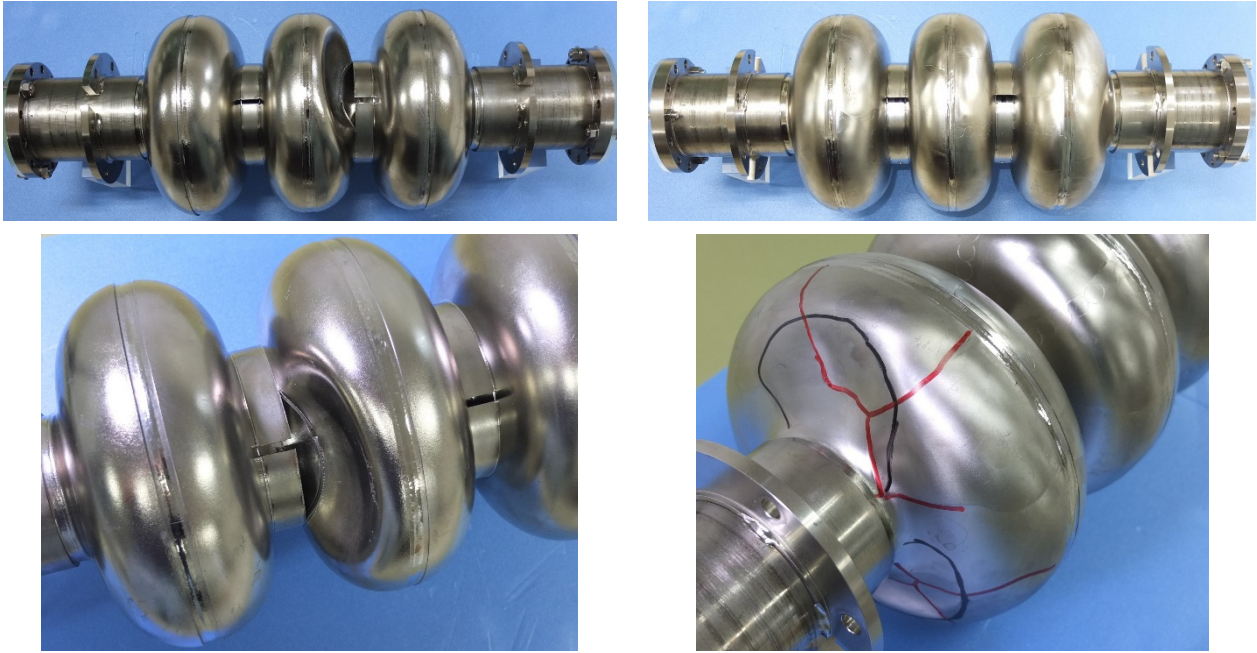


Figure 1: Experimental apparatus.

謝辞

本実験で使用したニオブ材はブラジル CBMM 社より提供いただいた。ニオブのスライス、米国 Jefferson Lab の Ganapati Myneni 氏の協力を得た。試験空洞は高エネルギー加速器研究機構 空洞製造技術開発施設 (CFF) で製造された。実験装置の製作は同機械工学センターで行われた。これらを記して、謝意を表す。

[#] masashi.yamanaka@kek.jp



a) Fine grain

b) Large grain (Grain boundary and area of deformation are traced by red and black felt pen, respectively)

Figure 2: Cavities after deformation.

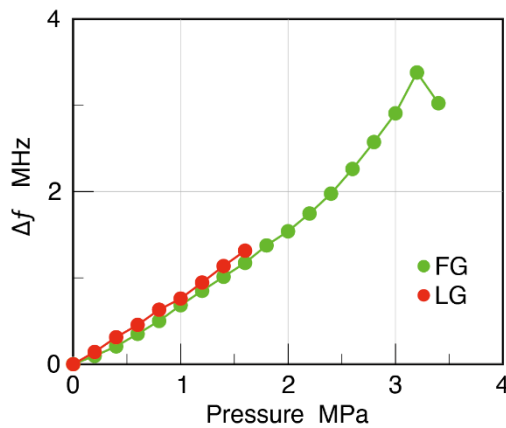
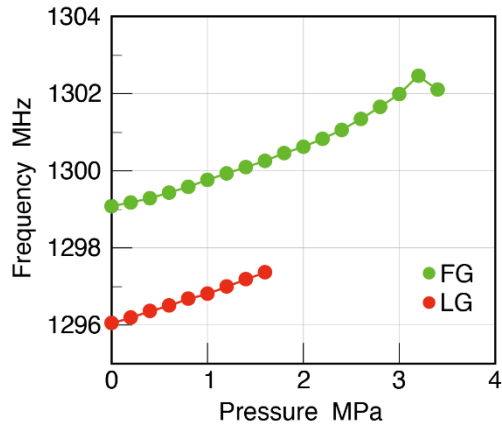


Figure 3: Change of natural frequency.

Table 1: Result of Pressure Test

	FG	LG
Pressure resistance [MPa]	3.4	1.6
Max. stress at cell [MPa] (calculation)	146	73
Tensile strength [MPa] (measured)	120	84
Change of natural frequency [MHz]	3.4	1.3

参考文献

- [1] T. Dohmae *et al.*, Investigation of in-house super-conducting radio-frequency 9-cell cavity made of large grain niobium at KEK. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2017, 875: 1-9.
- [2] A. Schmidt *et al.*, "PED Requirements Applied to the Cavity and Helium Tank Man-ufacturing", in Proc. 16th Int. Conf. RF Superconductivity (SRF'13), Paris, France, Sep. 2013, paper MOP048, pp. 227-230.
- [3] T. Dohmae *et al.*, "Investigation on 1, 3 and 9-Cell SRF Elliptical Cavities made of Large Grain Niobium", in Proc. 19th Int. Conf. RF Superconductivity (SRF'19), Dresden, Germany, Jun.-Jul. 2019, pp. 1213-1215.