

# 引張応力を印加した RHQ-Nb<sub>3</sub>Al 線材の臨界電流特性

## Tensile Strain Dependence of Critical Current in RHQ-Nb<sub>3</sub>Al Wires

金 新哲<sup>1</sup>, 中本建志<sup>1</sup>, 飯尾雅実<sup>1</sup>, 荻津 透<sup>1</sup>, 土屋清澄<sup>1</sup>, 山本 明<sup>1</sup>, 菊池章弘<sup>2</sup>, 竹内孝夫<sup>2</sup>, 小黑英俊<sup>3</sup>, 淡路 智<sup>3</sup>

<sup>1</sup>高エネルギー加速器研究機構, <sup>2</sup>物質・材料研究機構, <sup>3</sup>東北大・金研

X. Jin<sup>1</sup>, T. Nakamoto<sup>1</sup>, M. Iio<sup>1</sup>, T. Ogitsu<sup>1</sup>, K. Tsuchiya<sup>1</sup>, A. Yamamoto<sup>1</sup>, A. Kikuchi<sup>2</sup>, T. Takeuchi<sup>2</sup>, H. Oguro<sup>3</sup> and S. Awaji<sup>3</sup>

<sup>1</sup>High Energy Accelerator Research Organization, <sup>2</sup>National Institute of Materials Science,

<sup>3</sup>Institute for Materials Research, Tohoku University

### 1. はじめに

急熱急冷法(RHQ)を用いた Nb<sub>3</sub>Al 線材は、拡散法などの製造方法より高い臨界電流が得られたことから、将来の加速器用高磁場超伝導磁石への応用を目指して、精力的に開発が進められている。A15 型超伝導体として呼ばれる Nb<sub>3</sub>Al や Nb<sub>3</sub>Sn などは、10T 以上の高磁場で優れた超伝導性能を示す反面、応力とひずみに依存性を示し、性能が劣化することが知られている。そのため、超伝導特性と応力ひずみへの理解を深めることは、加速器超伝導磁石の高磁場化を実現するために必要不可欠な課題となる。

RHQ-Nb<sub>3</sub>Al 線材において、臨界電流が線材横方向の圧縮歪みまたは螺旋状線材の引張歪みに依存性を示すことは、すでに報告されている<sup>[1, 2]</sup>。しかし、これまでに RHQ-Nb<sub>3</sub>Al 素線の臨界電流の軸方向引張歪みについては、ほとんど研究されていない。そこで我々は、マトリクス材料が異なる 2 種類の RHQ-Nb<sub>3</sub>Al 線材に注目し、臨界電流の軸方向引張歪み依存性について

詳しく調べた。実験では、東北大学金属材料研究所強磁場センターの 18T マグネット及び引張り歪み印加インサートを利用した。本研究課題は、平成 23 年度から開始したが、本年度も引く続き研究を継続し、さらに多くの試料測定とデータ解析を行い、RHQ-Nb<sub>3</sub>Al 線材のひずみ特性についてより深い知見を得ることに取り組んできた。

### 2. 試料と測定方法

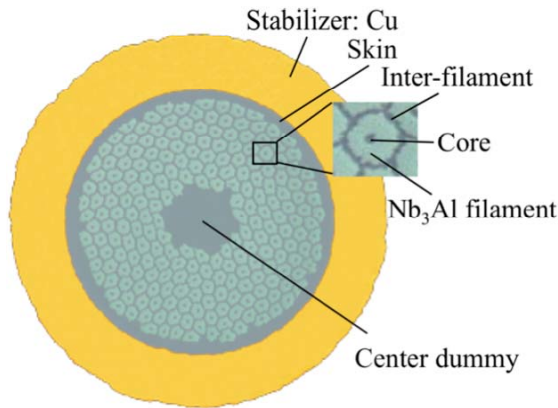


Fig. 1 Cross section of sample A.

Table 1 Structure of RHQ-Nb<sub>3</sub>Al wires

Sample	A	B
Wire diameter (mm)	1	
Stabilizer	Cu	
Skin	Ta	Nb
Interfilament	Ta	
Core	Ta	Nb
Center dummy	Ta	Nb
Matrix/Nb <sub>3</sub> Al ratio (non Cu)	0.8	
Nb <sub>3</sub> Al filament diameter (mm)	0.03–0.04	
Number of Nb <sub>3</sub> Al filaments	222	294

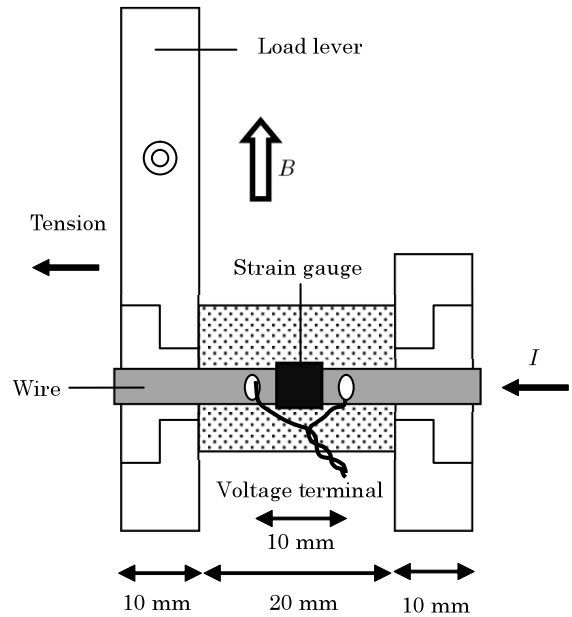


Fig. 2 Schematic illustration of  $I_c$ -strain measurement. A dotted pattern under the wire corresponds to the insulating plate. A load cell was located at top of the apparatus in room temperature.

試料としては、組成の異なる A と B の 2 種類の試料を用意した。Fig. 1 に RHQ-Nb<sub>3</sub>Al 線材の試料 A の断面構造を示し、試料 A と B の構造を Table 1 に示す。試料 A と B のマトリクス材料においては、インターフィラメントが同じ Ta であり、その以外がそれぞれ Ta と Nb になっている。

素線は 40mm にカットし、Fig. 2 に示すように両端各 10mm 程度をはんだで電極に固定した<sup>[3]</sup>。電圧タップ間距離は 10mm で、その間にお互いに反対面に位置する 2 つの歪みゲージを貼り付けた。この 2 つの歪みゲージ

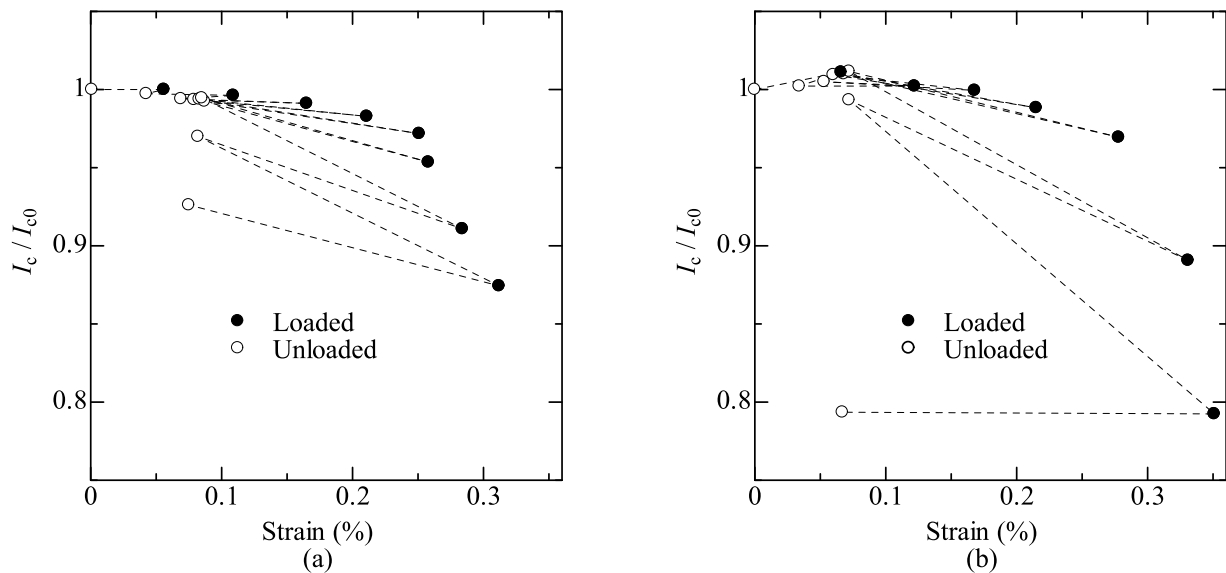


Fig. 3 Strain dependences of the ratio  $I_c/I_{c0}$  for samples (a) A and (b) B.

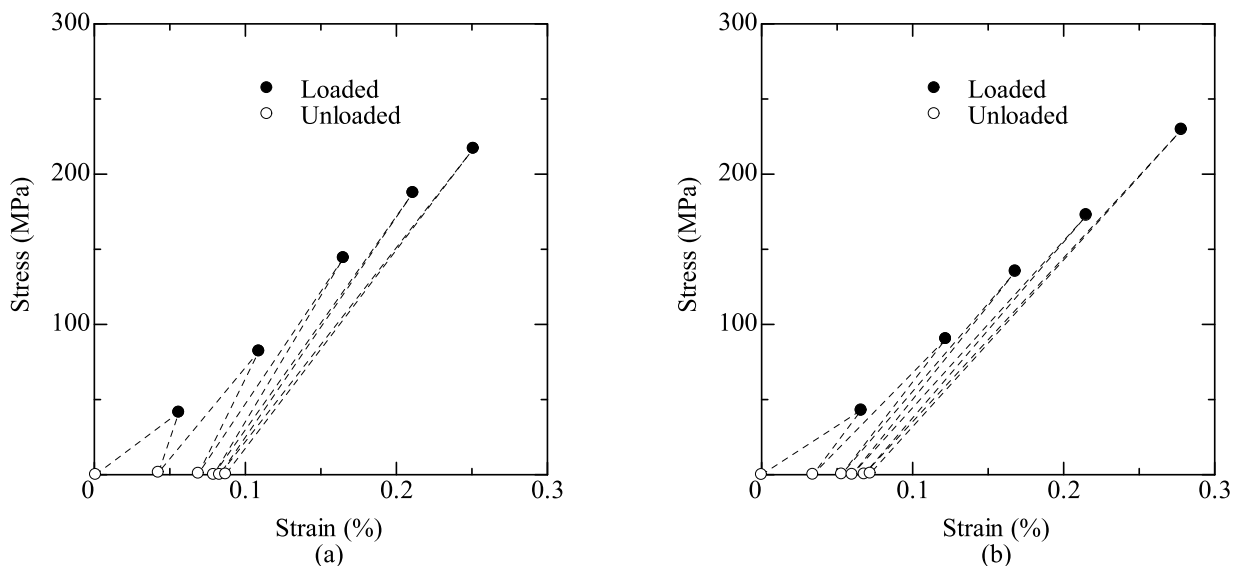


Fig. 4 Stress-strain curves for samples (a) A and (b) B. The stress was measured using a load cell.

の平均値から歪みを求めることで素線の曲げ効果をキャンセルした。印加磁場の方向は図に示すように上向きであり、素線に加わる電磁力(紙面鉛直方向)は支持板により支持される。実験中、ロードレバーにより電極ごと素線を左側に引っ張ることで、素線に引張応力が印加される。

### 3. 測定結果及び解析

試料の臨界電流  $I_c$  は通常の  $I-V$  曲線から求めた。Fig. 3 に試料AとBの軸方向引張応力歪みによる臨界電流特性の測定結果を示し、 $I_{c0}$  は一度も引っ張っていない初期状態での臨界電流を示す。試料は 4.2K、外部磁場 18T において、載荷(●)と除荷(○)を繰り返しながら徐々に荷重を増加させていき、各点で臨界電流を測定した。Fig. 3 の(a)と(b)の比較から見えるように、試料BはAよりひずみが増加する方向にシフトしていた。

臨界電流の可逆ひずみ限界は、除荷しても元の臨界電流が再現する最大歪みと定義し、引張応力を印加する前の臨界電流  $I_{c0}$  の98%を基準とした。その結果、可逆ひずみ限界は試料BがAより約0.03%大きかった。これは、線材内部マトリクス材料の違いによって、外部印加ひずみに対する特性が異なることを意味している。

上記の測定では同時に応力-歪み曲線が得られる。その結果を Fig. 4 に示した。曲線の傾きから試料AがBより応力当たりのひずみが小さいことがわかり、ヤング率が高いことを意味している。例えば、49MPaの引張応力において、試料AとBのひずみはそれぞれ0.052%と0.072%である。このようなことから、マトリクス内部にあるTaとNbの材料特性が試料全体の特性へ影響を与えることが判った。

### 4. まとめ

異なるマトリックス材料を持つ2種類のRHQ-Nb<sub>3</sub>Al試料において、臨界電流の線材軸方向引張歪み依存性に違いを確認した。また線材引張下での応力-歪み曲線からヤング率の違いが現われた。以上から、マトリックス材料の違いが、RHQ-Nb<sub>3</sub>Al線材の歪みに関する性質に影響を与えることが判った。

#### 参考文献

- [1] A. Kikuchi, *et al.*: IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 15 (2005) p.3372.
- [2] N. Banno, *et al.*: Supercond. Sci. Technol. Vol. 18 (2005) p.284.
- [3] G. Nishijima, *et al.*: IEEE Trans. Appl. Supercond., Vol. 20 (2010) p.1391.