

実用 Nb₃Sn 超伝導線材における内部歪み測定

Internal strain measurement of practical Nb₃Sn superconducting wires

淡路 智¹⁾

Satoshi AWAJI

渡邊和雄¹⁾

Kazuo WATANABE

小黑英俊¹⁾

Hidetoshi OGURO

鈴木 裕士²⁾

Hiroshi SUZUKI

西島 元¹⁾

Gen NISHIJIMA

町屋 修太郎³⁾

Shutaro MACHIYA

高橋弘紀¹⁾

Kohki TAKAHASHI

土屋 佳則⁴⁾

Yoshinori TSUCHIYA

¹⁾東北大学

²⁾原子力機構

³⁾大同大学

⁴⁾物材機構

複合ニオブ3スズ線材における超伝導特性の歪み依存性を理解するため、中性子回折を用いて3次元歪みの測定を行った結果、室温で複合材料の引っ張り応力下における軸方向歪みと径方向歪みの直接測定に成功した。

キーワード：

超伝導線材， 3次元歪み， 複合材料， Nb₃Sn

1. 目的

実用 Nb₃Sn 超伝導線材はすでに多くの超伝導機器に用いられているが、超伝導特性の歪み依存性の理解と制御は、未だ未解決の問題として残っている。これは、複合材である Nb₃Sn 線材の内部歪みを高精度で3次元的に評価する手段が無かったからである。一方で、実用超伝導線材の臨界電流密度や上部臨界磁場の一軸引っ張り依存性は、多くのグループにより詳細に測定が行われており、いくつかのモデルによって定量的な記述が可能となっている。しかし、そのときのパラメータは試料作製プロセスなどで異なっていることが、問題となっており、統一的な歪み依存性のモデルはまだ確立されていない。一方で、最近申請者が発見した、室温で繰り返し曲げを与えることで超伝導特性を向上する「事前曲げ効果」は、内部歪みを3次元的に変化させることが予想されている。このため、本研究では、「事前曲げ処理」を含む様々な条件における内部歪みの状態を詳細に測定し、超伝導特性と比較検討することで、実用 Nb₃Sn における超伝導特性（臨界電流密度、臨界温度、上部臨界磁場）の歪み依存性の統一的なモデルを構築し、内部歪みを制御することで、超伝導特性の最適化を行う事を目的とする。

2. 方法

本年度は、RESA 附属の引っ張り試験機を用いて、室温における引っ張り応力下の径方向・軸方向歪みの測定を中心に行った。試料は直径 1mm の複合ニオブ3スズ線材を7本束ね、エポキシ樹脂を用いて固定したあと、両端をハンダで固め、この部分をチャックに挟んで引っ張り試験を行った。中性線の波長は約 0.2nm とし、このとき 2θ≈90°近傍に現れる 321 ピークを用いて、軸方向と径方向の歪みを測定した。また、試料のマクロな歪みを測定するために、微小歪みゲージを各線に、クリップタイプの伸び計を全体に取り付けた。また線材から取り出したフィラメントを、粉末 X 線回折により格子定数を求め、d₀とした。

3. 研究成果

図 1 に、測定各加重に対する、中性子回折の結果を示す。また d₀ として、X 線回折の結果も一緒にプロットした。図から分かるように、引っ張り加重なしの時には、フィラメントのピークよりも低角度側にピークが現れ、圧縮の残留歪みがあることを示唆している。加重の印加に伴い、ピーク位置は高角度側にシフトし、加重に伴って軸方向に延びていることが測定できている。これらの結果から、軸方向と径方向の歪みを見積もって、歪みゲージで測定した歪みに対してプロットした結果を図 2 に示す。軸方向は、ほぼ傾き 1 の直線となり、中性子回折で測定した値と、マクロな歪みである歪みゲージの結果が良く一致していることが分かった。一方で、径方向の歪みは単調に減少することから、ポアソン比の影響で圧縮歪みが誘起されていることが分かった。

4. 結論・考察

図3に示したように、線材に引っ張り応力を加えた場合には、よく知られているようにはポアソン比から決定される圧縮歪みが、引っ張り方向に垂直方向に誘起される。しかし、異なる材料を複合した材料の場合は、一部の材料が降伏する場合には、ポアソン比を一義的に定義することは難しい。一方で、歪みに敏感なニオブ3スズは、3次元的歪みから誘起される、等方的な静水圧歪みと、変形に相当する偏差歪みとその超伝導特性を決定することが分かってきた[1]。従って、図3のような結果を詳細に解析することで、超伝導特性の歪み依存性と線材構造の関連を詳細に議論することができる。今後は、測定精度向上のための統計を挙げることで、低温の実験により、複合ニオブ3スズ線材の歪み依存性の起源に迫っていく予定である。

5. 引用(参照)文献等

[1] 小黒英俊, 2008年度博士論文

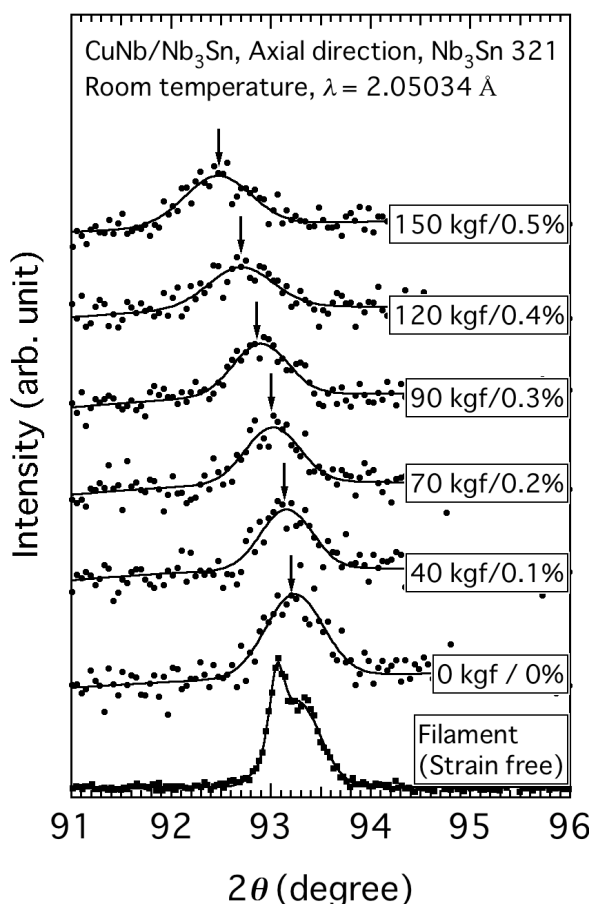


Figure 1 Neutron diffraction profiles for the axial direction of CuNb/Nb₃Sn wires under applied tensile load and the x-ray diffraction profile for strain-free Nb₃Sn filament.

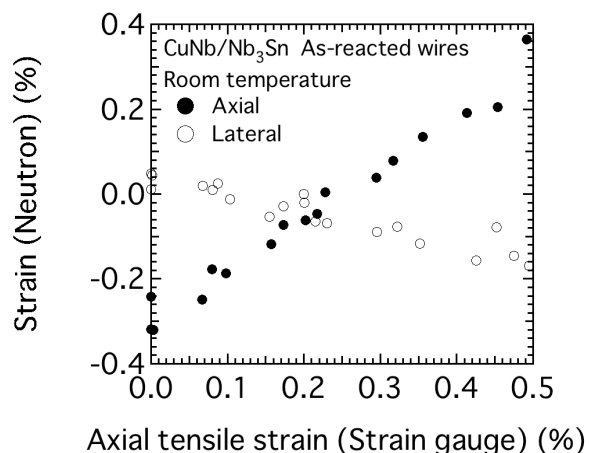


Figure 2 Axial and lateral strains measured by neutron diffraction are plotted as a function of the macroscopic strain measured by the strain gauges.