

## 9 FEMによる高性能複合超電導線の線材設計

解析支援ネットOKAYAMA 第2回セミナー2007.4.16 at 岡山大学

### FEMによる高性能複合超電導線の線材設計

岡山大学大学院自然科学研究科  
村瀬 暁

### 背景

Nb<sub>3</sub>Sn複合超電導体 …… 高磁界での  
高電流密度通電が可能

高磁場超電導マグネットなどに応用

複合超電導線の構成材



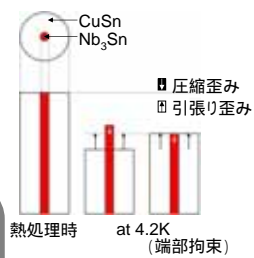
- 超電導体(Nb<sub>3</sub>Sn)
- 母材(Cu-Sn)
- 補強材(Cu-Nb, Ta)
- 安定化材(Cu)

熱処理温度  
約1000K  
↓  
使用温度(4.2 K)

各構成材の熱収縮率の違い

冷却時に残留歪が発生

超電導特性が低下

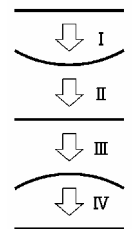


### 事前曲げ歪処理(pre-bending)について

事前曲げ歪処理

室温で超電導線材に  
加える曲げ歪のこと

↑  
コイル巻線時における  
曲げ歪の様子を模擬



事前曲げ歪処理の概略図

### 目的

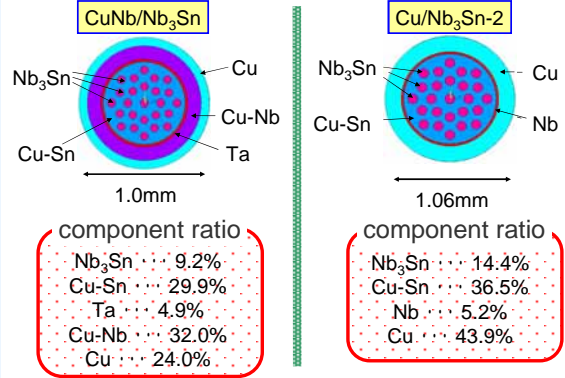
ゼロ歪下での $I_c$ の上昇  
 $I_{cm}$ の上昇、低歪方向へのシフト

ゼロ歪下での長手方向歪のみで説明することは難しい

高性能超電導線の開発のため、  
 事前曲げによる超電導特性向上の機構を、  
 三方向歪( $r$ ,  $\theta$ ,  $z$ )について有限要素法を用いて解析する

使用ソフト: ANSYS

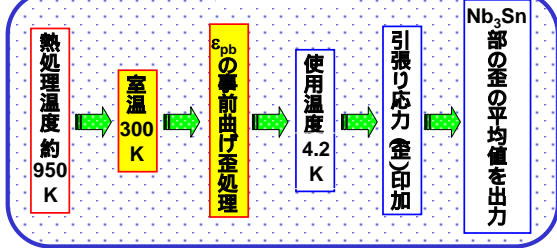
### 三次元解析モデルの断面



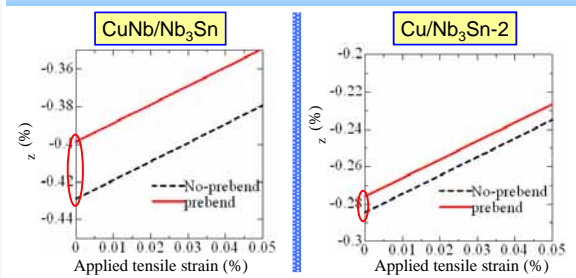
### 解析条件

- 各構成材はすべりがなく、変形後も両端部は平面
- 模擬する事前曲げ歪処理は2回印加( $\epsilon_{pb} = 0.5\%$ )
- 温度は数段階に分けて解析

#### 解析の流れ



### 解析結果1 (長手方向歪-引張り歪特性)



ゼロ歪下で長手方向の残留歪  
 約7.0%緩和 | 約3.2%緩和

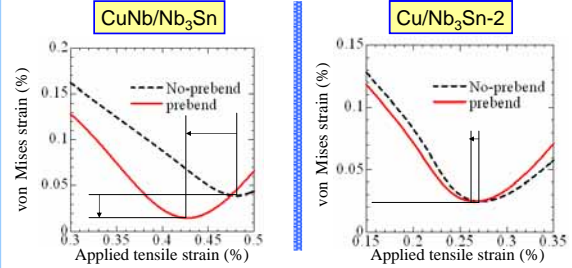
解析結果 2

事前曲げ(0.5%, 2回)による伸び

CuNb: 0.37%  
Cu: 0.01%

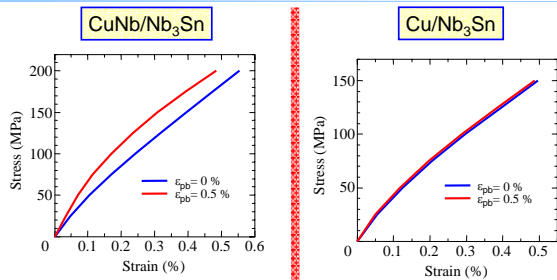
この伸びがゼロ歪下で長手方向歪の緩和  
→ ゼロ歪下で $I_c$ が増加する理由

解析結果3 (von Mises 歪-引張り歪特性)



von Mises 歪の最小値は $I_{cm}$ と同じ傾向を示している  
→  $I_{cm}$ の増加と低歪方向シフトの理由

解析結果4: 機械特性の変化(軸方向)



機械特性...向上

機械特性...変化なし

これまでに得られた成果

事前曲げにより超電導線の高性能化

- 3方向歪解析を行い, von Mises歪で評価することにより, **最大臨界電流値 $I_{cm}$ の向上**, **ピーク位置の低歪方向へシフトする理由**を明らかにした。
- **事前曲げ歪処理の効果は, CuよりCuNbの方が効果的** **構成材の機械特性(塑性変形能)に依存する**

### これからの線材設計

- CuNb補強材の配置位置(中心部or周辺部)による事前曲げ効果の影響
- 構成材の機械特性, 配置, 体積比, 事前曲げの回数・歪をパラメータにして, 各プロセスでの3方向歪の挙動を明らかにして, **事前曲げ効果が最大となる線材設計**を行う。

### 謝辞

- 本研究の一部に, 東北大学金属材料研究所計算材料科学センターのスーパーコンピューティングシステムを利用した。ここに謝意を表す。