

## 研究室紹介

森田 太郎

Sophia University, National Institute for Materials Science

March 28, 2020

# 目次

## 研究テーマ

### 超伝導について

### $\text{Nb}_3\text{Sn}$ について

#### 研究テーマ

##### 超伝導について

超伝導とは

超伝導の領域（限界）

ピンニング機構とは

##### $\text{Nb}_3\text{Sn}$ について

$\text{Nb}_3\text{Sn}$ 線材の作り方

$\text{Nb}_3\text{Sn}$ の特徴

$\text{Nb}_3\text{Sn}$ 線材の課題

$\text{Nb}_3\text{Sn}$ 特性のキープポイント

従来のアプローチ



## Nb<sub>3</sub>Snについて

## 従来のアプローチ

## 超伝導の特徴

- ▶ 電気抵抗がゼロ
- ▶ 磁場が侵入しない

# 超伝導の領域

研究室紹介

森田 太郎

研究テーマ

超伝導について

超伝導とは

超伝導の領域（限界）

ピンニング機構とは

Nb<sub>3</sub>Snについて

Nb<sub>3</sub>Sn線材の作り方

Nb<sub>3</sub>Snの特徴

Nb<sub>3</sub>Sn線材の課題

Nb<sub>3</sub>Sn特性のキーポイント

従来のアプローチ

- ▶ ある一定の磁場，温度，電流で囲まれた領域で超伝導が発現する．
- ▶ 臨界値をそれぞれ臨界磁場，臨界温度，臨界電流と呼ぶ．
- ▶ 臨界温度，臨界磁場は材料によってほぼ決まっているが，臨界電流はピンニング特性を改善することで特性が向上する．

# ピンニング機構について

- ▶ Type 2超伝導体内には磁束侵入．電流印可で磁束にローレンツ力が働く．
- ▶ ローレンツ力により磁束が運動し始めると起電力が発生し超伝導状態が破れる．
- ▶ Type 2超伝導体内に侵入した磁束はピンニング点と呼ばれる点でピン留めされる．
- ▶ 結晶粒界，不均質部などが主なピンニング点．

# ピンニング機構について

- ▶ Type 2超伝導体内には磁束侵入．電流印可で磁束にローレンツ力が働く．
- ▶ ローレンツ力により磁束が運動し始めると起電力が発生し超伝導状態が破れる．
- ▶ Type 2超伝導体内に侵入した磁束はピンニング点と呼ばれる点でピン留めされる．
- ▶ 結晶粒界，不均質部などが主なピンニング点．

ピンニング点の密度を増加することで臨界電流が向上



# 目次

## 研究テーマ

## 超伝導について

## Nb<sub>3</sub>Snについて

Nb<sub>3</sub>Sn線材の作り方

Nb<sub>3</sub>Snの特徴

Nb<sub>3</sub>Sn線材の課題

Nb<sub>3</sub>Sn特性のキーポイント

従来のアプローチ

### 研究テーマ

#### 超伝導について

超伝導とは

超伝導の領域（限界）

ピンニング機構とは

#### Nb<sub>3</sub>Snについて

Nb<sub>3</sub>Sn線材の作り方

Nb<sub>3</sub>Snの特徴

Nb<sub>3</sub>Sn線材の課題

Nb<sub>3</sub>Sn特性のキーポイント

従来のアプローチ

# Nb<sub>3</sub>Sn線材の作り方

研究室紹介

森田 太郎

研究テーマ

超伝導について

超伝導とは

超伝導の領域（限界）

ピンニング機構とは

Nb<sub>3</sub>Snについて

Nb<sub>3</sub>Sn線材の作り方

Nb<sub>3</sub>Snの特徴

Nb<sub>3</sub>Sn線材の課題

Nb<sub>3</sub>Sn特性のキープポイント

従来のアプローチ

1. 前駆体となるパイプ・ロッドを用意・組み立て
2. スエーピング・冷間引抜加工 **【伸線加工】**
3. 1段階目熱処理 (for Sn/Cu mixing)
4. 2段階目熱処理 (for Nb<sub>3</sub>Sn formation)

# Nb<sub>3</sub>Snについて

## Nb<sub>3</sub>Snの特徴・メリット

- ▶ 低温超伝導 ( $T_c = 18\text{ K}$ ) . A15結晶組織.
- ▶ 工業化に適している. 製造しやすく実績がある.
- ▶ 線材形状の柔軟性に富む.
- ▶ 優れた高磁界特性

## Nb<sub>3</sub>Snの特徴・メリット

- ▶ 低温超伝導 ( $T_c = 18 \text{ K}$ ) . A15結晶組織.
- ▶ 工業化に適している. 製造しやすく実績がある.
- ▶ 線材形状の柔軟性に富む.
- ▶ 優れた高磁界特性

次世代核融合炉や粒子加速器用マグネット材料として期待されている

# Nb<sub>3</sub>Sn線材の課題

研究室紹介

森田 太郎

研究テーマ

超伝導について

超伝導とは

超伝導の領域（限界）

ピンニング機構とは

Nb<sub>3</sub>Snについて

Nb<sub>3</sub>Sn線材の作り方

Nb<sub>3</sub>Snの特徴

**Nb<sub>3</sub>Sn線材の課題**

Nb<sub>3</sub>Sn特性のキーポイント

従来のアプローチ

## Nb<sub>3</sub>Snの課題点

- ▶ 機械的な強度が著しく低い
- ▶ 特性が飽和状態

## Nb<sub>3</sub>Snの課題点

- ▶ 機械的な強度が著しく低い
- ▶ 特性が飽和状態

次世代高磁場機器では高い $J_c$ 特性，機械的強度が求められているため抜本的な解決策が必要

# Nb<sub>3</sub>Sn特性のキーポイント

## 特性向上のキーポイント

### Nb<sub>3</sub>Sn層厚

- ▶ Nb<sub>3</sub>SnはNbとSn間の固相拡散反応によって生成される
- ▶ 未反応Nbが最小，全体がNb<sub>3</sub>Snとなるとよい

### Nb<sub>3</sub>Sn結晶粒径

- ▶ 結晶粒径が小さいほど結晶粒界は多くなる
- ▶ 結晶粒界はピンニング点となる

### Nb<sub>3</sub>Snの化学量論性

- ▶ 化学式通りの組成を化学量論性(Stoichiometry)という
- ▶ Nb<sub>3</sub>Snは固相拡散反応によって生成されるので一般的にはNb<sub>3</sub>Sn層に組成勾配がある．できるだけNb:Sn = 3:1に近づける

超伝導とは  
超伝導の領域（限界）  
ピンニング機構とは

Nb<sub>3</sub>Sn線材の作り方  
Nb<sub>3</sub>Snの特徴

Nb<sub>3</sub>Sn線材の課題

### Nb<sub>3</sub>Sn特性のキーポイント

### 従来のアプローチ

- ◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ≡ ▶ ◀ ≡ ▶ ≡ ≡ ≡ ≡ ↺ 🔍 ↻



超伝導とは  
超伝導の領域（限界）  
ピンニング機構とは

Nb<sub>3</sub>Sn線材の作り方  
Nb<sub>3</sub>Snの特徴

Nb<sub>3</sub>Sn線材の課題

## Nb<sub>3</sub>Sn特性のキーポイント

### 従来のアプローチ

- ◀ ◻ ▶ ◀ ◻ ▶ ◀ ≡ ▶ ◀ ≡ ▶ ≡ ≡ ≡ ↺ 🔍 ↻