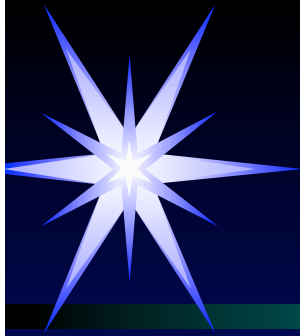
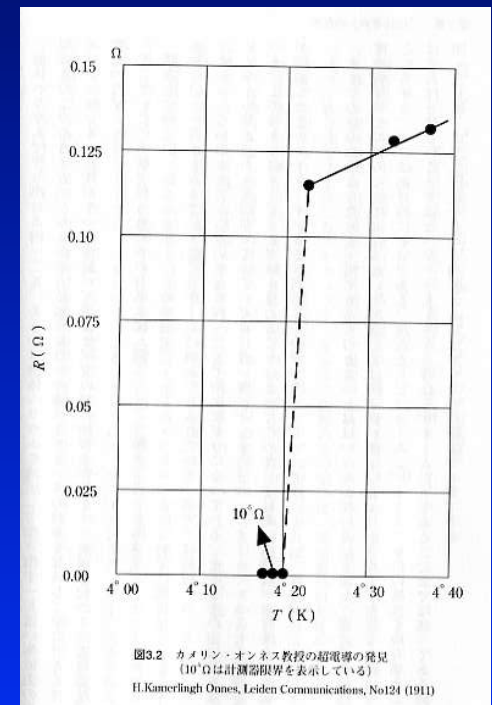
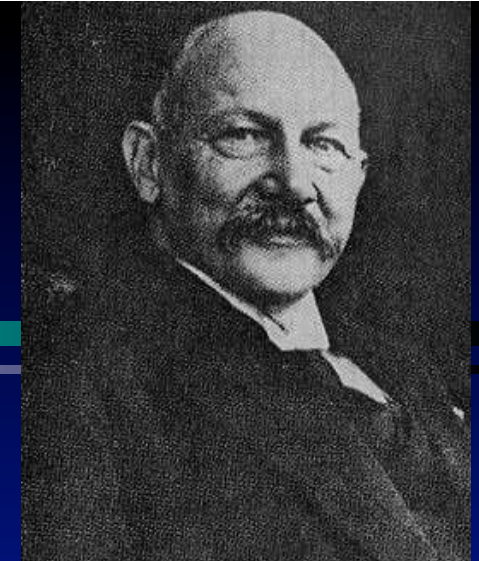


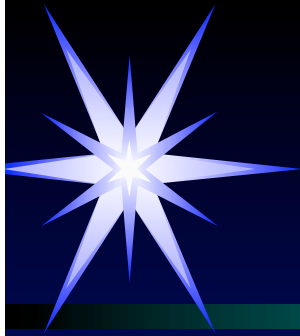


超伝導とは？

🍏 超伝導の発見：低温との戦い

- ♠ 1890: 水素の液化 (J. Dewar) 20.3 K
- ♠ 1908: ヘリウムの液化 (K. Onnes) 4.2 K
- ♠ 1911: Kamerling Onnes により、Hg で発見
 - ◆ Hg の電気抵抗の温度変化を測定 → ~ 4 K で消失





超伝導 (Superconductivity) とは？

🍏 ある温度（臨界温度 (T_c)）以下で起こる現象)

🍏 4 つの特徴

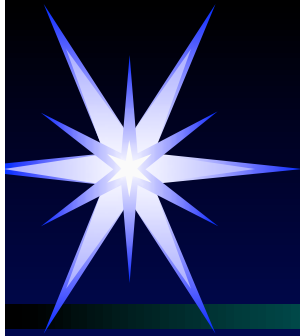
♠ 電気抵抗ゼロ：省エネルギー，環境に優しい技術

♠ Meissner（マイスナー）効果

♠ 磁束の量子化

♠ Josephson（ジョセフソン）効果

🍏 電氣的だけではなく磁氣的（磁石）としてもとても興味深い性質



臨界温度 (T_c) , 臨界電流密度 (J_c) , 臨界磁場 (B_c)

🍏 T_c , B_c は物質定数

🍏 J_c は材料組織に強く依存

♠ 量子化磁束線の運動

→ 電流の発生

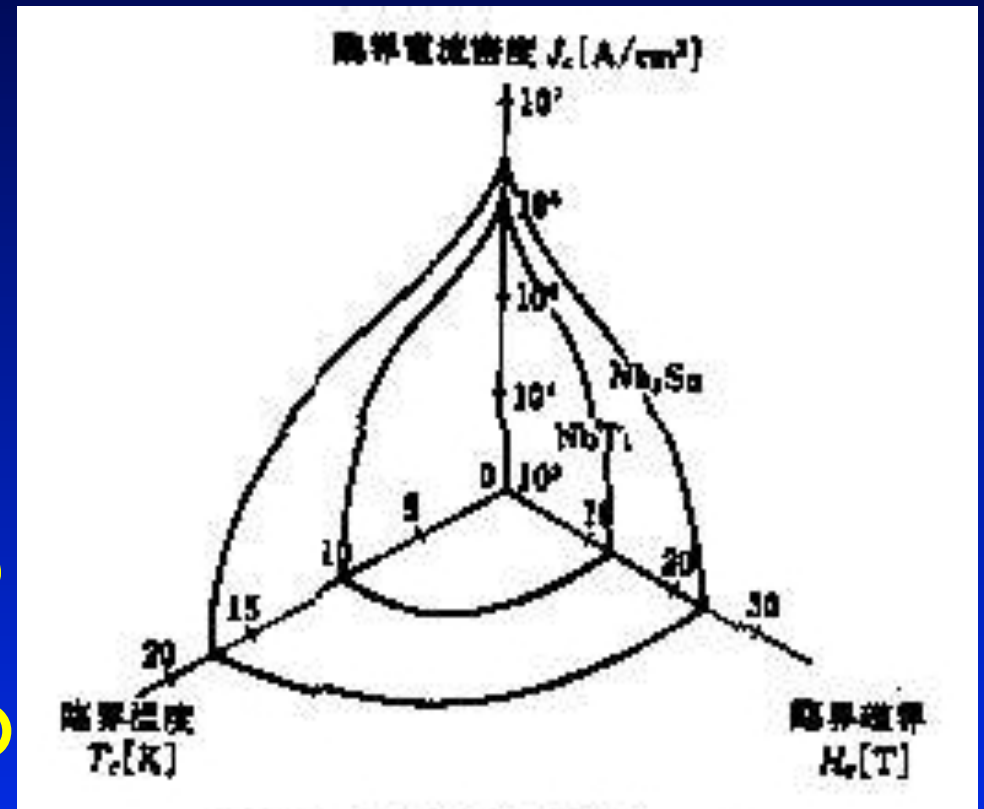
→ ジュール損失 (発熱)

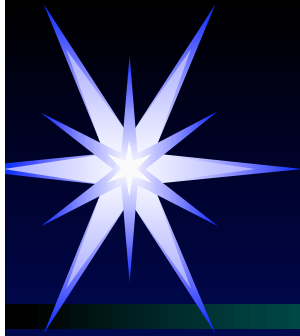
♠ 磁束は“ピン止め”できる

◆ 格子欠陥 (転位, 積層欠陥 . . .)

◆ 析出物

🍏 実用材料化のためには J_c の向上が不可欠！！



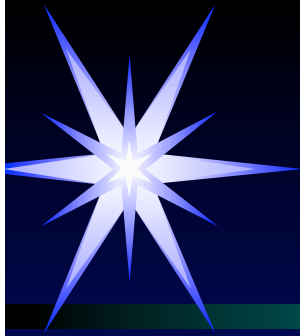


超伝導の応用分野

🍏 線材

🍏 コイル

🍏 デバイス

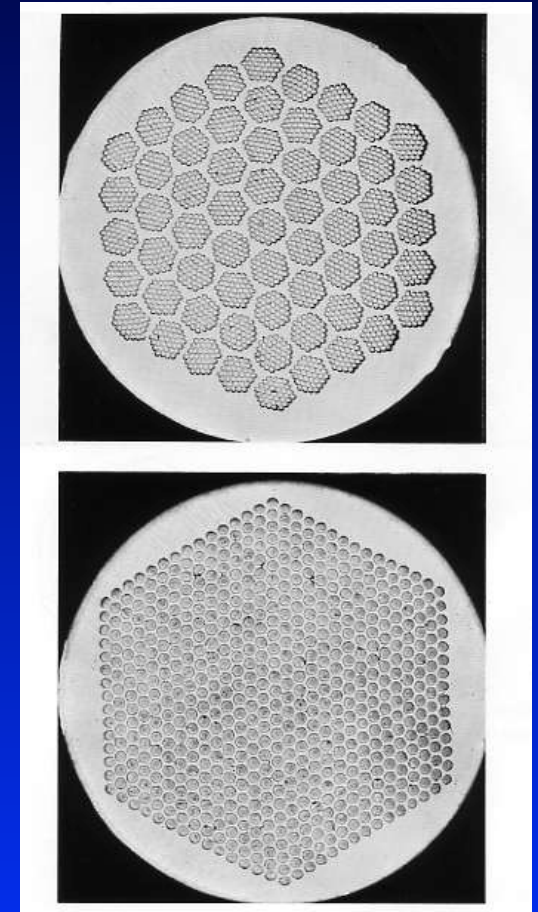


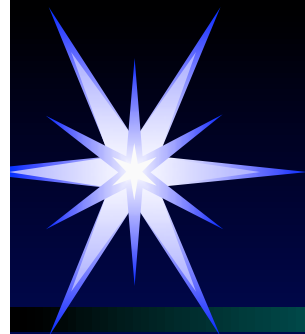
実用化されている超伝導応用製品（線材）

🍏 NbTi（合金）： $T_c \sim 9.8$ K

🍏 Nb₃Sn（金属間化合物）： $T_c \sim 18.5$ K

* 極細多芯線：高度な金属加工技術





既に市販されている超伝導機器の例 (液体 He で冷却)



超伝導マグネット

* オックスフォード社 HP より



MRI

(核磁気共鳴診断装置)

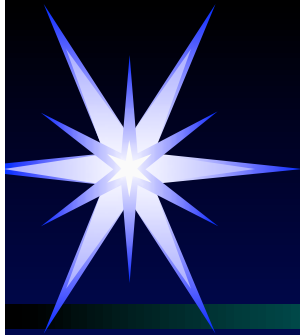
* 慶応病院 HP より



SQUID

(超伝導量子干渉素子)

北陸先端科学技術大学院大学 HP より



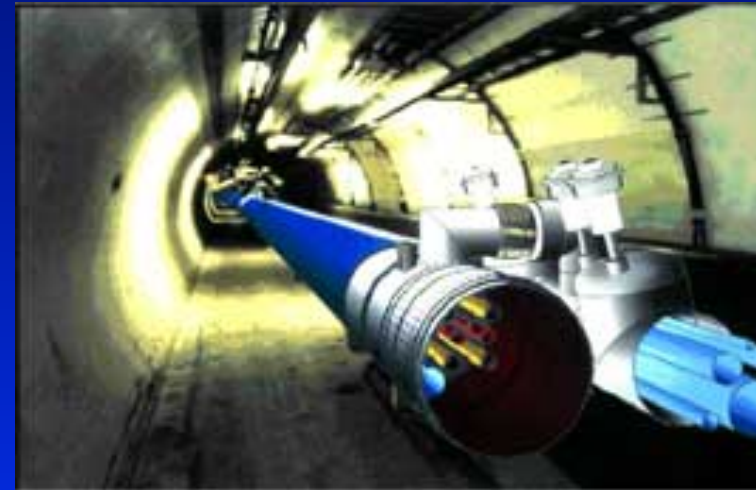
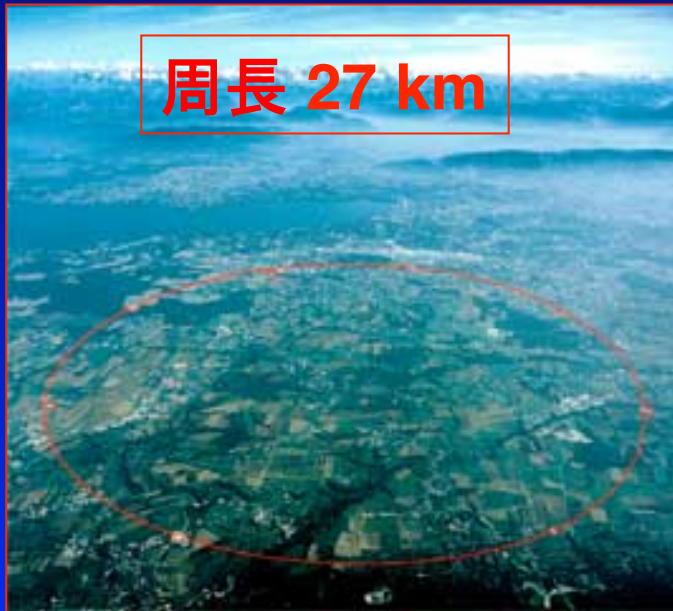
LHC (Large Hadron Collider)

* (独)高エネルギー加速器研究機構(KEK)ホームページより

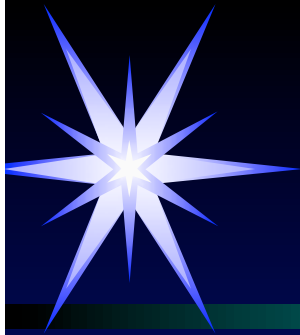
🍏 CERN の大型加速器：素粒子物理学

♣ 欧州合同素粒子原子核研究機構 (ジュネーブ, スイス)

🍏 日本の超伝導線材が大きく貢献



地下トンネル：合成写真



実用化間近 (?) の超伝導機器



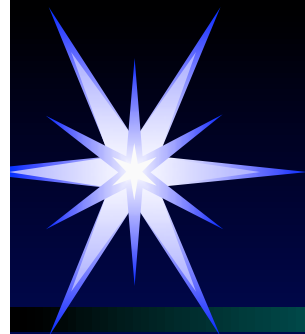
超伝導リニアモーターカー

* (財)鉄道総合技術研究所 HP より



高温超伝導電力ケーブル

* 古河電工 HP より

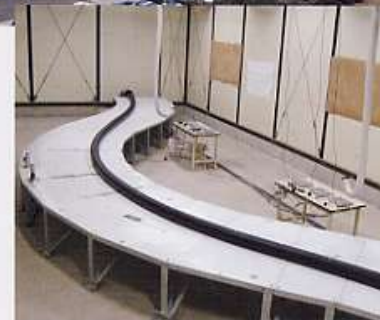
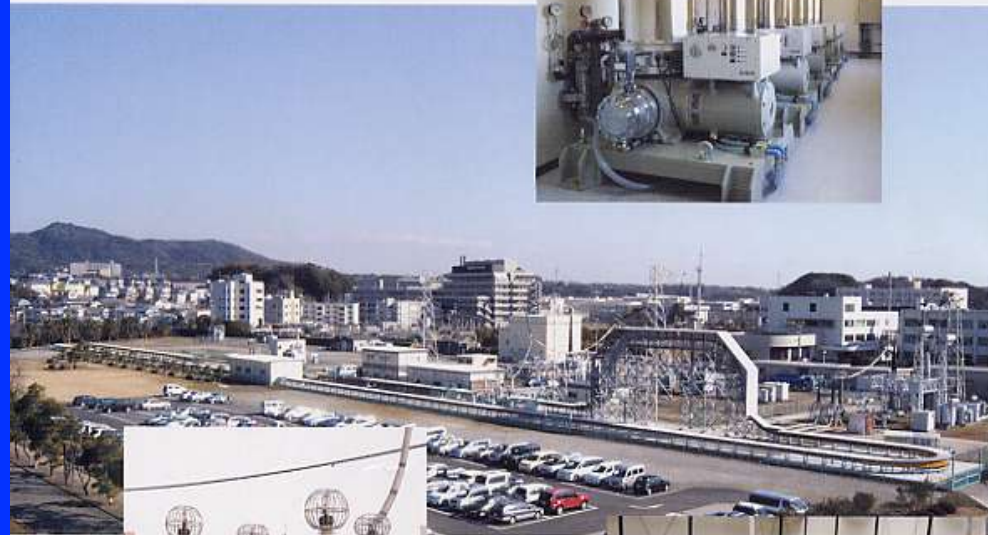


山梨リニア実験線：時速 581 km/h

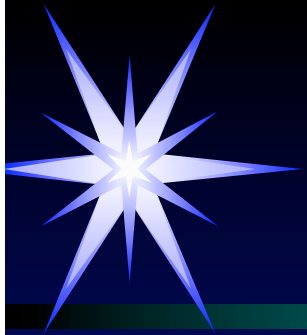


* (財)鉄道総合技術研究所 HP より

500m 高温超電導ケーブル フィールド試験



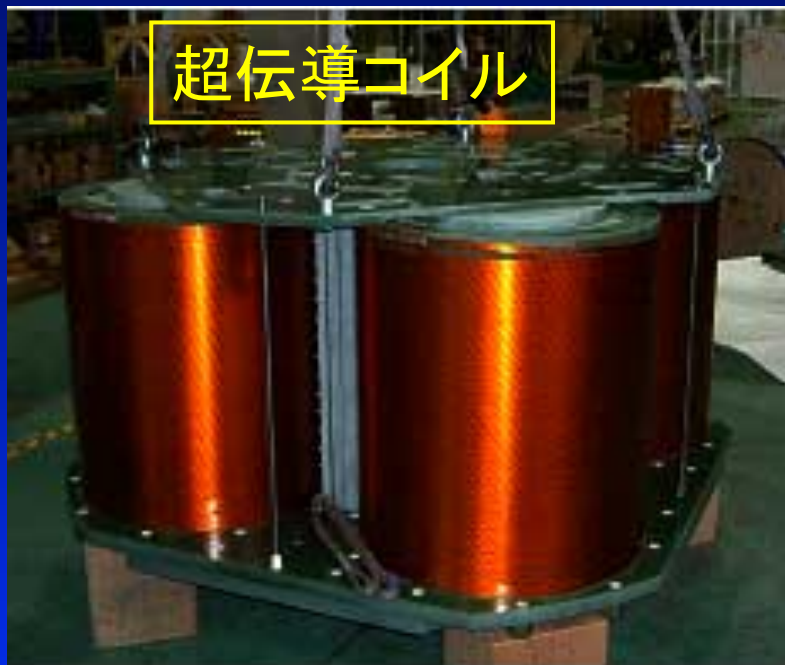
財団法人 電力中央研究所
古河電気工業株式会社
超電導発電関連機器・材料技術研究組合



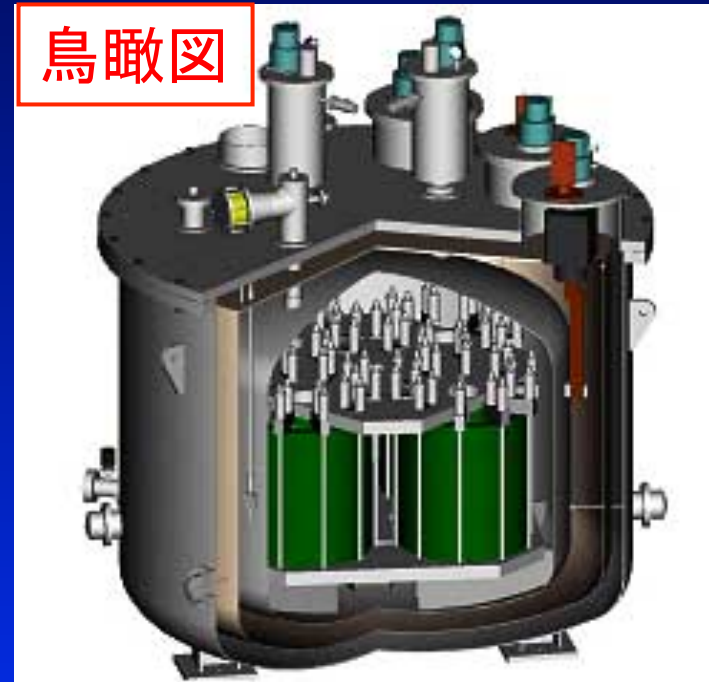
SMES : 超伝導電力貯蔵システム

(Superconducting Magnetic Energy Strage System)

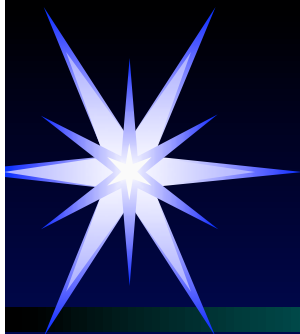
- * 今年 7 月からシャープ亀山工場にてフィールド試験
- * 瞬停対策用 (5000 kW, 1 sec)



鳥瞰図



* 中部電力(株)ホームページより



長期的な計画：ITER

🍏 国際熱核融合実験炉

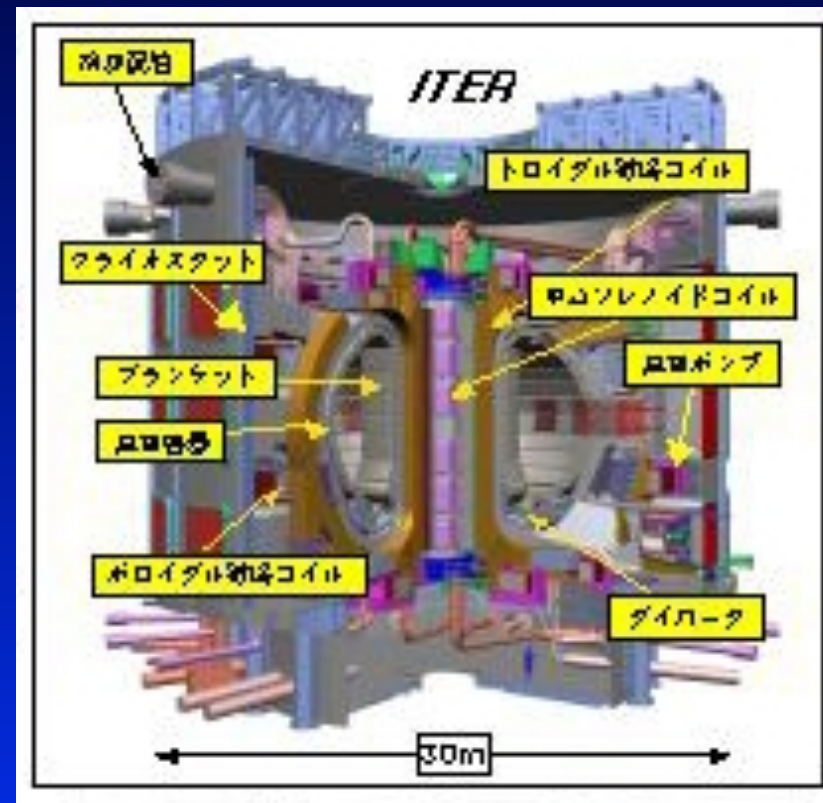
♠ International Thermonuclear
Experimental Reactor

♠ D（重水素）+T（三重水素）
→He + n（中性子）

* 1 g から石油 8 t 分のエネルギー

♠ 日，欧，露 3 極

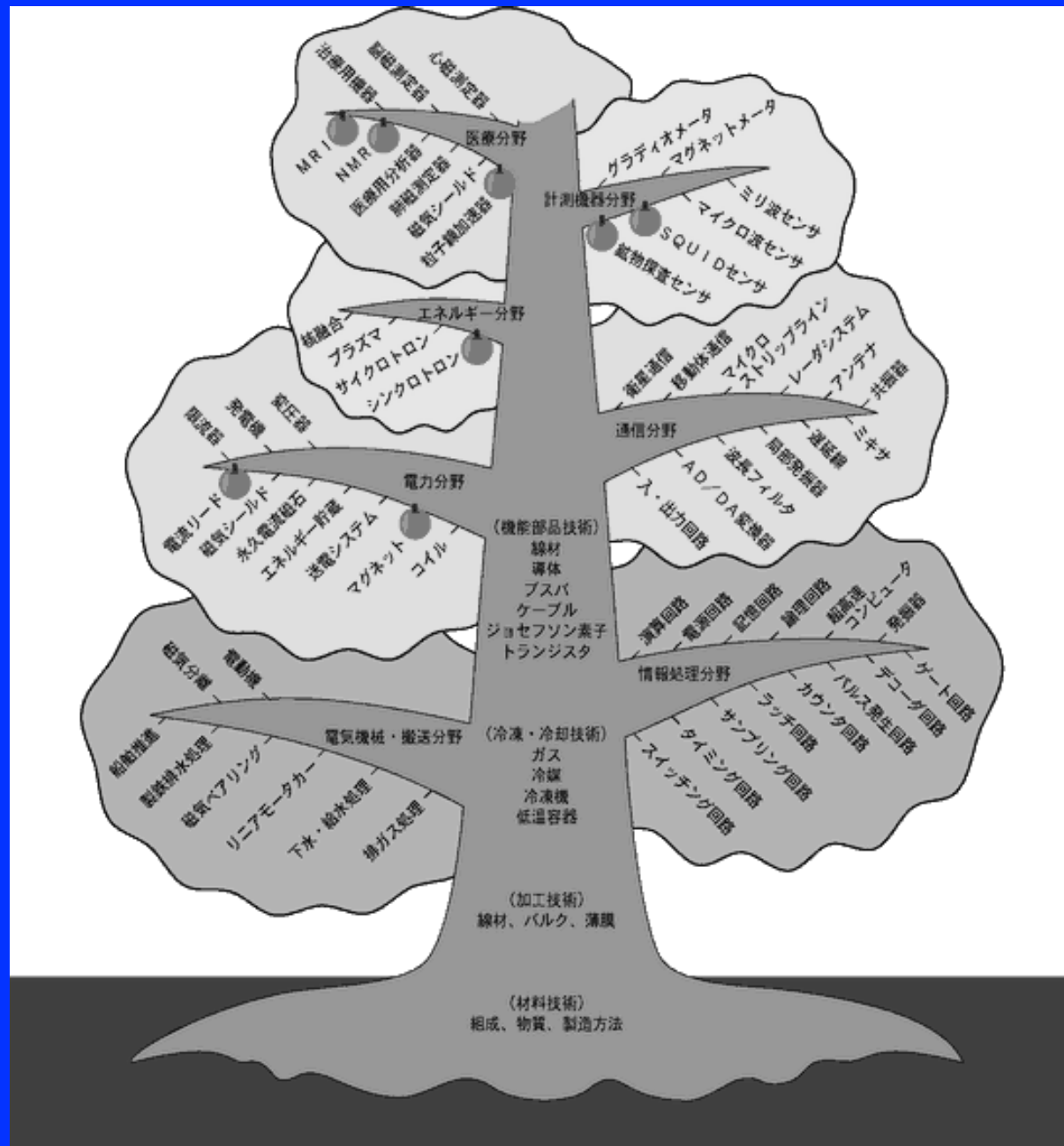
♠ 実験炉設置場所を検討中

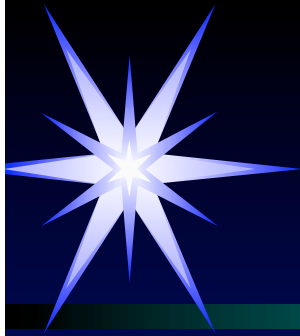


* 日本原子力研究所 HP より

超伝導応用の樹

* 特許庁 HP より

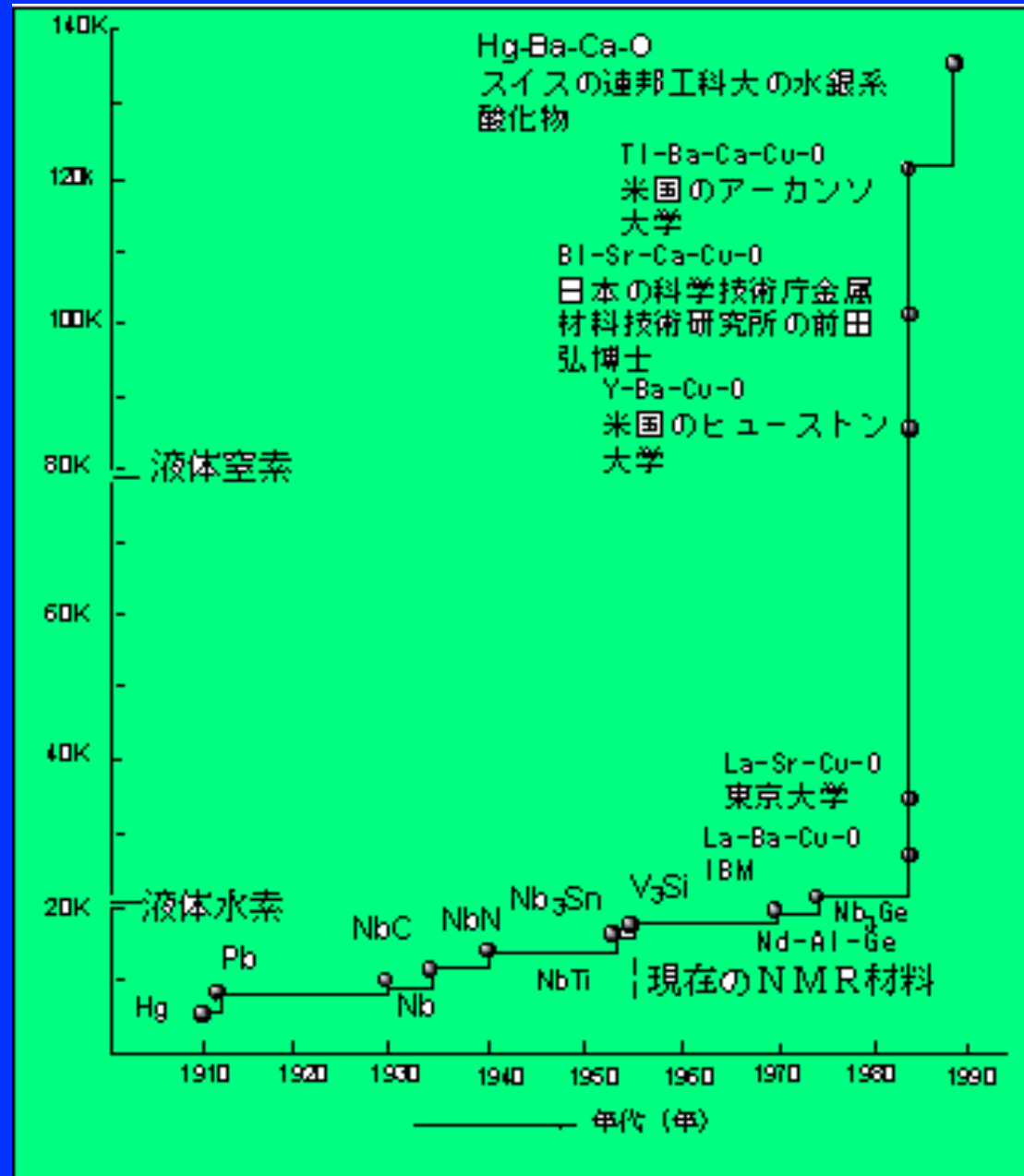


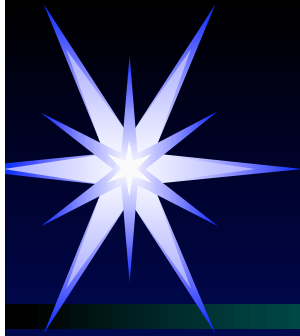


高温超伝導の概要

- 🍏 液体窒素温度（77.3 K）以上の T_c
 - ♠ 高価な液体ヘリウム（4.2 K）からの解放
→ 冷却コストの劇的低減
- 🍏 超伝導産業拡大への期待
 - ♠ 小規模応用 → 大規模応用（電力ケーブル, SMES）

T_c の上昇





酸化物超伝導体の線材化I

🍏 第1世代の線材：Bi系

♠ セラミックスの長尺化は困難

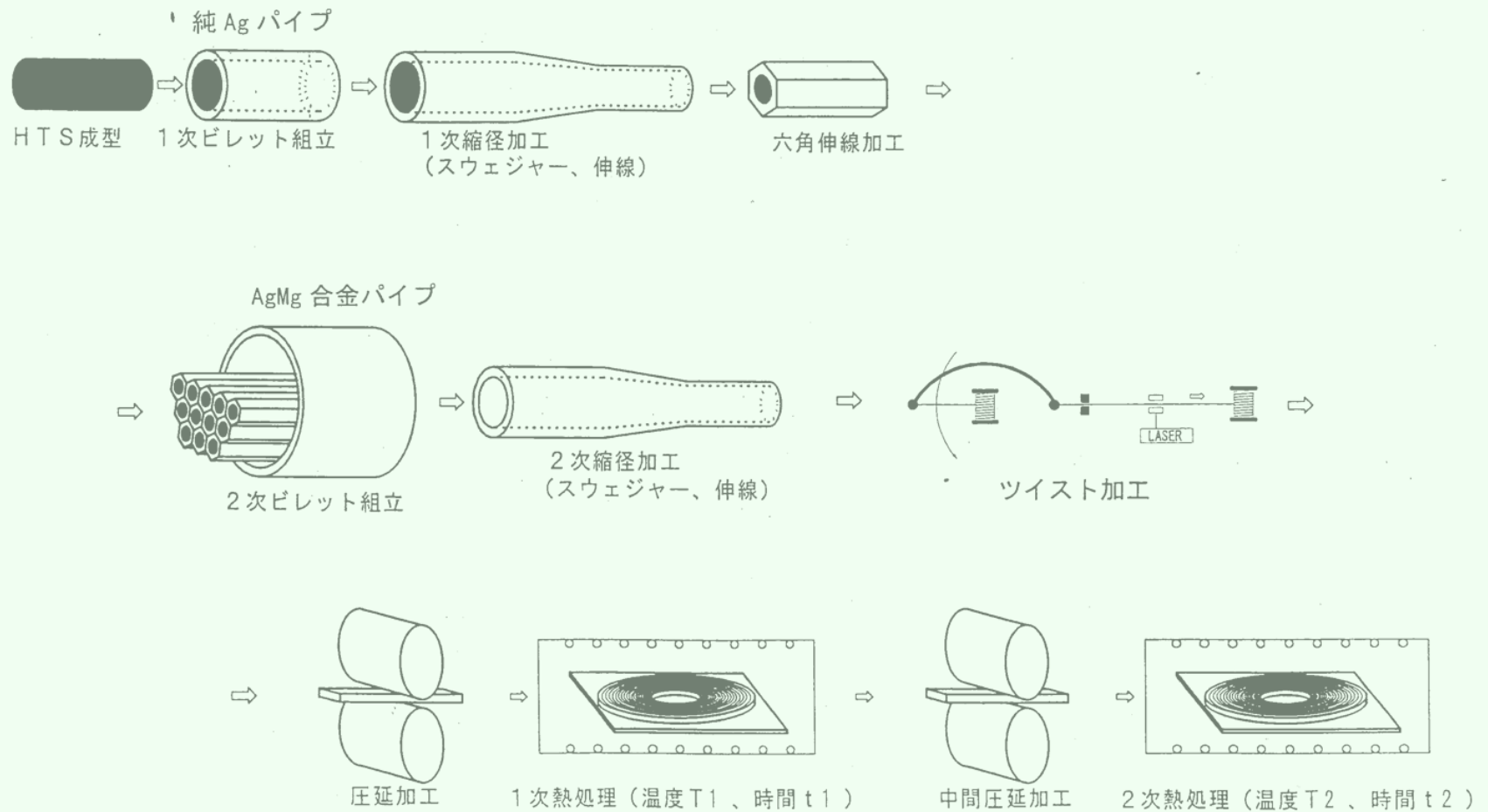
♠ パウダー・イン・チューブ（PIT）法

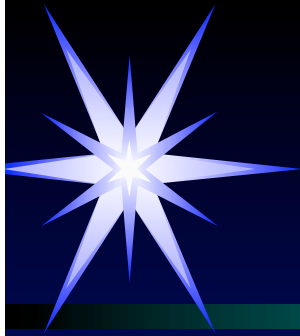
◆ 粉末を金属パイプに充填→焼結

♠ 二次元的な結晶構造を利用



AgMgシースツイスト線材の製造工程





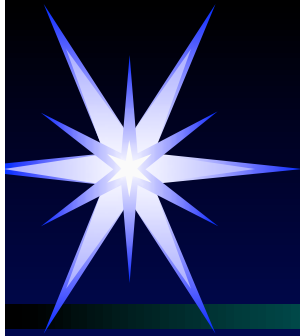
酸化物超伝導体の線材化II

🍏 第2世代の線材：Y系

♠ PIT法では特性が出ない（三次元的な結晶構造）

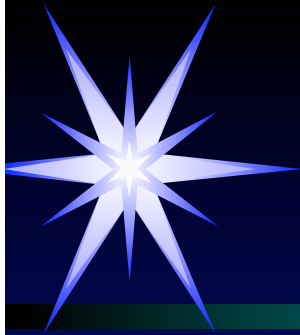
♠ 薄膜法の採用

◆ 長尺金属テープ上に超伝導薄膜を形成



YBa₂Cu₃O_{7-δ} 系線材の開発

- 🍏 長尺金属テープ上に成膜（可撓性） : Ni, Ag
- 🍏 二軸配向（面内配向）が必要
 - ♠ Bi 系は c 軸配向（一軸配向）のみ
 - ♠ 擬単結晶；エピタキシャル成長
- 🍏 PLD (pulsed laser deposition) 法
- 🍏 配向中間層の必要性
 - ♠ 基板金属の拡散防止
 - ♠ エピタキシャル成長のテンプレート



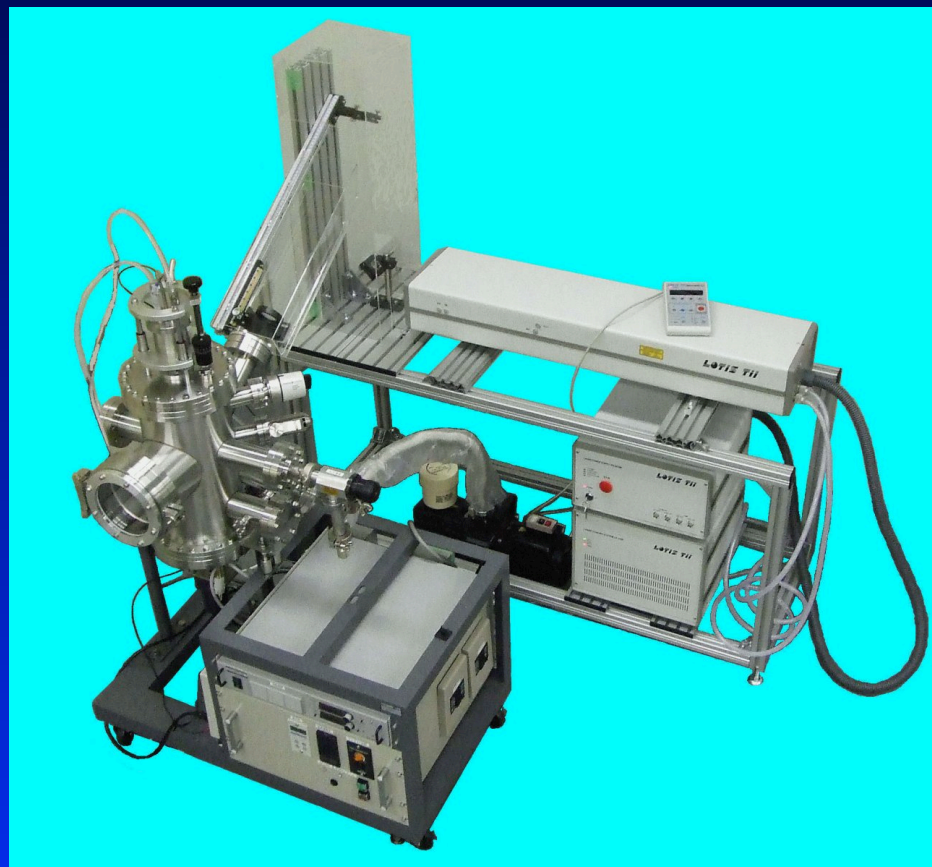
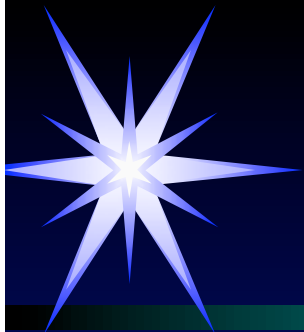
雰囲気制御電気炉



January 13, 2011



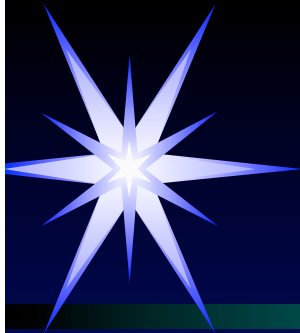
高知工科大学
KOCHI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



January 13, 2011



高知工科大学
KOCHI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



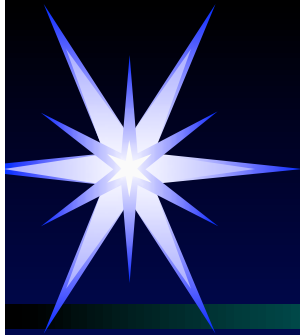
Nd:YAG レーザスパッタ装置



January 13, 2011



高知工科大学
KOCHI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



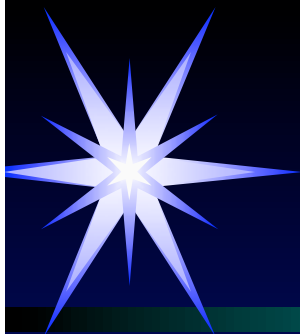
極点図用 X 線回折装置



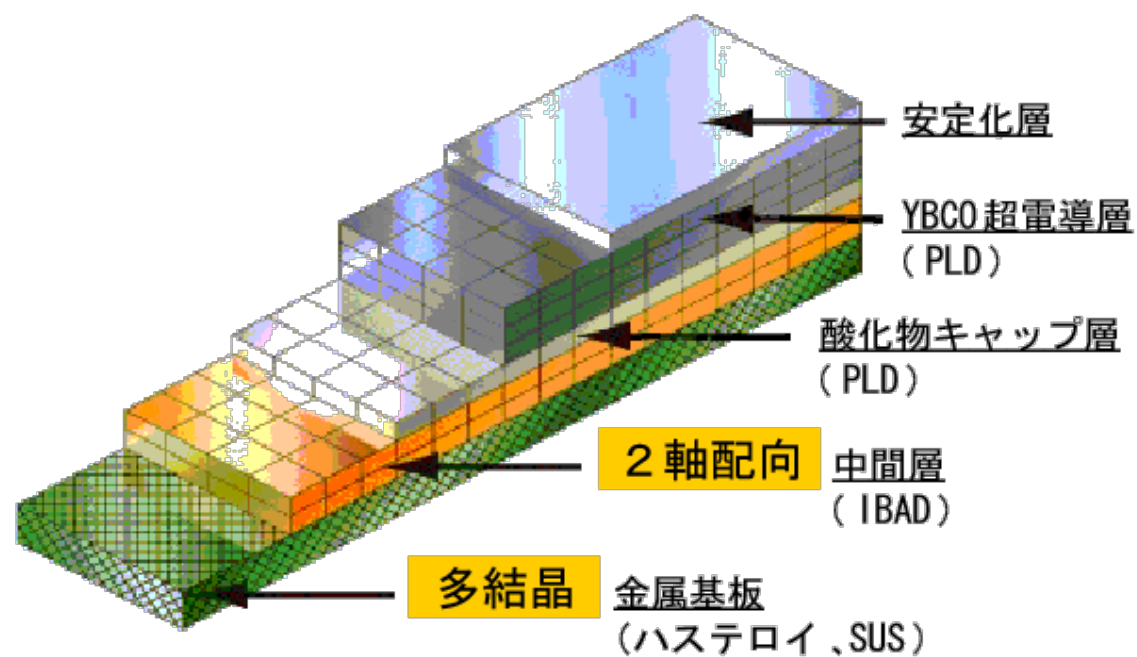
January 13, 2011

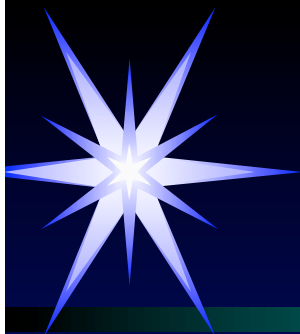


高知工科大学
KOCHI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

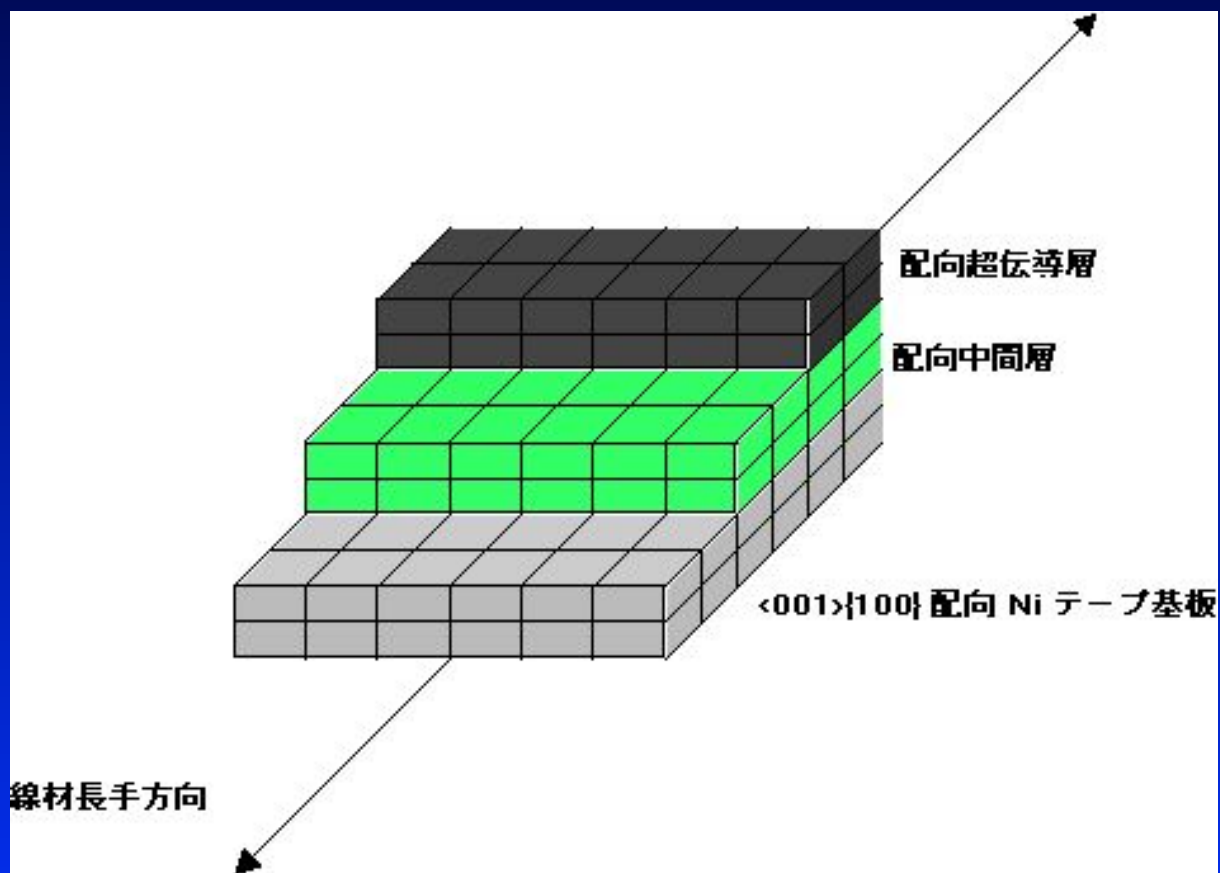


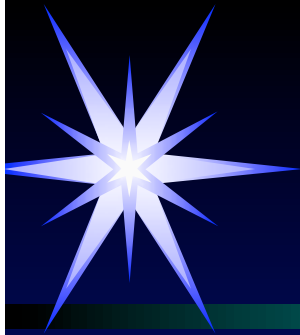
薄膜線材のイメージ (中間層配向制御型線材)



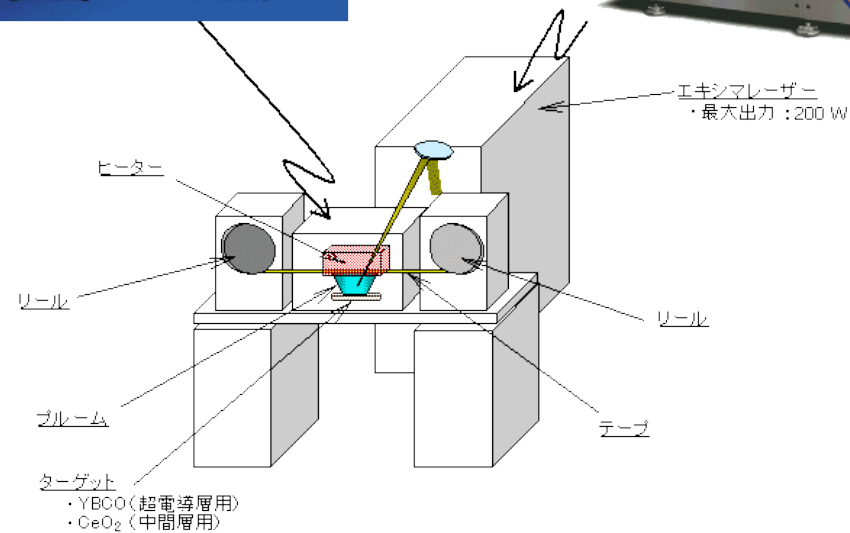


基板配向制御型線材

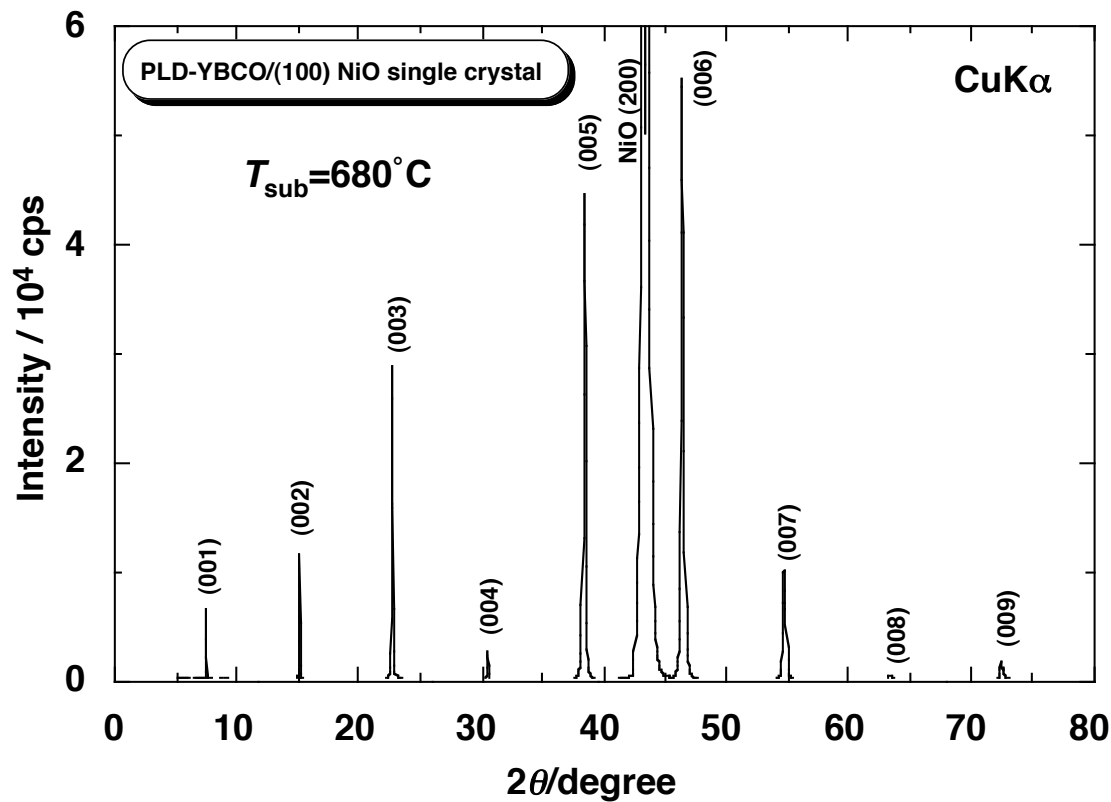




長尺 PLD 装置の概念図

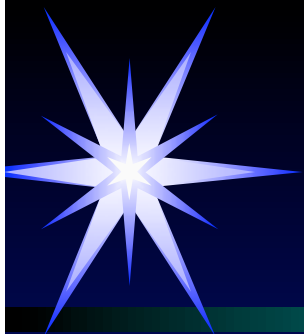


YBCO/NiO/Ni の X 線回折パターン

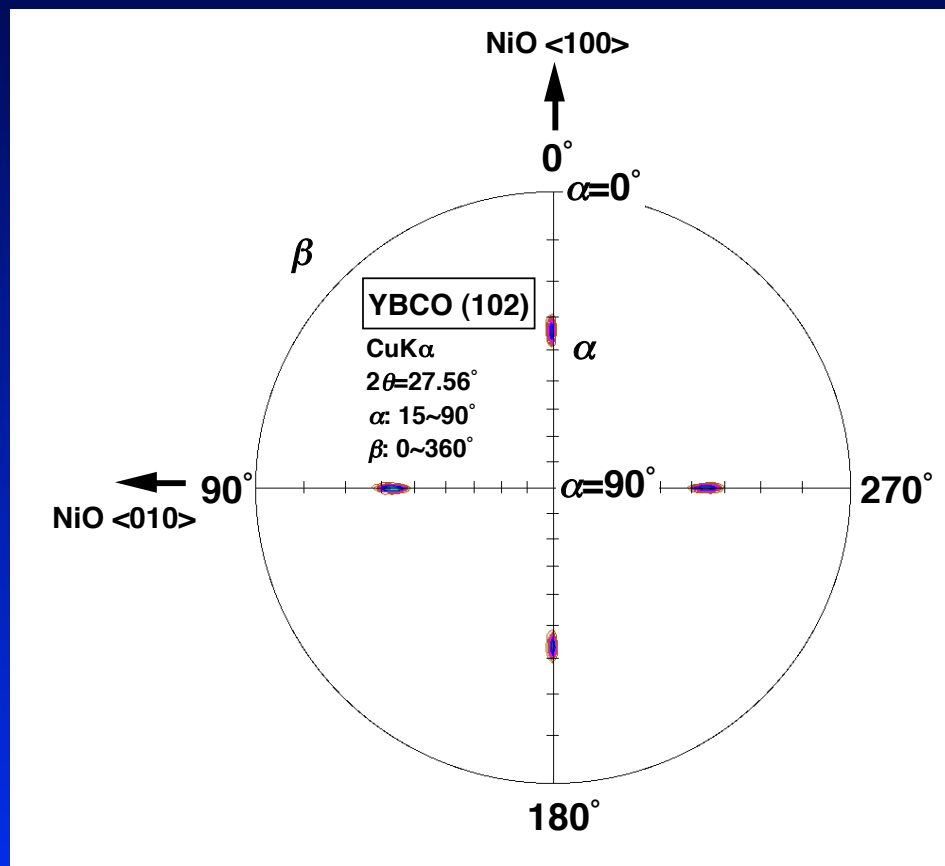


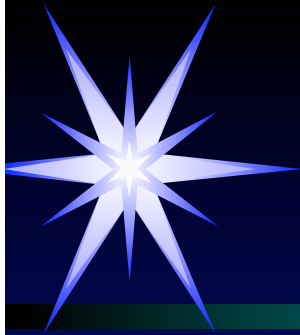
◆ NiO 単結晶基板

◆ 基板温度 $T_{\text{sub}} = 680^\circ\text{C}$

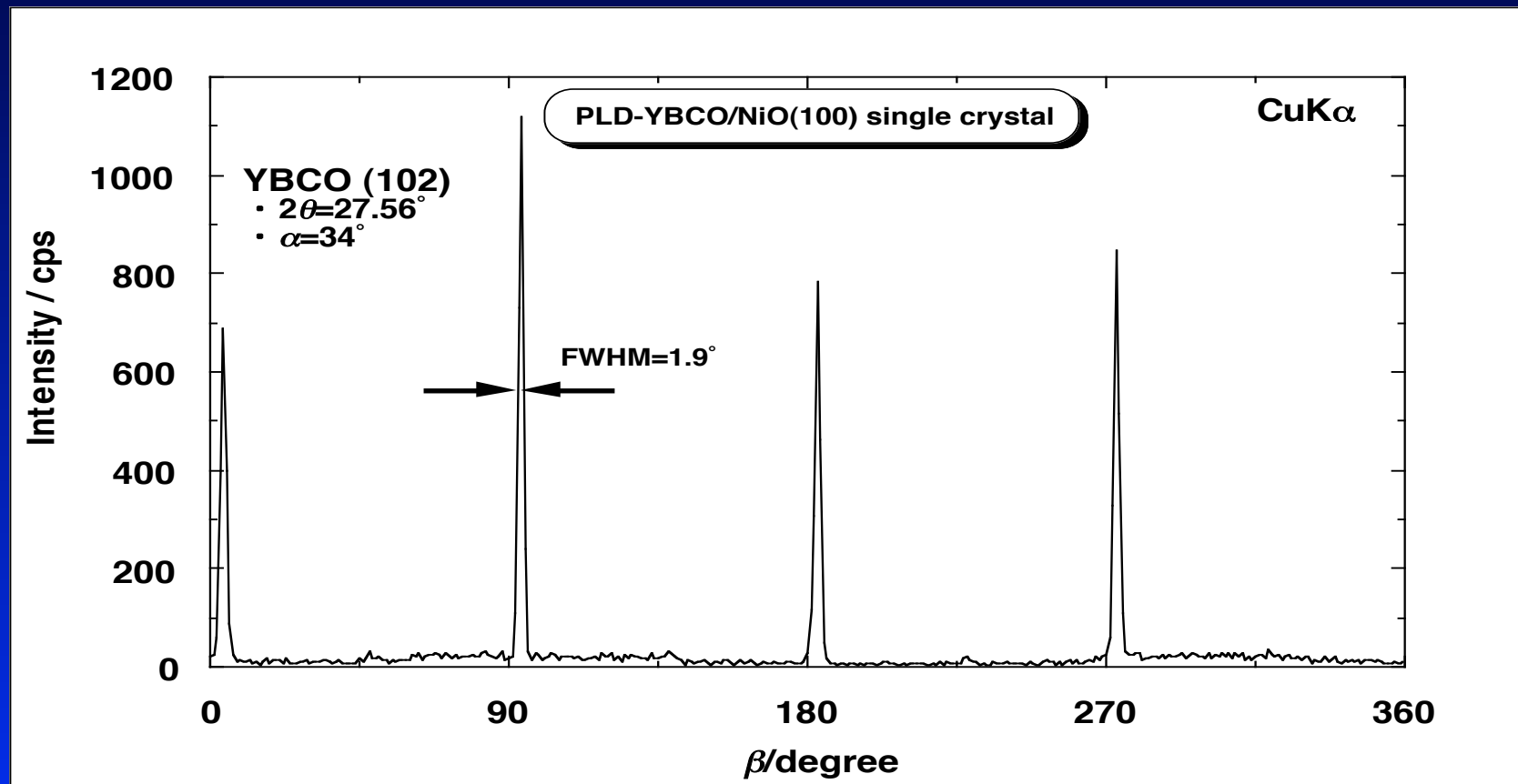


NiO 単結晶の (001) 面上に成膜した PLD-YBCO 膜の (102) 極点図

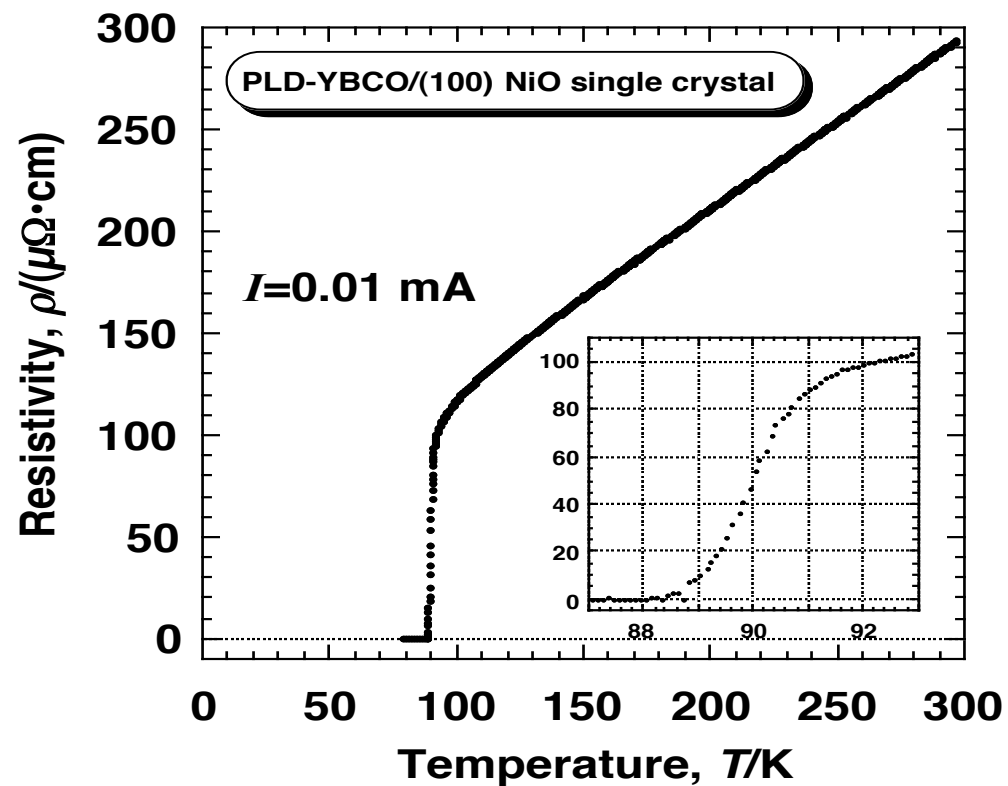


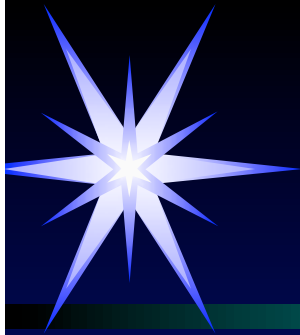


β -スキャンプロフィール

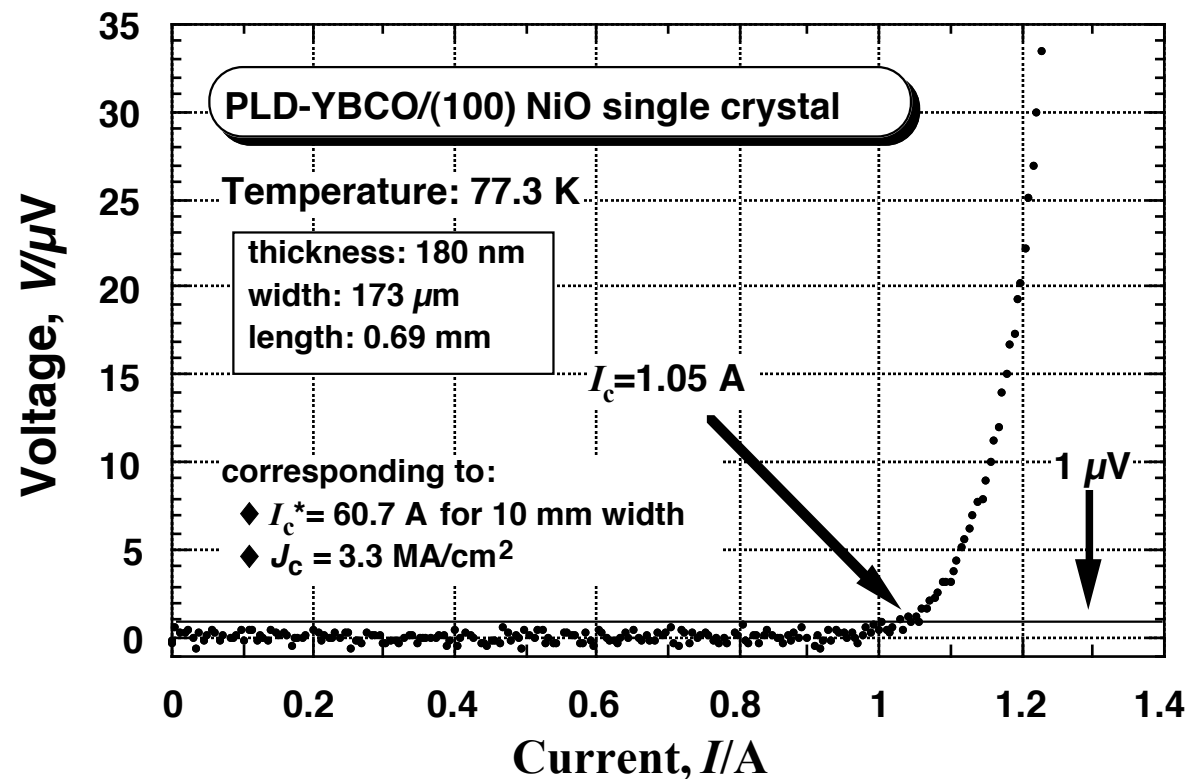


電気抵抗率の温度依存性



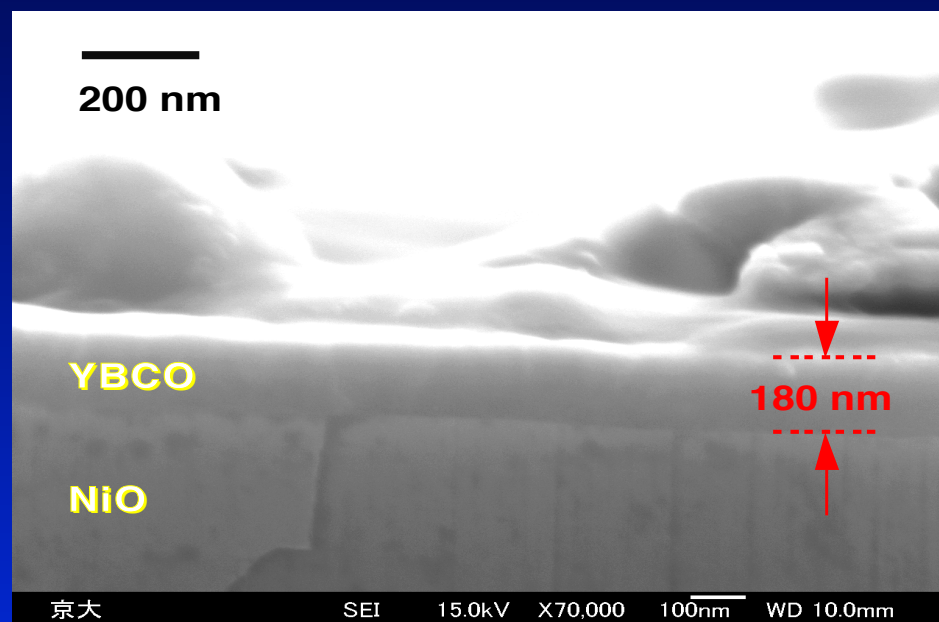
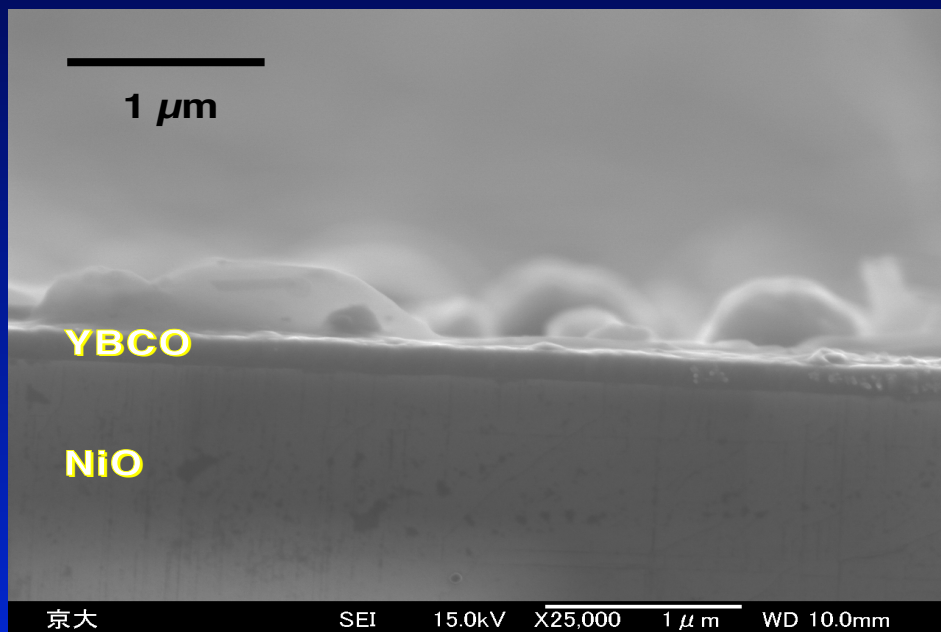


77 K における I - V 特性（臨界電流の測定）

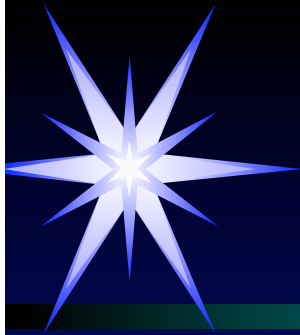




Cross sectional HRSEM images of fractured surface for PLD-YBCO/NiO structure



(taken by Kyoto Univ.)



TEM image of interface structure of PLD-YBCO/(100) NiO single crystal

