

## 三元系ブロンズによるNb<sub>3</sub>Sn線材の高強度化 High strength Nb<sub>3</sub>Sn superconducting wire with the ternary bronze matrix

菱沼 良光<sup>1</sup>, 小黒 英俊<sup>2</sup>, 嶋田 雄介<sup>3</sup>, 谷口 博康<sup>4</sup>, 菊池 章弘<sup>5</sup>  
Y. Hishinuma<sup>1</sup>, H. Oguro<sup>2</sup>, Y. Shimada<sup>3</sup>, H. Taniguchi<sup>4</sup>, and A. Kikuchi<sup>5</sup>

<sup>1</sup>核融合科学研究所, <sup>2</sup>東海大学工, <sup>3</sup>東北大金研, <sup>4</sup>(株)大阪合金工業所, <sup>5</sup>物質・材料研究機構  
<sup>1</sup>NIFS, <sup>2</sup>Tokai Univ., <sup>3</sup>Tohoku Univ., <sup>4</sup>OAW Co.,Ltd, <sup>5</sup>NIMS

### 1. 諸言

核融合原型炉の設計活動において、超伝導コイルの性能やそれに使用される導体仕様について、超伝導素線の臨界電流密度 ( $J_c$ ) 特性改善だけでなく、耐機械的・熱的ひずみ特性の改善、いわゆる「高強度化」の重要性が認識されてきている。これまでのNb<sub>3</sub>Sn線材の高強度化への試みとして、Taを線材断面に配置する手法やCu-Nb強化銅合金を線材に被せる手法等が成功している。これらの高強度化の基本思想は、線材を複合材で補強して外部応力から保護するものである。しかしながら、TaやCu-Nb等の非超伝導材料が複合化されることで、線材断面における非超伝導領域が増加し、実効的な臨界電流密度特性 (Engineering  $J_c$ :  $J_e$ ) を低下させる要因となる。この $J_e$ 特性の低下は、超伝導線材の太線径化を招き、核融合マグネットの成立性に大きな影響を及ぼすであろう。我々は、Nb<sub>3</sub>Sn線材の高強度化に対して、拡散生成後に固溶強化された銅合金母材で保護するという考え方 (内部マトリックス強化) を提案している。

本報告では、ブロンズ母材の固溶強化によるNb<sub>3</sub>Sn線材の高強度化への基礎的知見を得ることを目的に、Cuに対して大きい固溶限を持つZnにて固溶強化されたCu-Sn-Zn三元系ブロンズ母材 (Sn濃度: 10 ~ 13.5 mass%) を用いたNb<sub>3</sub>Sn極細多芯線材を試作した。

### 2. 試料作製

Table.1に溶製されたZn固溶ブロンズ合金の初期組成とICP分析結果を示す。各種Zn固溶ブロンズ塊において、ICP分析結果と初期組成との大きな差異は見られず、特に溶製時におけるZnの蒸発は無いことを確認した。本研究におけるNb<sub>3</sub>Sn超伝導線材において、最終線径0.9 mmまで伸線加工を行い、押出加工を含め通常の伸線加工過程での顕著なNbフィラメントの異常変形やブロンズ母材のクラック等は観察されず、極めて良好な線材加工性を確認し、7771芯

Table.1 Nominal composition of various Cu-Sn-Zn ternary bronze alloys

| Code     | Nominal composition (mass%) | Quantitative composition (Cu-Sn-Zn-Ti, mass%) |
|----------|-----------------------------|-----------------------------------------------|
| Sample-A | Cu-10Sn-10Zn-0.3Ti          | 79.97-9.73-10.00-0.30                         |
| Sample-B | Cu-12Sn-6Zn                 | 82.07-11.99-5.94-0.00                         |
| Sample-C | Cu-12Sn-6Zn-0.3Ti           | 82.04-11.75-5.94-0.27                         |
| Sample-D | Cu-13.5Sn-4Zn-0.3Ti         | 82.25-13.49-3.98-0.28                         |

の極細多芯線が得られた。

### 3. 実験結果

ZnはNb<sub>3</sub>Sn相に拡散せずに、母材中に均一に残存していることが分かった。残存したZnは、母材の高強度化に寄与する可能性が示唆された。拡散生成熟処理後の各種Cu-Sn-Zn三元系ブロンズを用いたNb<sub>3</sub>Sn極細多芯線材における引張応力と引張ひずみの関係 (S-S曲線) をFig.1に示す。通常のブロンズと比較して、6 mass%Zn程度の添加にて明瞭にS-S曲線の傾きが大きくなり、Zn固溶による機械強度の改善が確認された。当日は、臨界電流特性における引張ひずみ印加効果について詳細に報告する。

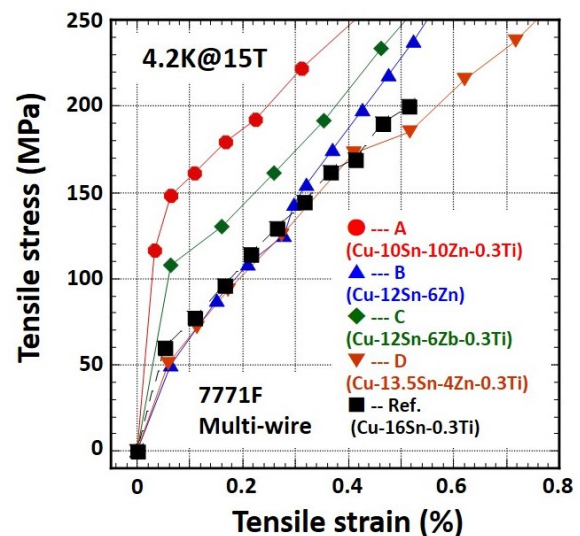


Fig.1 Comparisons of S-S curves in various Nb<sub>3</sub>Sn wires using Cu-Sn-Zn ternary bronze matrices