

## 事後評価報告書

実施企業名：株式会社 大阪合金工業所

研究課題名：内部錫法 Nb<sub>3</sub>Sn 超電導線用錫合金の開発に関する研究

### 1. 研究の概要

Nb<sub>3</sub>Sn 超伝導線の低コスト化と高性能化のために、最適添加元素の選択や各添加元素固有の溶解・鑄造方法の検討により、ブロンズに替わるスズ (Sn) 源として、ニオブ (Nb) との複合化 (両者とも銅 (Cu) 被覆状態) により Sn 含有量の高い Nb<sub>3</sub>Sn の製造が可能な硬度・加工性を有する優れた新錫合金を開発し、ブロンズ法に倍する臨界電流密度を有する内部錫法超電導線材の開発を可能にする。

### 2. 成果の概要

錫への添加元素、添加量を特定し、チタン (Ti) の 2% 添加が最も優れているとの結果が示された。

高温溶解・急冷凝固による、Ti 添加錫合金の 15kg 級インゴットの試作により、大型化しても析出化合物は 10 μm 程度と微細にすることで所定の硬度確保が可能との結果が示された。更に、このインゴットからユーザが求める仕様を満たす棒材を試作する取り組みでは、硬度保持のための析出化合物の寸法の確保および表面清浄度の向上について、実用化に向け、ほぼ目標を満たす成果を得たと認められる。

また、Cu 被覆を施した Ti 添加新錫合金棒と Cu 被覆 Nb 多芯線との複合押し出し・複合伸線加工を行った結果、新錫合金棒と Cu や Nb との複合加工性に問題がないことが確認された。さらに、熱拡散シミュレーションで検討した相転移生成過程の最適条件に基づいた熱処理により超電導線を試作・評価した結果、目標とした高 Sn 含有量の Nb<sub>3</sub>Sn が形成され、ブロンズ法の 2 倍に相当する臨界電流密度特性 (1400A/mm<sup>2</sup> at 12T) が得られるとの見通しが示された。

### 3. 総合所見

「錫への添加元素、添加量を特定して、ニオブと銅被覆状態で多芯線複合加工することが可能な新錫合金を開発」という全体目標に対して、添加元素 Ti 系（2%添加）について  $Ti_6Sn_5$  の Sn 金属間化合物粒径  $10\ \mu m$  を達成し、加工性の向上で概ね技術的には期待通りの成果を上げていることは評価に値する。

一方で、「ブロンズ法  $Nb_3Sn$  線に比べ臨界電流特性 2 倍、kg あたり価格を 1/2 とすること」及び「総合製造コストがブロンズ法  $Nb_3Sn$  線の 1/4」とする全体目標については、実施企業が超伝導線材メーカーではなく超伝導素材提供メーカーであるため実証はできず、達成されているはず、との推測に留まっており、達成されたか否か判断が困難である。本目標達成度に関する評価を実証的に議論することができない市場環境の悪化は、やむをえない一面はあるものの、本課題の研究成果を無駄にしないためには、線材メーカーとのタイアップが必要で、上記全体目標の確認と推進が、求められる。一方で、受注が本格化した暁には、単一製造ロットのスケールアップの必要性が予測され、スケールアップすると本研究開発の本質的な成果であった添加金属との金属間化合物の微細化が妨げられるという問題は、線材メーカー側には解決の期待ができない合金開発側の問題であり、タイアップと並行して解決に努めるべき問題である。

また、成果をノウハウとして企業内に蓄積している点につき、特に  $Ti_6Sn_5$  の粒径 5 ミクロン以下の制御法が明確化できれば、技術の優位性を主張するためにも研究内容をブラッシュアップして権利化を図ることを企業のリスク管理として切に望むところである。

市場環境の悪化は周知の事実であるため近々の企業化は困難という判断もあるが、本課題の研究開発は  $Nb_3Sn$  線材の高性能化と低コスト化に一定の寄与があり、それに伴う新産業創出への波及効果も期待できることから、今後は、ITER 市場、MRI 市場等における企業化への執念的努力を引き続き期待したい。