8P13

内部マトリックス補強高強度Nb_3Sn線材の開発
Development of internal matrix reinforced high mechanical strength Nb_3Sn multifilamentary wire

菱沼 良光[1),2),3)]、小黒 英俊[4)]、谷口 博康[5)]、淡路 智[6)]、菊池 章弘[3)]
Y. Hishinuma[1),2),3)], H. Oguro[4)], S. Awaji[6)] and A. Kikuchi[3)]

1) 核融合研, 2) 総研大, 3) 物材機構, 4) 東海大学, 5) 株式会社大阪合金工業所, 6) 東北大金研
1) NIFS, 2) SOKENDAI, 3) NIMS, 4) Tokai Univ., 5) OAW, 6) IMR, Tohoku Univ.

世界的な原型炉（DEMO）の計画や設計において、Nb_3Sn超伝導線材がTF及びCSコイルに用いられる超伝導素線の第一候補となっている。しかしながら、ITERの仕様と比較して大電流化・高磁場化が望まれており、結果的にNb_3Sn超線材に印加される電磁力が遥かに大きくなる。

一般的に、Nb_3Sn超伝導線材はA15相化合物系に分類され、Nb_3Sn線材の本質的な性質として、機械的・熱的ひずみ印加によって臨界電流密度（J_c）特性が著しく劣化することが知られている。それ故に、ITERと比較して大きな電磁力が発生するDEMOではひずみ印加によるJ_c特性劣化抑制のための高強度化が必須となる。

我々は、Nb_3Sn線材の高強度化に対して、図1に示すようなNb_3Sn相生成後の線材母材金属を固溶強化機構にて強化する「内部マトリックス補強」を開発した。通常の製法である「ブロンズ法」では、Cu-Sn合金母材とNb金属フィラメントとの界面で拡散反応にてNb_3Sn相が生成し、そしてCu-Sn合金がCuに相変態している。つまり、Nb_3Sn相を覆うように機械的に軟らかいCuが存在し、外部からの応力はNb_3Sn相に集中する。一方、「内部マトリックス補強」では、Nb_3Sn相生成後の線材母材は固溶強化によってCu系固溶体に相変態し、固溶体がNb_3Sn相を覆うように存在することでNb_3Sn相の保護材として作用することが期待できる。

内部マトリックス補強における溶質元素の選択と合金組成は重要である。基本的に、Cuと固溶体を形成する溶質元素であれば問題ないが、本研究では溶質元素としてZnとInを選択した。図2に種々のNb_3Sn線材の臨界電流における径方向に印加された圧縮応力依存性を示す。固

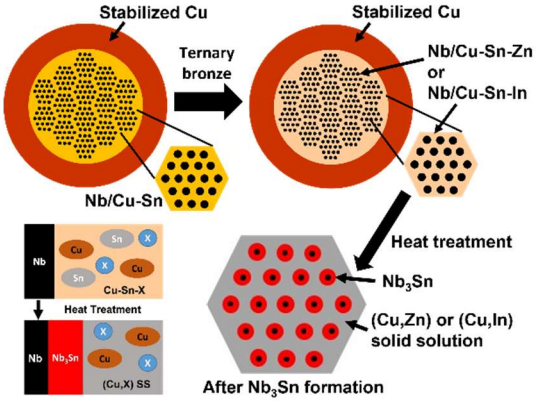

図 1 内部マトリックス補強 Nb_3Sn 線材の概要

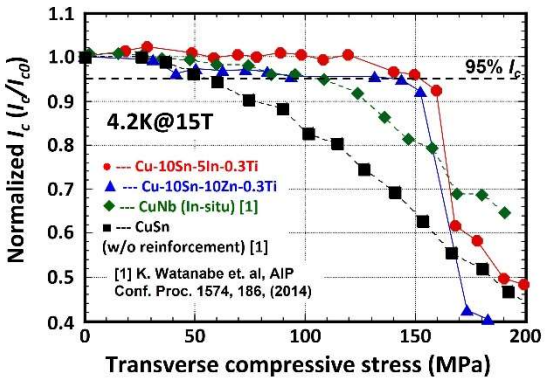

図 2 種々の Nb_3Sn 線材の臨界電流における径方向に印加された圧縮応力依存性

溶強化された母材がNb_3Sn相の保護材として作用し、通常のブロンズ法線材と比較して3倍の機械強度特性を示した。この手法では、Cu-Sn二元合金からCu-Sn三元合金に替えるだけで、格段に高い強度が得られることは大変興味深い。

本研究はNIFS核融合工学プロジェクト（UFFF036）及び科研費基盤B（20H01889）の支援によって行われた。