



# 応用超伝導工学

2015年10月26日

前 田

# 3つの臨界定数

- 🍏 臨界温度 ( $T_c$ )
- 🍏 臨界磁場 ( $H_c$ )
- 🍏 臨界電流密度 ( $J_c$ )

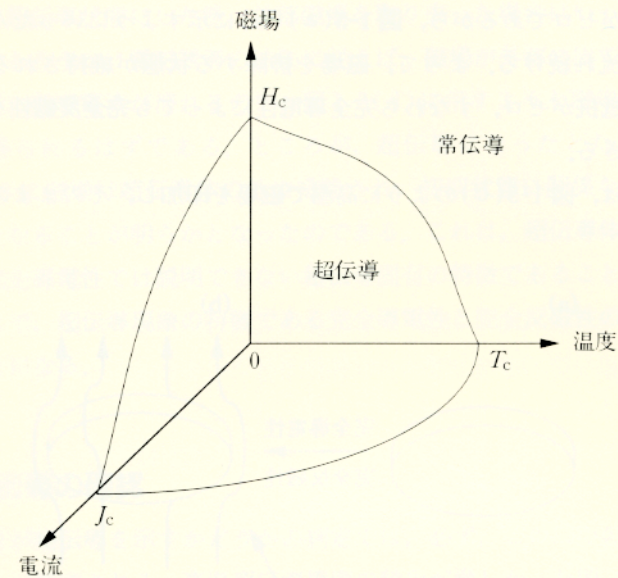
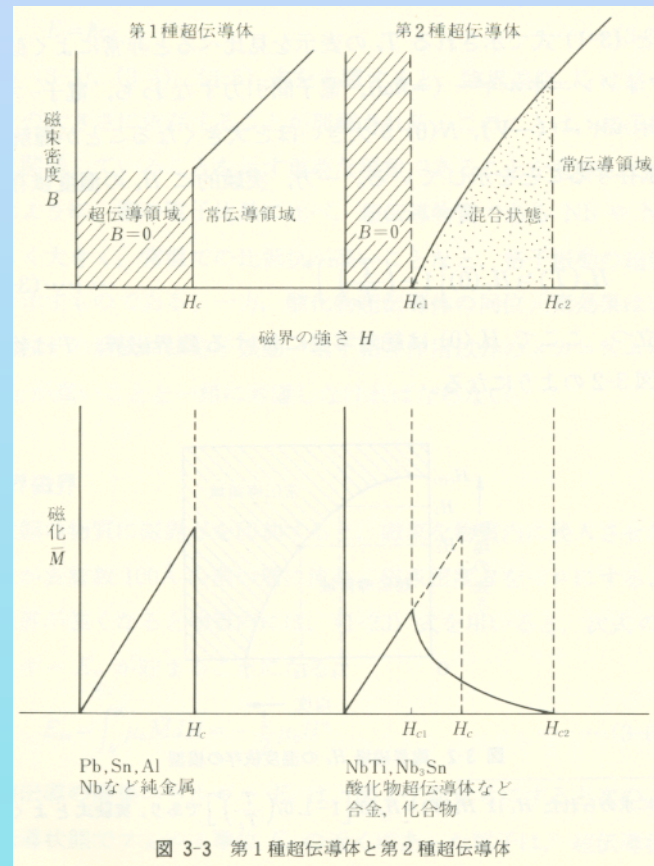
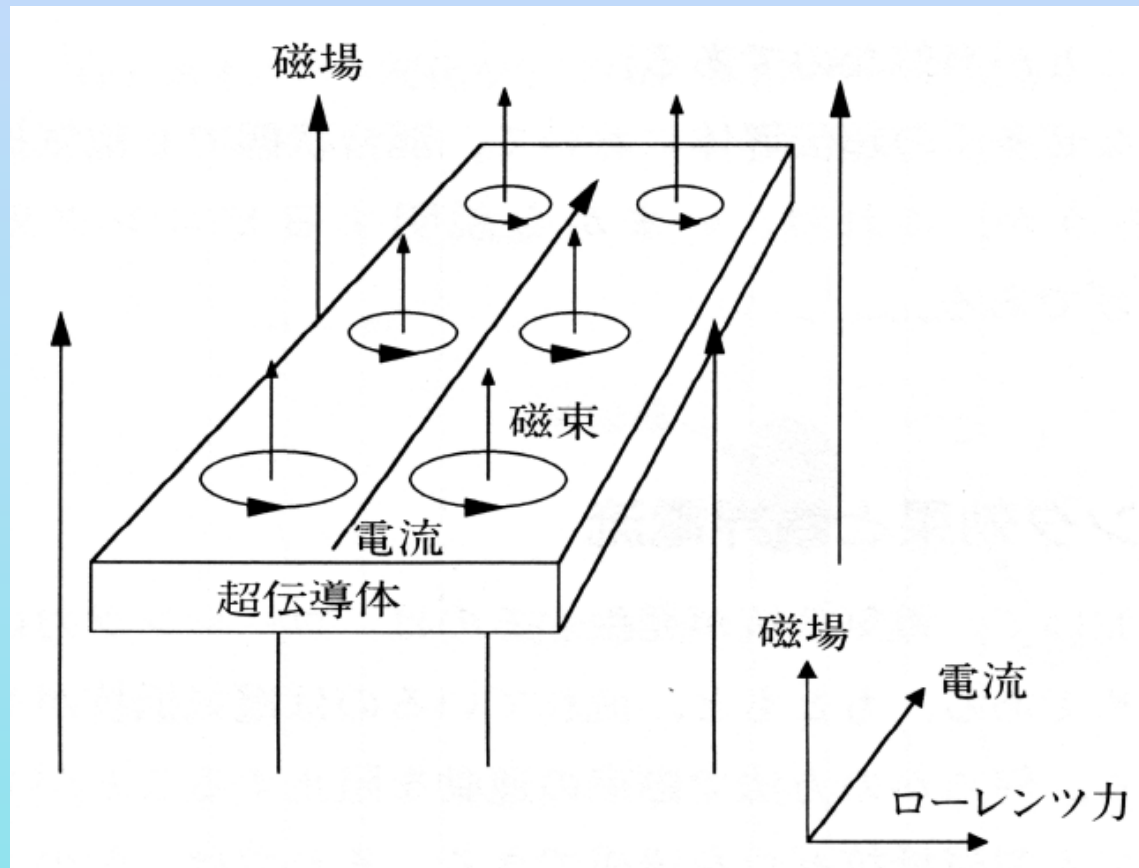


図1-4 超伝導状態を保つためには、温度、磁場、電流値にそれぞれ限界が存在する。これら限界値を、臨界温度、臨界磁場、臨界電流と呼び、超伝導と常伝導の境界面を臨界面と呼んでいる。熱力学的には、臨界面の内側では超伝導状態の自由エネルギーが常伝導状態よりも低い。

# 第一種超伝導体と第二種超伝導体



# 量子化磁束





# 超伝導体を電線として使用するには？

- 第二種超伝導体であることが必須
- 超伝導体内に侵入した量子化磁束はローレンツ力を受けて運動する。量子化磁束の中心付近に存在する常伝導電子の運動はジュール熱の発生をもたらす。
- 磁束のピン留め点 (pinning centers) が必要
  - ♣ 格子欠陥, 結晶粒界, 非超伝導析出物などは原理的にはすべてピン留め点になり得るが, その「能力」が問題。
  - ♣ 「きれいな」超伝導体は一般に  $J_c$  が低い。



# 超伝導線材について

## 🍏 超伝導の代表的な応用分野

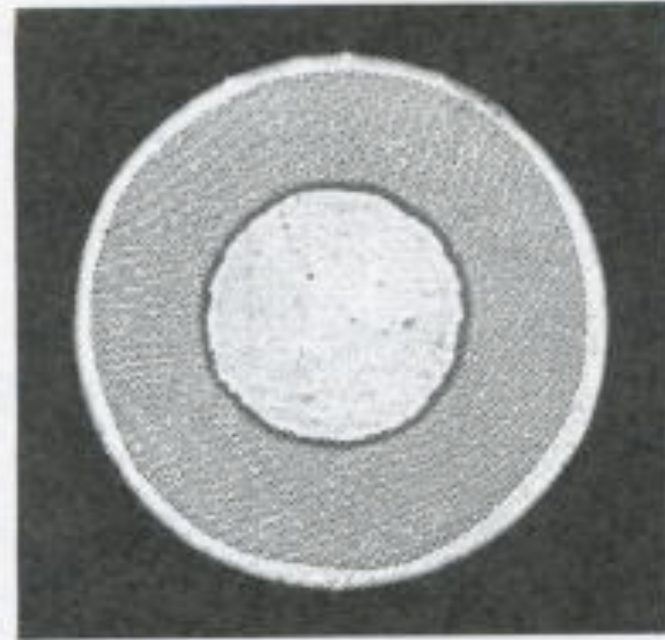
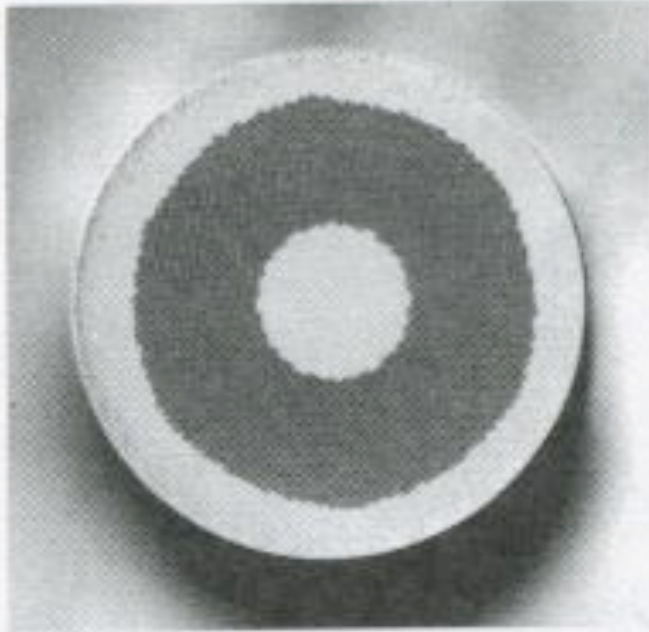
- ♠ NbTi ( $T_c \approx 10$  K)
- ♠ Nb<sub>3</sub>Sn ( $T_c \approx 18$  K)
- ♠ Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>10</sub> ( $T_c \approx 110$  K)
- ♠ YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> ( $T_c \approx 92$  K)
- ♠ MgB<sub>2</sub> ( $T_c \approx 39$  K)



# クウェンチ現象

- ❖ 電流が流れている超伝導体の一部が何らかの原因で常伝導転移した場合、発生したジュール熱により周囲が次々に常伝導化する現象。最悪の場合にはマグネットの焼損等が引き起こされる。
- ❖ 超伝導線の周囲には低抵抗金属（高純度銅など）が配置される（安定化金属）。
- ❖ 極細多芯化とツイスト（撚線化）が必須となる。

# 極細多芯線



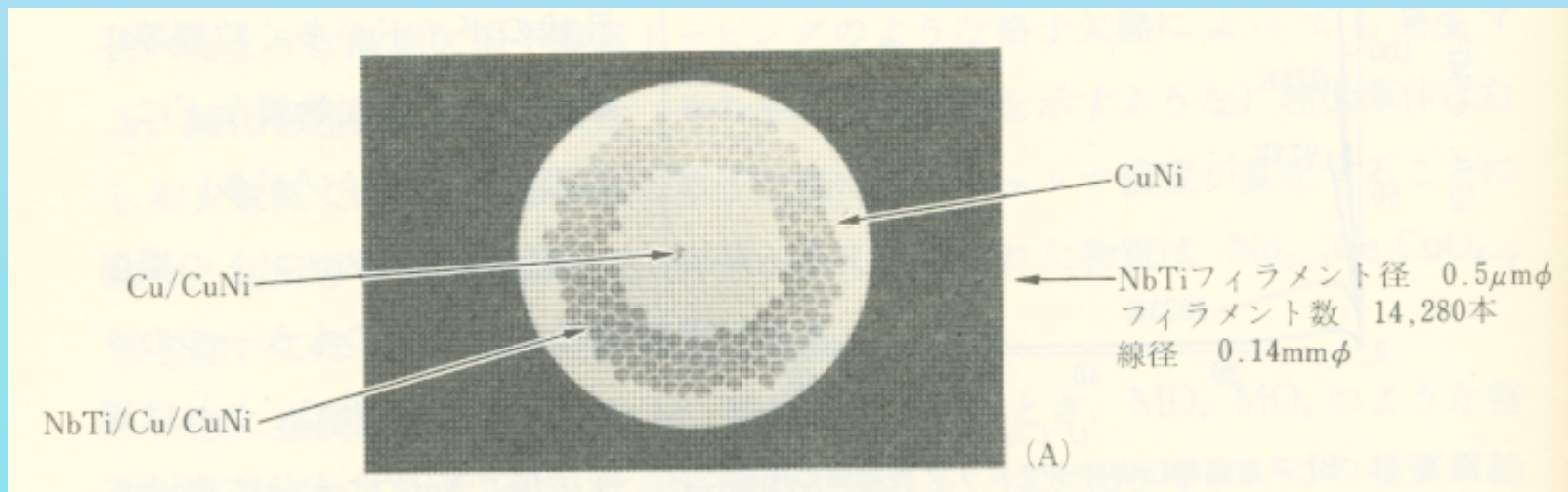
(a) NbTi 極細多心線材\*      (b) Nb<sub>3</sub>Sn 極細多心線材\*  
(\* 古河電工製)



# 金属系線材

## 🍏 NbTi

- ♣️ Nb-63at.% Ti 合金 (Nb-47 wt.% Ti 合金) が多く用いられる.
- ♣️ 直径 0.1~0.5 mm, フィラメント径 0.5~1  $\mu\text{m}$



# NbTi 線材の製造方法

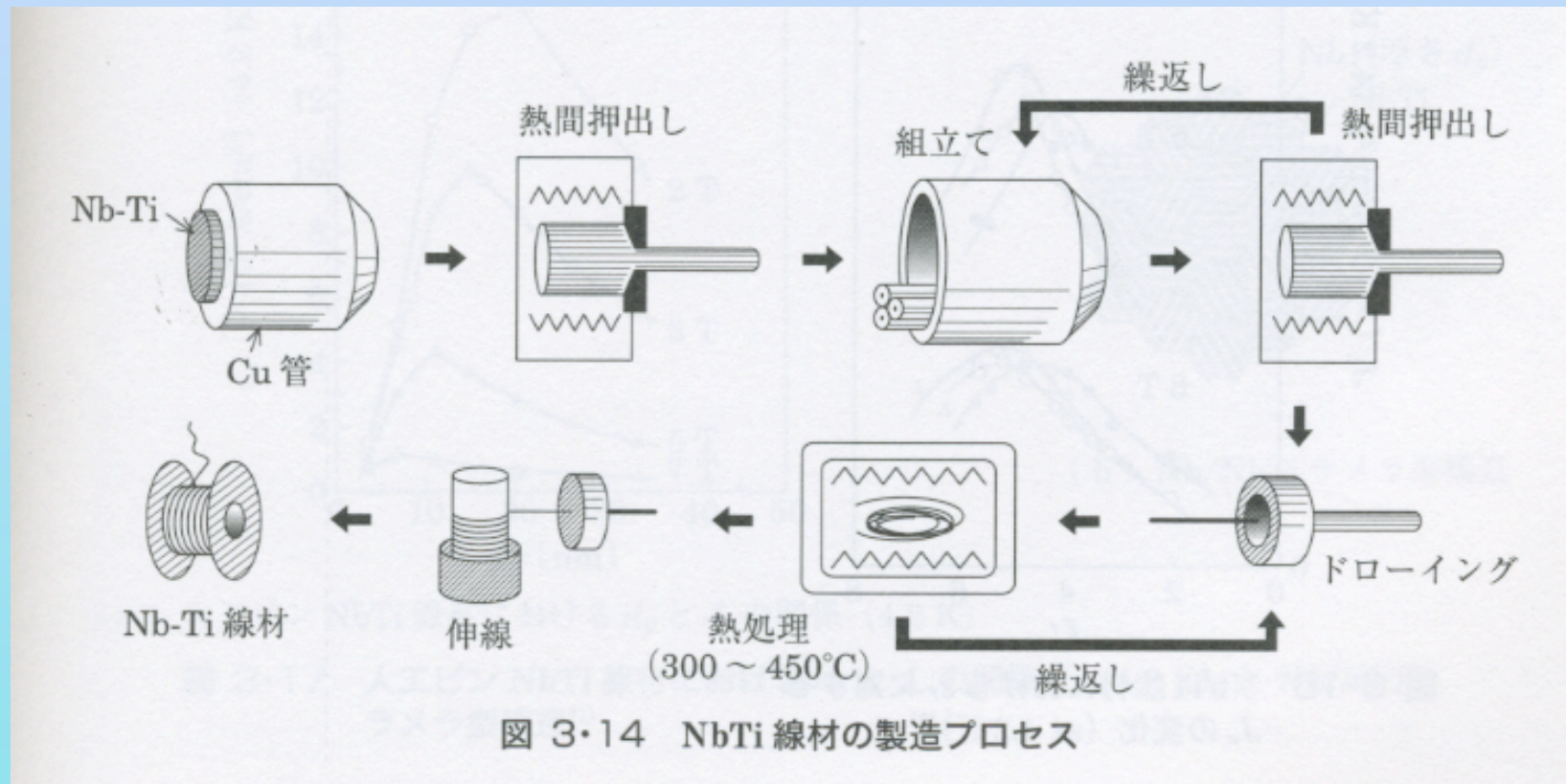
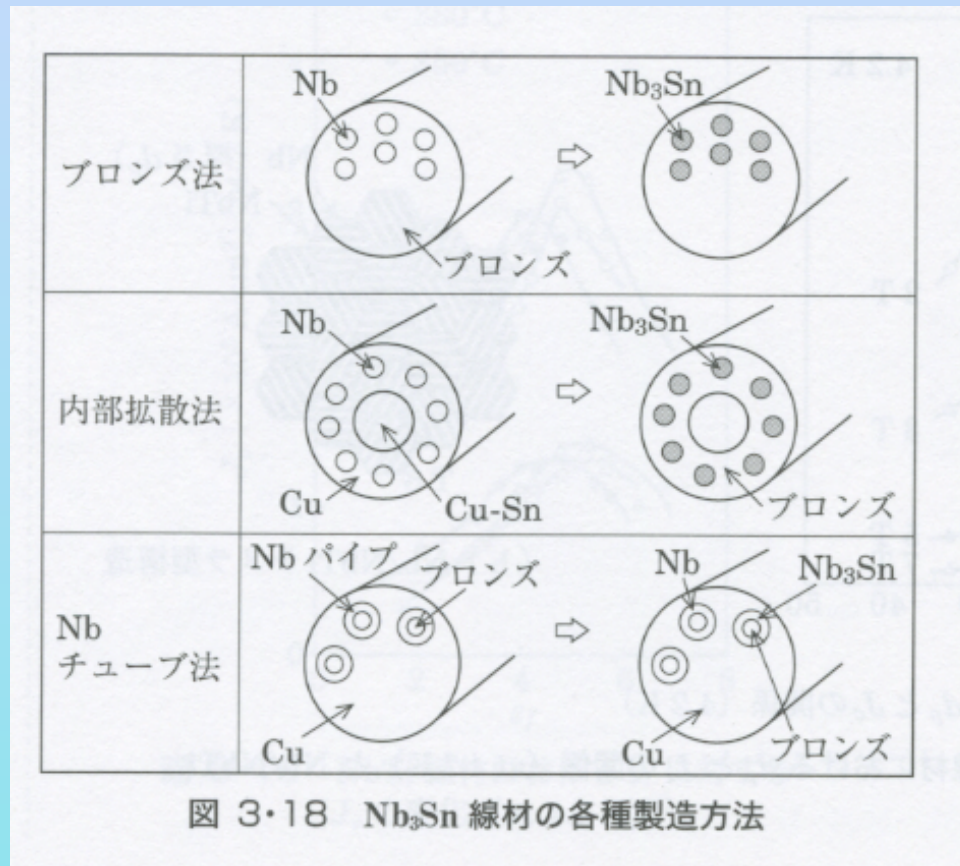


図 3・14 NbTi 線材の製造プロセス

# Nb<sub>3</sub>Sn 線材の製造方法



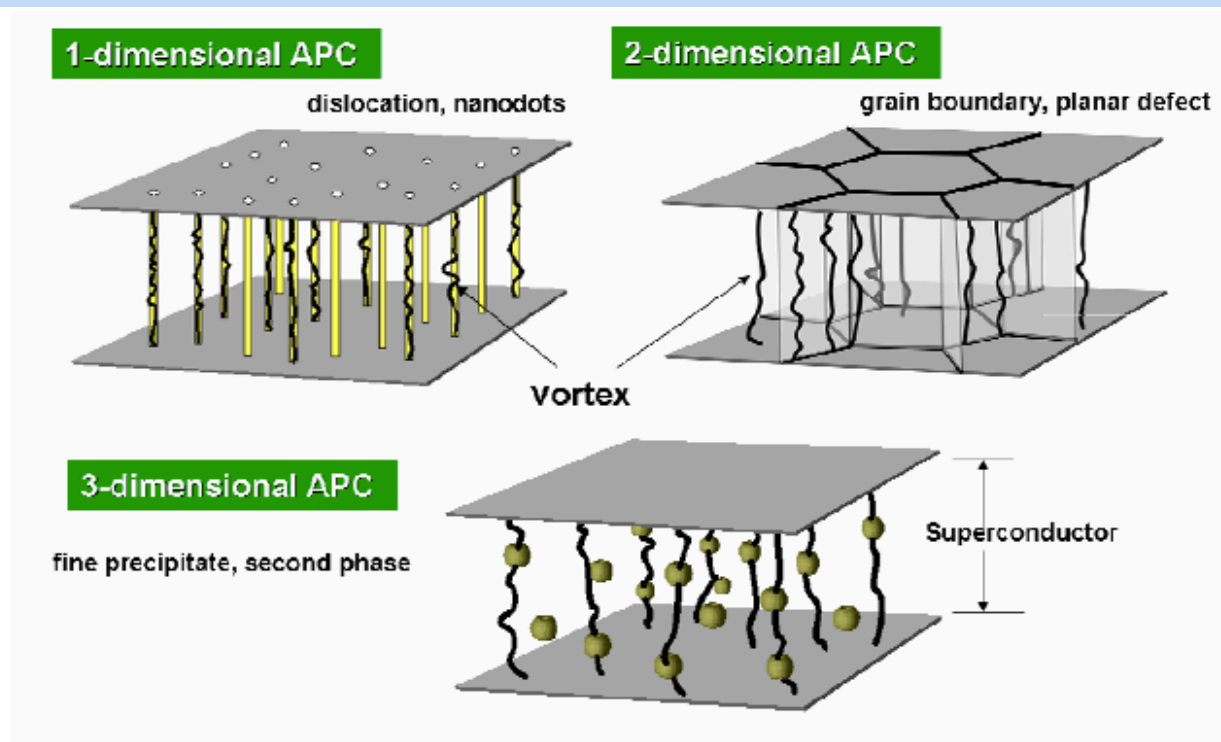


図1 次元性を考慮した人工ナノ欠陥（1次元，2次元，3次元人工ピンの模式図）