

# 高温超伝導 ~夢の実現~

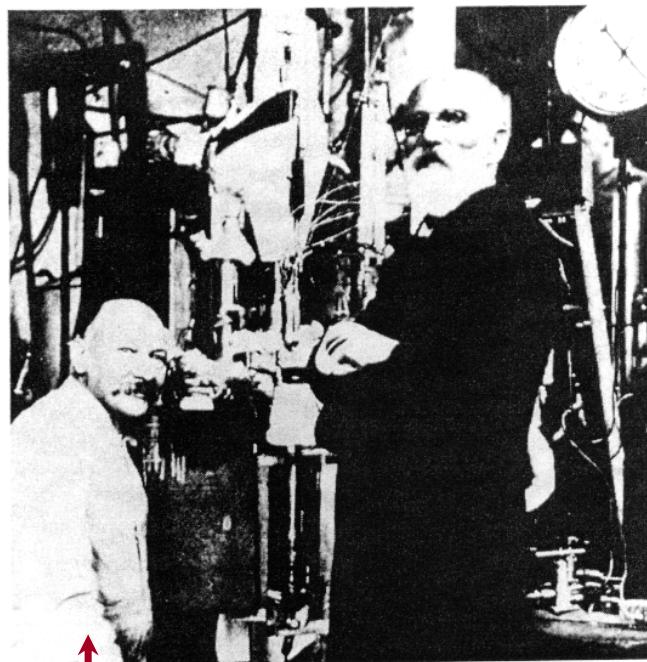
田島 節子  
大阪大学名誉教授

## 目次

1. 超伝導とは
2. 高温超伝導発見を目指して
3. 銅酸化物高温超伝導体の性質の特徴
4. 超伝導体の実用化

# 1. 超伝導とは

# Kamerlingh Onnesによる発見 (1911年)

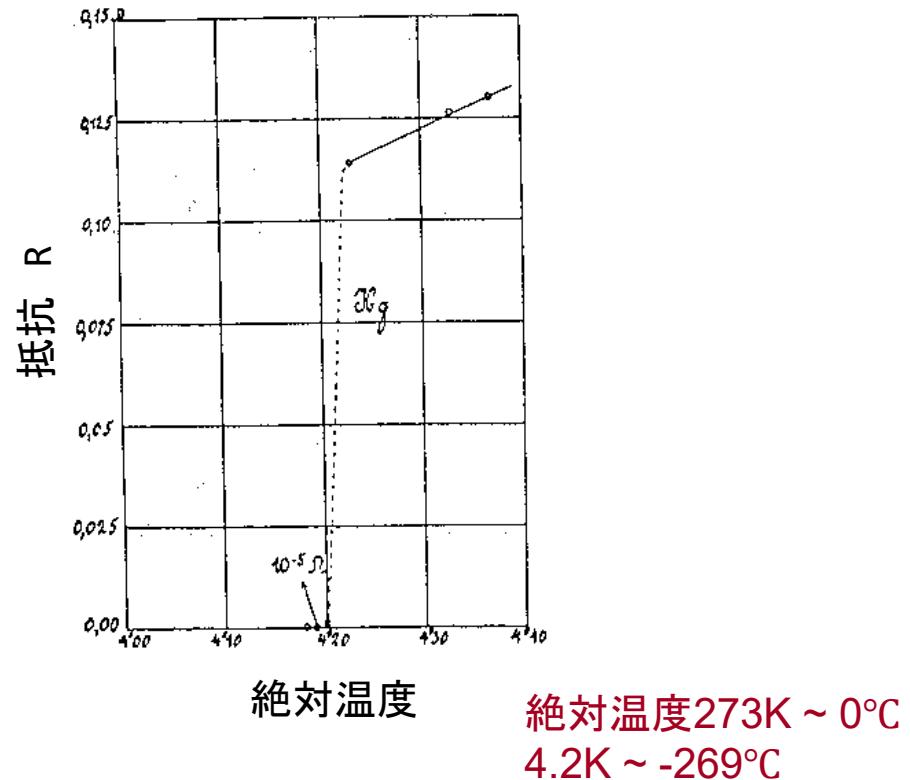


この人

1909年 Heの液化に成功

ライデン大学の低温物理学研究所（当時）で  
気体の熱力学的な状態  
を研究したファン・デル・ワールス（右）と  
カメリング＝オンネス（左）  
カメリング＝オン  
ネス研究所提供

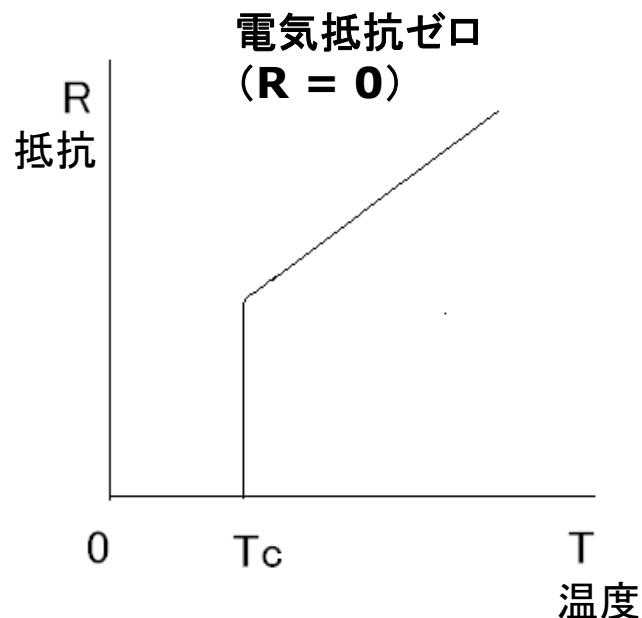
水銀の電気抵抗が4.2K付近  
で突然低下



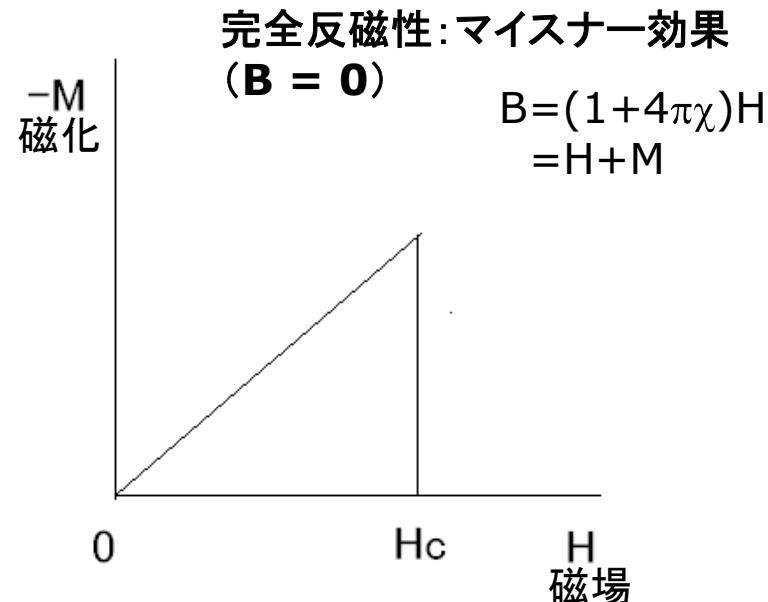
# 超伝導とは・・・

$$V = I \cdot R$$

オームの法則

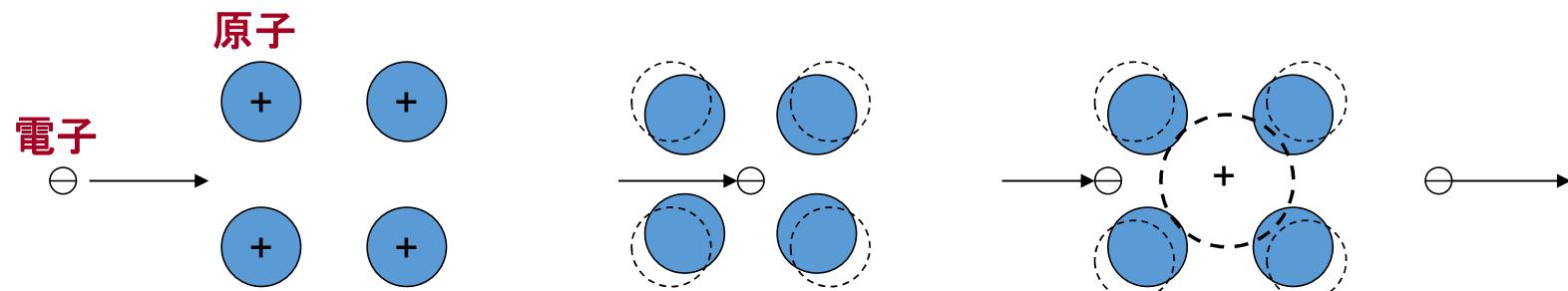


- オームの法則が成立しない**極低温**の現象
- 温度を下げる**相転移**によって超伝導になる。
- 金属の性質の一つ
- 電子が対になって(位相をそろえて)運動する。



→ 熱を発生せずに電気が流れる。エネルギー損失がない。→ エネルギー革命！

# 電子間に引力が働く仕組み



正に帯電した原子の配列した  
ところに負の電荷を持つ電子  
がやってくる。

電子が原子をひきつけ、  
原子が平衡位置からずれる。

電子の速度が原子の動きより  
ずっと速いため、電子が通りすぎた  
後も原子の位置はずれたままに  
なっている。それによってできた  
正に帯電した領域に次の電子  
が引き寄せられる。

Bardeen, Cooper, Schrieffer (BCS)のモデル  
1957年

BCS理論による転移温度 $T_c$ の記述  
 $T_c \sim \hbar \omega_D e^{-1/N(0)V}$

軽い元素ほど  
 $T_c$ が高い。

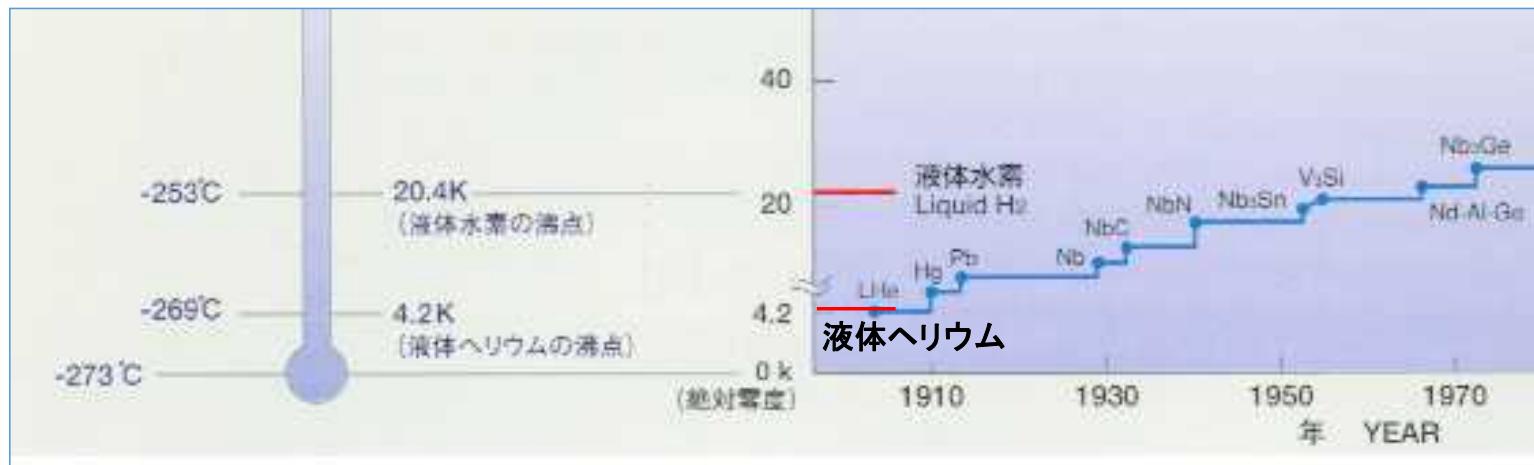
同位体効果によって検証

$\omega_D^2 \sim 1/m$   
(重い原子はゆっくり振動する)

# 超伝導体発見の歴史

## 単一元素の金属から金属間化合物へ

液体酸素 90K  
液体窒素 77K



Nb<sub>3</sub>Ge (T<sub>c</sub>=23K) で頭打ち

新しいメカニズムによる超伝導  
の理論的予言

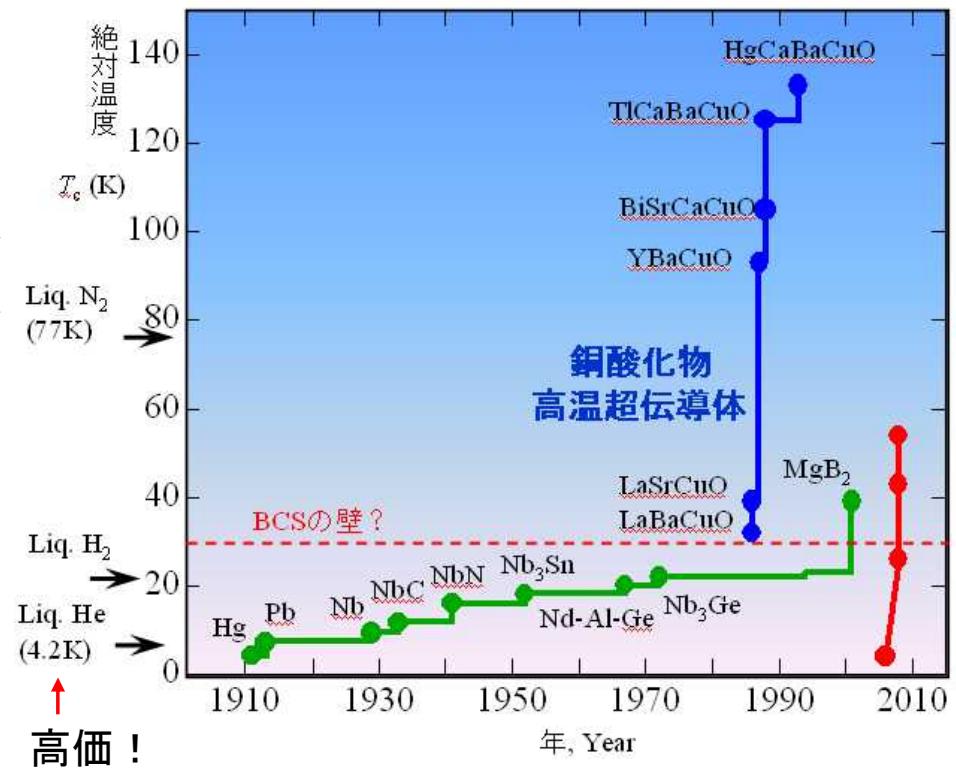
→ Non-BCS超伝導体への夢

USO (Unidentified Superconducting Object) の出現

## 2. 高温超伝導発見を目指して

# 高温超伝導発見(1986年)

液体窒素  
温度を越  
えた！



鉄化合物  
超伝導体

SmFeAs(O,F)

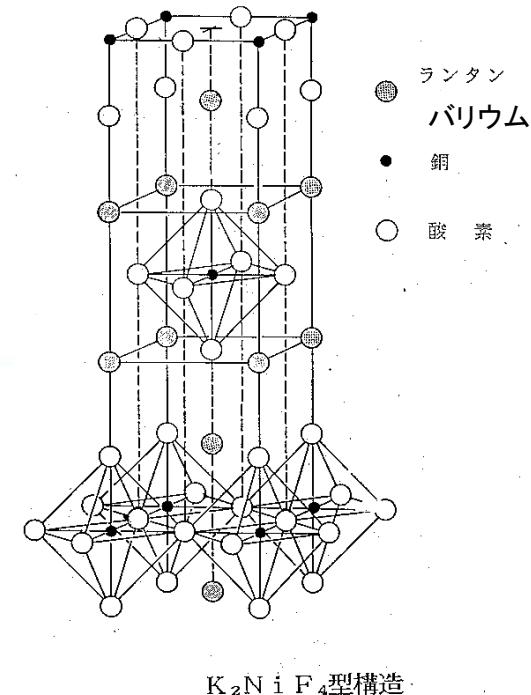
LaFeAs(O,F)

4GPa

LaFeAs(O,F)

LaFePO

$(La, Ba)_2 CuO_4$



セラミックスが金属、しかも超伝導

## “高温超伝導の可能性”という論文

### Possible High $T_c$ Superconductivity in the Ba - La - Cu - O System

J.G. Bednorz and K.A. Müller  
IBM Zürich Research Laboratory, Rüschlikon, Switzerland

Received April 17, 1986

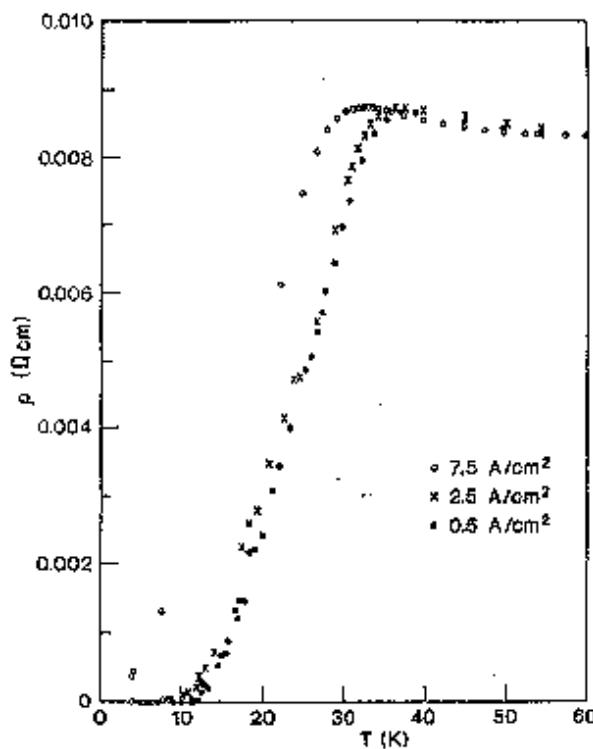


Fig. 3. Low-temperature resistivity of a sample with  $x(\text{Ba})=0$   
recorded for different current densities

日本では  
大学4年生が卒業研究  
で超伝導であること確認

# 超伝導フィーバー

中国科学技術院の発見  
1986年12月26日

## 中科院发现新型超导材料 轉變溫度之高為前所未見

新华社北京十二月二十六日电 (记者  
张遵民、通訊員黃興弟) 中国科学院物理  
研究所科技人员最近在實驗時，偶然發現  
了一種在超對溫度七十度時具有超導電性的  
多相性金屬氧化物，這是迄今國際上發  
現的溫度最高的新型超導材料。

超導電性是指物體在非常冷狀態下，  
電阻完全消失時的特性。物體從有電阻開始  
成為無電阻時的溫度稱為超導轉變溫度，  
這個溫度在科學上用絕對溫度來表示，  
它的零度相當於零下二百七十三攝氏度。  
一般來說，超導體的轉變溫度越高，它的  
實用價值越大。早在一九一一年，荷蘭科  
學家首次發現水銀超導轉變溫度為四度以  
來，到現在工業生產及科研中應用的超導  
材料如鉍三鈷，它的超導轉變溫度僅為十  
八度。對比國外最近發現的超導轉變溫度  
為三十七度的新材料，我國科研人員的這一  
發現，顯然處於國際領先水平。

有關研究人員介紹說，這種多相性金  
屬氧化物，由銀、錫、鉍、氧等元素組成。  
他們推測，這種材料的超導電性機制，可  
能起源於某些固體的渦流特性。據悉，低  
溫超導材料研究是當今世界上一門新興科  
學技術，各國科學家都在競相研製。因為  
他們知道若獲得超導轉變溫度高的材料，  
將會大大促進尖端科學技術的發展。

## 周期表での探索

周期表																	
元素周期表																	
元素周期表																	
H																	<sup>3</sup> He
<sup>1</sup> H																	<sup>1</sup> H
<sup>3</sup> Li	<sup>4</sup> Be																<sup>2</sup> He
<sup>7</sup> Na	<sup>8</sup> Mg																<sup>1</sup> He
<sup>19</sup> K	<sup>20</sup> Ca	<sup>21</sup> Sc	<sup>22</sup> Ti	<sup>23</sup> V	<sup>24</sup> Cr	<sup>25</sup> Mn	<sup>26</sup> Fe	<sup>27</sup> Co	<sup>28</sup> Ni	<sup>29</sup> Cu	<sup>30</sup> Zn	<sup>31</sup> Ga	<sup>32</sup> Ge	<sup>33</sup> As	<sup>34</sup> Se	<sup>35</sup> Br	<sup>36</sup> Kr
<sup>37</sup> Rb	<sup>38</sup> Sr	<sup>39</sup> Y	<sup>40</sup> Zr	<sup>41</sup> Nb	<sup>42</sup> Mo	<sup>43</sup> Tc	<sup>44</sup> Ru	<sup>45</sup> Rh	<sup>46</sup> Pd	<sup>47</sup> Ag	<sup>48</sup> Cd	<sup>49</sup> In	<sup>50</sup> Sn	<sup>51</sup> Sb	<sup>52</sup> Te	<sup>53</sup> I	<sup>54</sup> Xe
<sup>55</sup> Cs	<sup>56</sup> Ba	<sup>57</sup> La	<sup>72</sup> Hf	<sup>73</sup> Ta	<sup>74</sup> W	<sup>75</sup> Re	<sup>76</sup> Os	<sup>77</sup> Ir	<sup>78</sup> Pt	<sup>79</sup> Au	<sup>80</sup> Hg	<sup>81</sup> Tl	<sup>82</sup> Pb	<sup>83</sup> Bi	<sup>84</sup> Po	<sup>85</sup> At	<sup>86</sup> Rn
<sup>87</sup> Fr	<sup>88</sup> Ra	<sup>89</sup> Ac	<sup>90</sup> Th	<sup>91</sup> Pa	<sup>92</sup> U	<sup>93</sup> Np	<sup>94</sup> Pu	<sup>95</sup> Am	<sup>96</sup> Cm	<sup>97</sup> Bk	<sup>98</sup> Cf	<sup>99</sup> Es	<sup>100</sup> Fm	<sup>101</sup> Md	<sup>102</sup> No	<sup>103</sup> Lr	
f電子遷移元素																	

$$T_c = 30K \rightarrow 40K \rightarrow 90K \rightarrow \dots$$



## 漢字元素周期表

<sup>1</sup> H																			<sup>2</sup> He
氢																			氦
<sub>3</sub> Li	<sub>4</sub> Be																		
锂	铍																		
<sub>11</sub> Na	<sub>12</sub> Mg																		
钠	镁																		
<sub>19</sub> K	<sub>20</sub> Ca	<sub>21</sub> Sc	<sub>22</sub> Ti	<sub>23</sub> V	<sub>24</sub> Cr	<sub>25</sub> Mn	<sub>26</sub> Fe	<sub>27</sub> Co	<sub>28</sub> Ni	<sub>29</sub> Cu	<sub>30</sub> Zn	<sub>31</sub> Ga	<sub>32</sub> Ge	<sub>33</sub> As	<sub>34</sub> Se	<sub>35</sub> Br	<sub>36</sub> Kr		
钾	钙	钪	钛	钒	铬	锰	铁	钴	镍	铜	锌	镓	锗	砷	硒	溴	氪		
<sub>37</sub> Rb	<sub>38</sub> Sr	<sub>39</sub> Y	<sub>40</sub> Zr	<sub>41</sub> Nb	<sub>42</sub> Mo	<sub>43</sub> Tc	<sub>44</sub> Ru	<sub>45</sub> Rh	<sub>46</sub> Pd	<sub>47</sub> Ag	<sub>48</sub> Cd	<sub>49</sub> In	<sub>50</sub> Sn	<sub>51</sub> Sb	<sub>52</sub> Te	<sub>53</sub> I	<sub>54</sub> Xe		
铷	锶	钇	锆	铌	钼	锝	钌	铑	钯	银	镉	铟	锡	锑	碲	碘	氙		
<sub>55</sub> Cs	<sub>56</sub> Ba	lanthanoid	<sub>72</sub> Hf	<sub>73</sub> Ta	<sub>74</sub> W	<sub>75</sub> Re	<sub>76</sub> Os	<sub>77</sub> Ir	<sub>78</sub> Pt	<sub>79</sub> Au	<sub>80</sub> Hg	<sub>81</sub> Tl	<sub>82</sub> Pb	<sub>83</sub> Bi	<sub>84</sub> Po	<sub>85</sub> At	<sub>86</sub> Rn		
铯	钡		铪	钽	钨	铼	锇	铱	铂	金	汞	铊	铅	铋	钋	砹	氡		
<sub>87</sub> Fr	<sub>88</sub> Ra	actinoid	<sub>104</sub> Rf	<sub>105</sub> Db	<sub>106</sub> Sg	<sub>107</sub> Bh	<sub>108</sub> Hs	<sub>109</sub> Mt	<sub>110</sub> Uun	<sub>111</sub> Uuu	<sub>112</sub> Uub			<sub>114</sub> Uuq			<sub>116</sub> Uuh		
钫	镭		𬬻	𬭊	𬭳														

# フィーバーのフィナーレ

1987年

発見からわずか1年後に

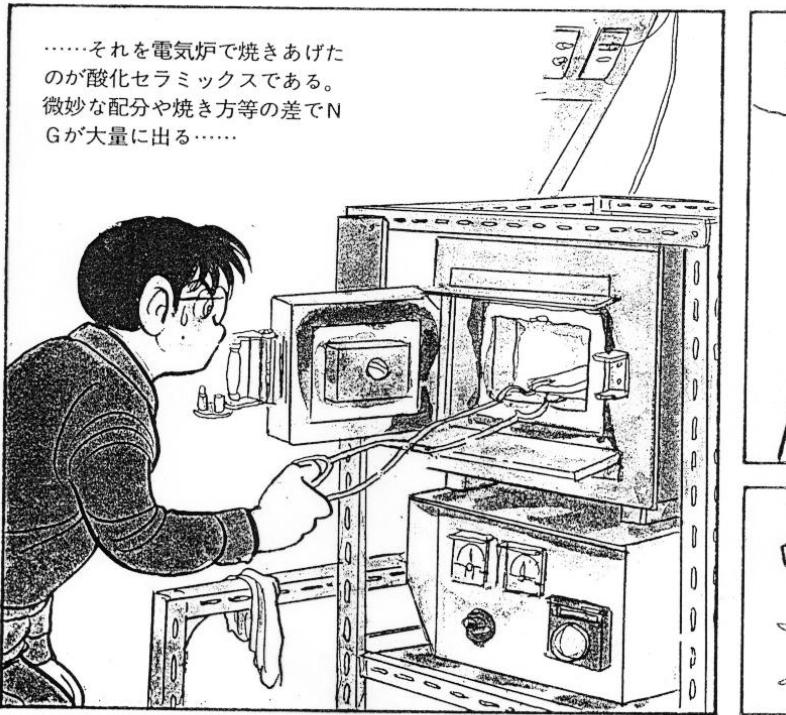
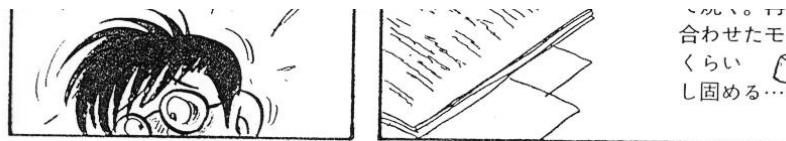
**Bednorz & Müller** ノーベル賞授賞

**最速記録！**

日本では、財団法人国際超電導産業  
技術研究センター設立(1988年)

**物性物理学の苦難の始まり…**

**なぜこのような高温で超伝導に  
なるのか？？**



\*セラミックス：高温で焼いて作った非金属の無機質固体材料をいう。昔からの原料は粘土  
ケイ石、長石で、ガラス、陶磁器、セメントなどがセラミックスの例であった。現在では  
導電性のある金属のようなものなど新しいものが次々と開発されている。

# 新しいタイプの超伝導体が続々発見

## 日本人の“得意分野”

新物質 続々…

$C_{60}$  (サッカーボール超伝導体)  $T_c = 30K$

超伝導ダイヤモンド

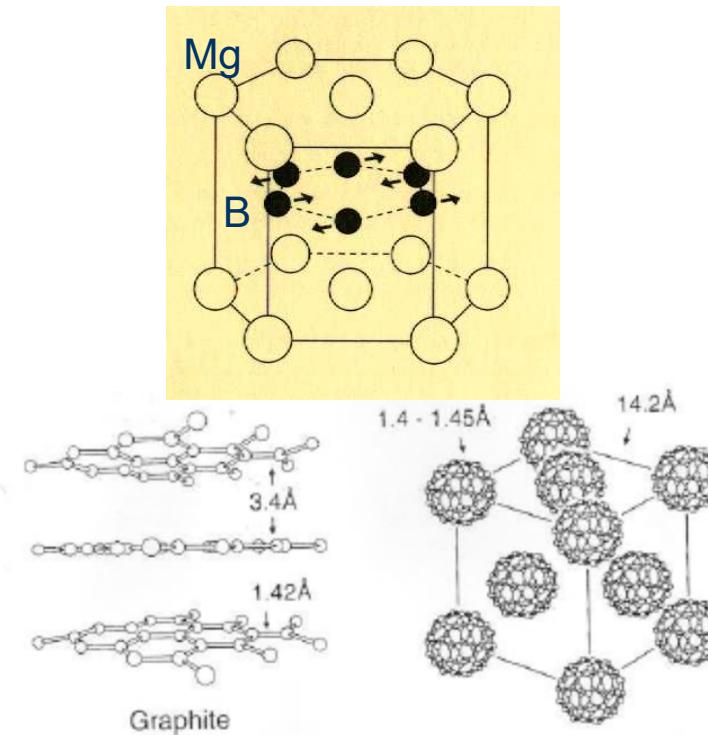
水を吸わせたコバルト酸化物

有機超伝導体

鉄の超伝導、LiやCaの超伝導 (高圧下)

$MgB_2$   $T_c = 39K$

大学4年生の発見

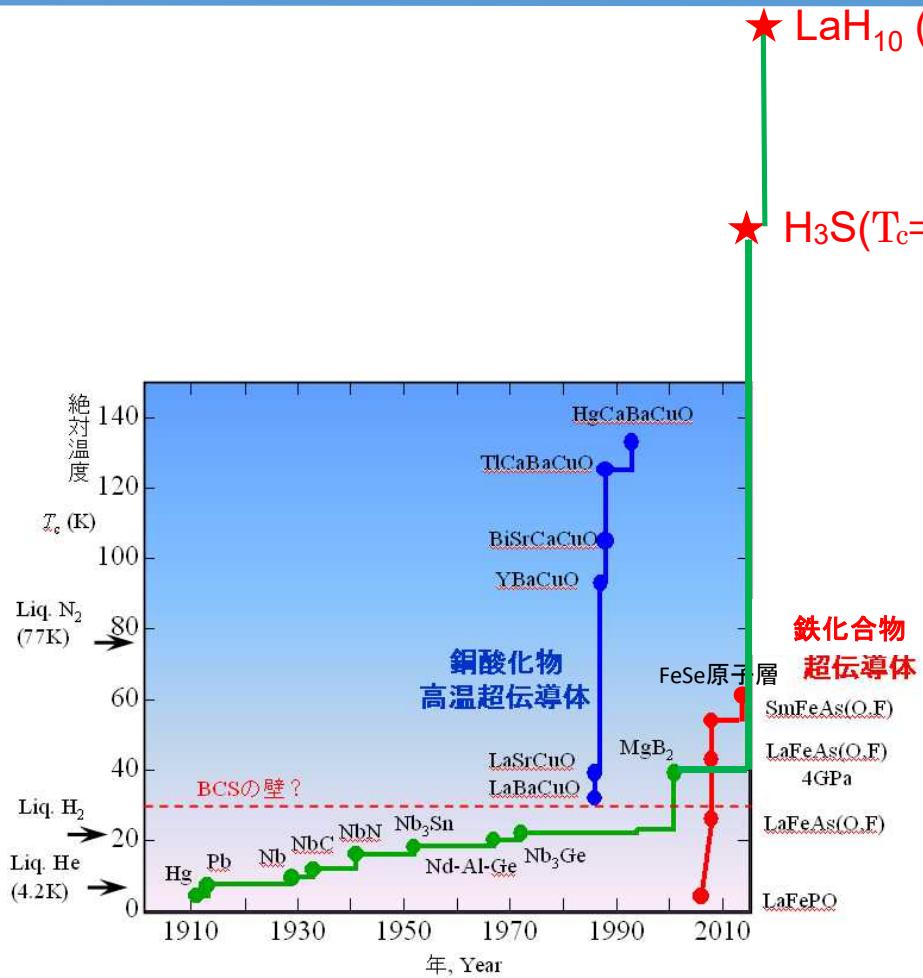


2008年2月 東京工業大学細野グループによる

$LaFeAs(O,F)$ 超伝導体の発見 (published in JACS)

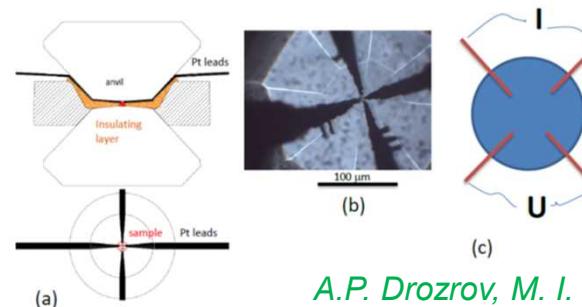
2008年の全世界で出版された科学論文の中で引用件数 No.1 !

# 水素化合物の250K超伝導！



★  $\text{LaH}_{10}$  ( $T_c=250\text{K}$ ,  $P=150\text{GPa}$ )

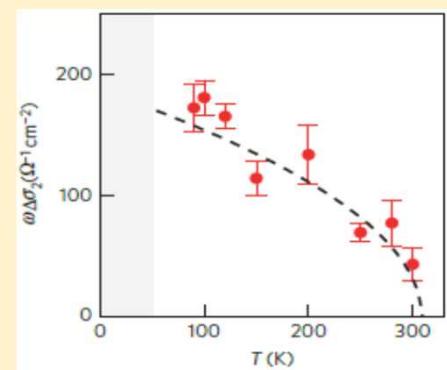
★  $\text{H}_3\text{S}$  ( $T_c=190\text{K}$ ,  $P=170\text{GPa}$ )



A.P. Drozrov, M. I. Eremets et al.,  
Max-Planck Institute, Mainz, 2015.

テラヘルツ波のパルス  
照射で瞬間超伝導？

W. Hu et al., Nature Materials  
13. 705 (2014).



## その他の新超伝導体

---

### Ni酸化物超伝導体

$(\text{Nd},\text{Sr})\text{NiO}_2$   $T_c=15\text{K}$  *D. Li et al., Nature 572, 624 (2019).*

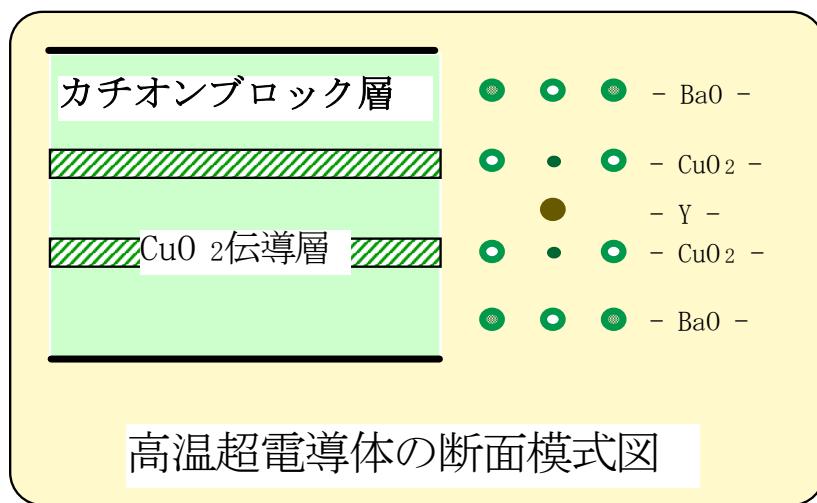
- $3d^9$ の状態にホールドープで超伝導に
- $d_{x^2-y^2}$ 軌道が中心  $\rightarrow d$ 波超伝導
- Ndの5d軌道との混成軌道もフェルミ面を作る  $\rightarrow$ 母物質が金属(モット絶縁体ではない)
- 酸素2p軌道との混成が、銅酸化物より弱い (Ni dエネルギー準位と酸素2pとの差が大きい)

$\text{La}_3\text{Ni}_2\text{O}_7$   $T_c\sim 80\text{K}$  (@14GPa) *H. Sun et al., Nature 621, 493 (2023).*

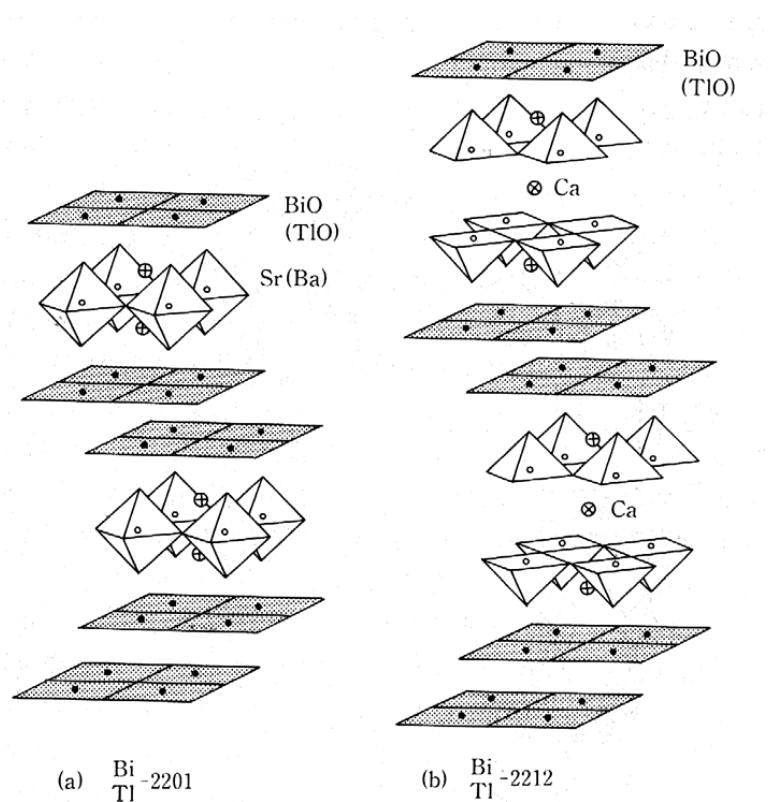
### 3. 銅酸化物高温超伝導の性質

# 銅酸化物高温超伝導体の結晶構造

## 層状ペロブスカイト構造

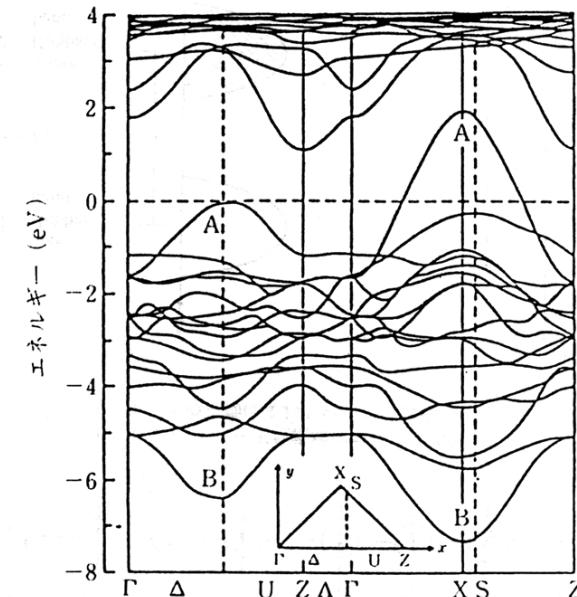
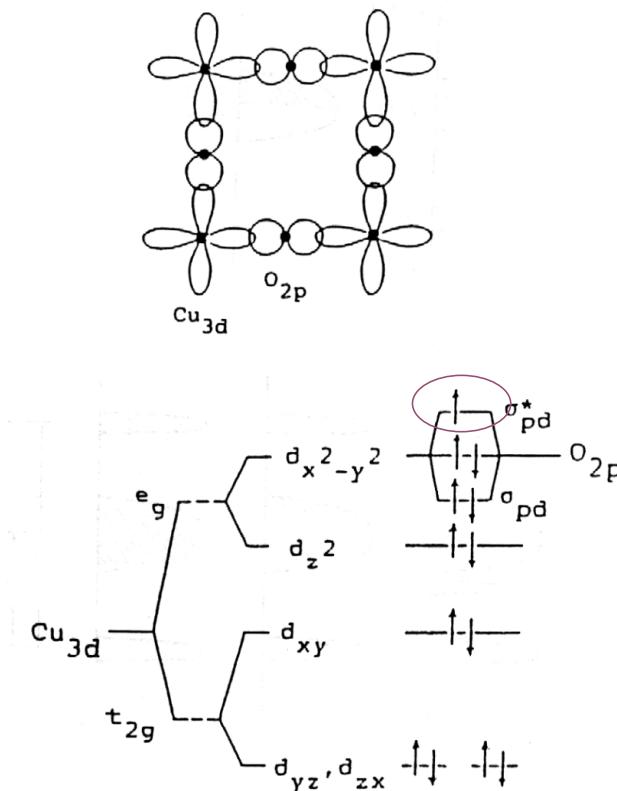


- CuO<sub>2</sub> 平面とカチオンブロック層が交互に積み重なっている。
- キャリアは、ブロック層から供給され、層間はイオン結合的。
- 構造によって  $T_c(\text{max}) = 20\text{K} \sim 135\text{K}$ !



# 電子状態の概要 — 電子構造

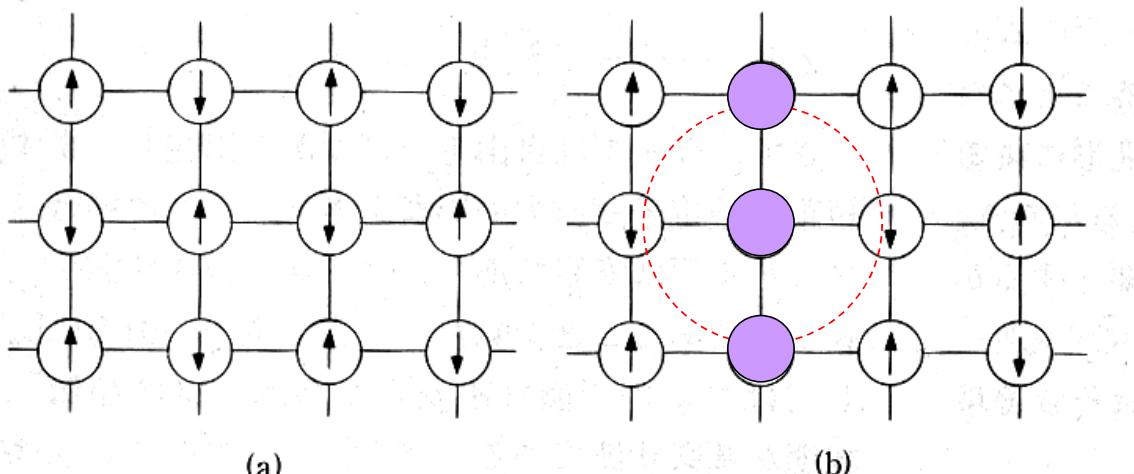
Cu  $3d_{x^2-y^2}$ 軌道とO  $2p_{xy}$ 軌道が伝導の中心



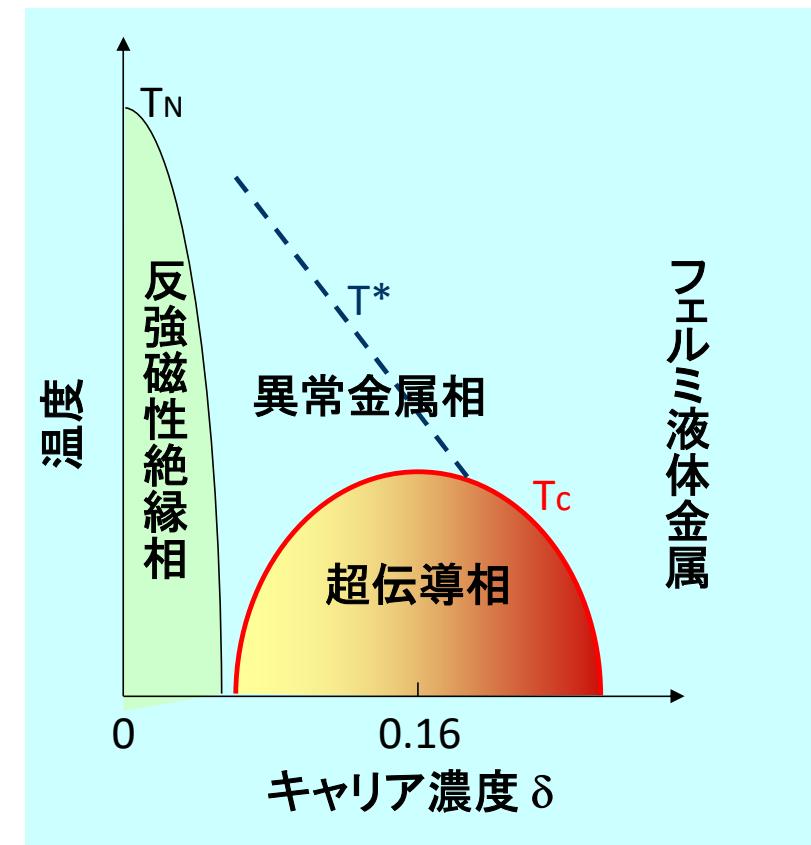
$\text{La}_2\text{CuO}_4$ のバンド

# 常伝導電子状態及び電子相図

出発物質は、モット絶縁体

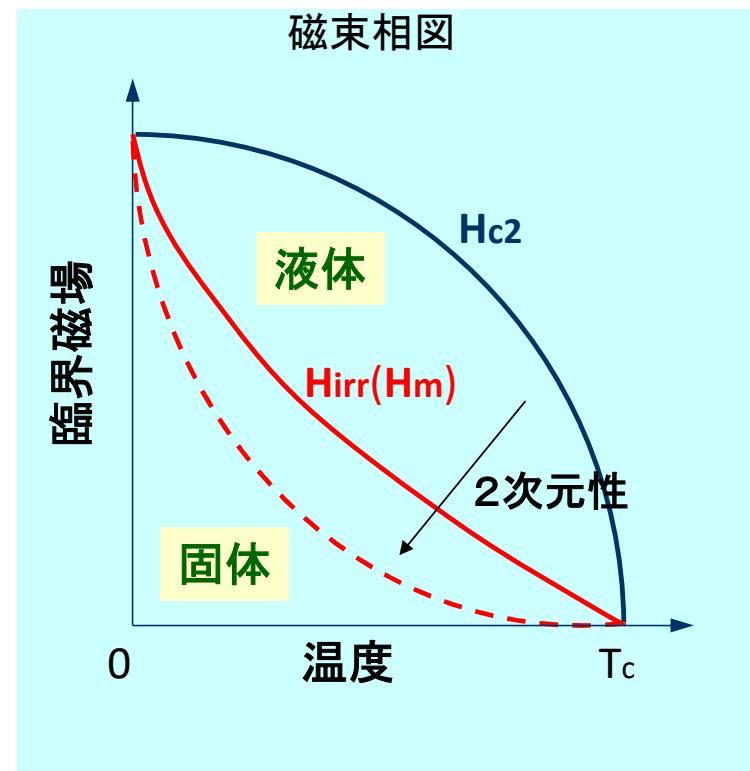
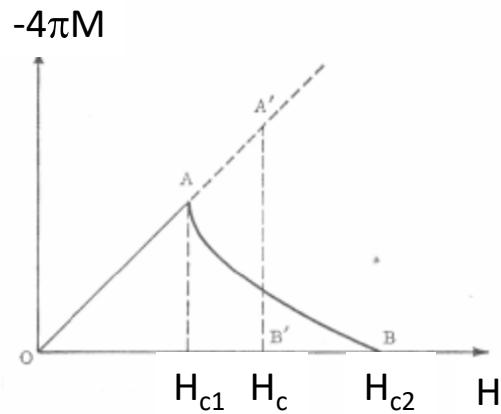
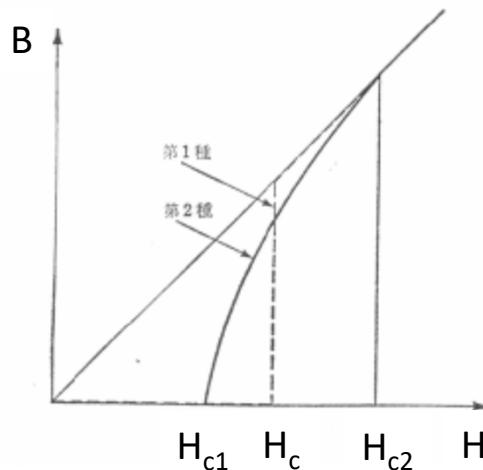


- 強相関電子系
- 擬ギャップ(絶縁性と金属性のせめぎあい)
- 電荷密度波、電荷とスピンの縞状秩序…



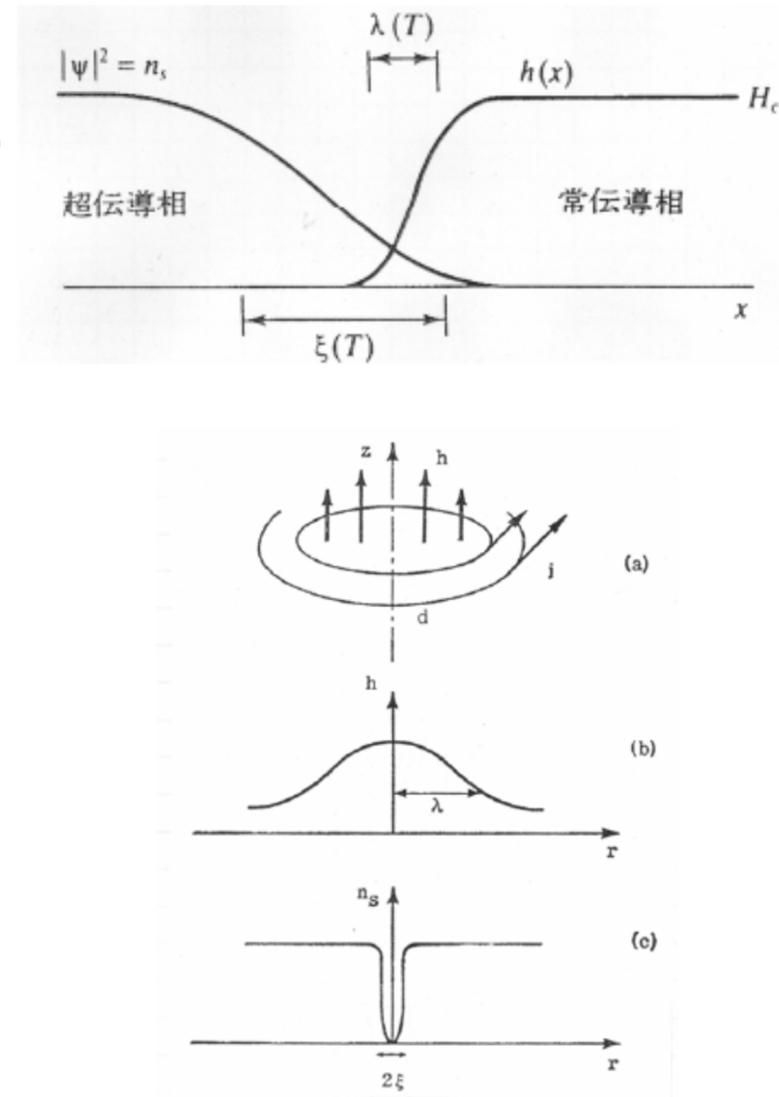
# 超伝導体を利用する観点からの いくつかの重要な物理量

- 臨界温度  $T_c$
- 臨界磁場  $H_c$  (熱力学的臨界磁場)  
第2種超伝導体:  $H_{c1}$ ,  $H_{c2} (\sim 1/\xi)$ ,  $H_{\text{irr}}$
- 臨界電流  $J_c$



# いくつかの重要な物理量

- 超伝導エネルギーギャップ  $\Delta (\sim T_c)$
- 磁場侵入長  $\lambda_L (\lambda_L^{-2} \sim \omega_{ps}^2 \sim n_s)$
- 超伝導相関長  $\xi (\sim v_F/\Delta)$  磁束線の半径
- 第1種超伝導体  $\lambda_L \ll \xi$
- 第2種超伝導体  $\lambda_L \gg \xi$
- $H_{c2} \sim 1/\xi$



# ケタ違いに大きい臨界磁場

第二臨界磁場は実験で決められないくらい大きい。

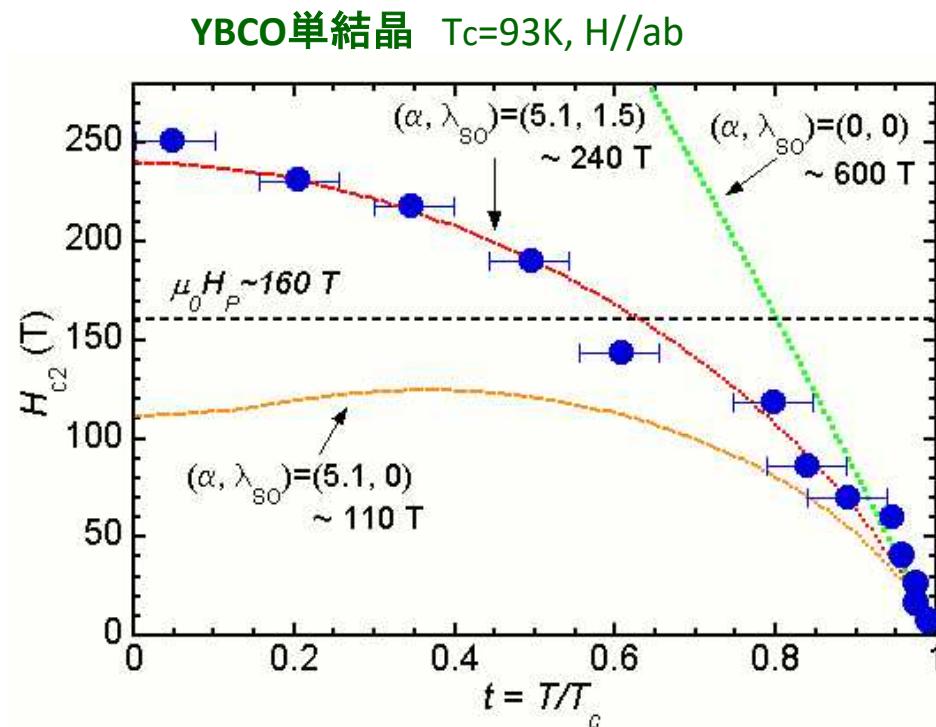
$T_c$ が高ければ $H_{c2}$ も大きい。

$$H_{c2} \sim \xi^{-1}$$
$$\xi^{-1} \sim \Delta \sim T_c$$

最適ドープYBCOの場合

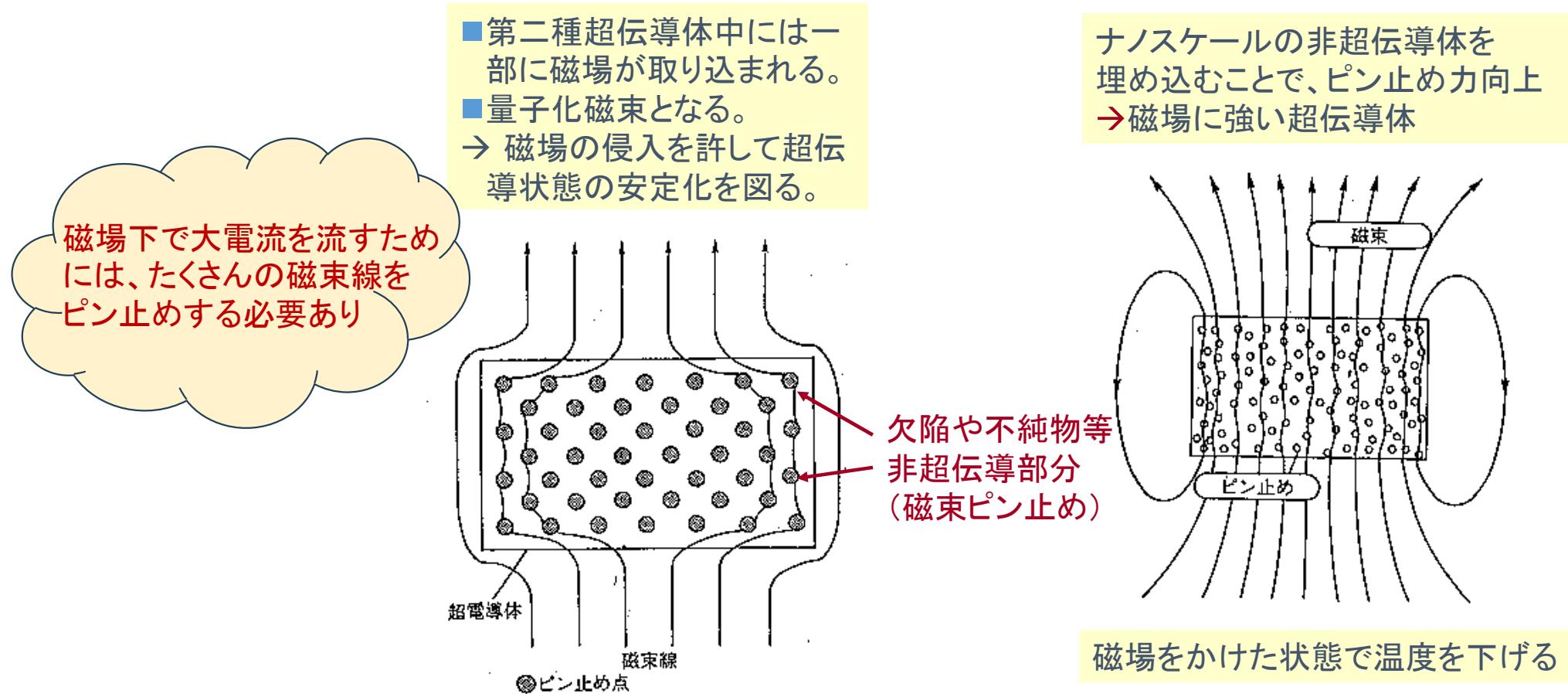
$H/c$  の時 120T @0K

$H/ab$  の時 240T @0K



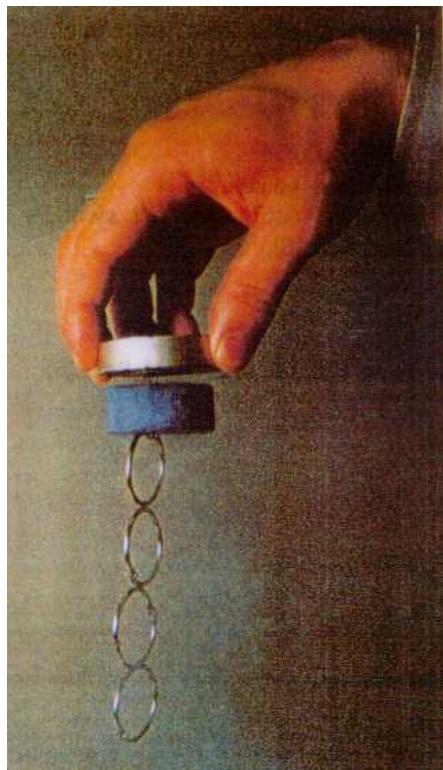
T. Sekitani et al./ figure 3

# 磁束ピニング現象（臨界電流を高めるには必須）



# 浮上実験

フイッキング効果



協力：財団法人 日本相撲協会

# 銅酸化物超伝導体の特徴(従来超伝導体との違い)

応用の視点で考慮すべき重要な性質

1. 高い2次元性
2. d波対称性
3. キャリア濃度敏感性
4. 短い超伝導相関長
5. 多元素系材料



物質の選択、キャリア濃度の制御、配向性の制御、  
非超伝導相導入のための組成制御

高い転移温度

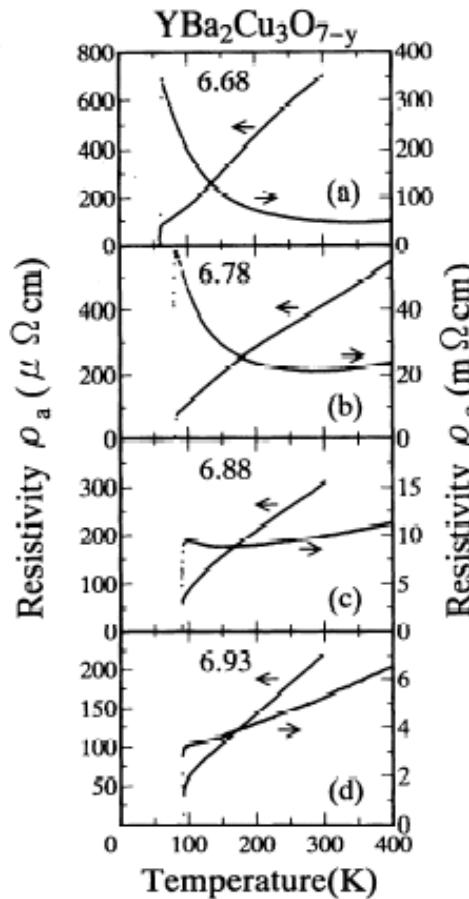
高い臨界磁場

高い臨界電流のハズ

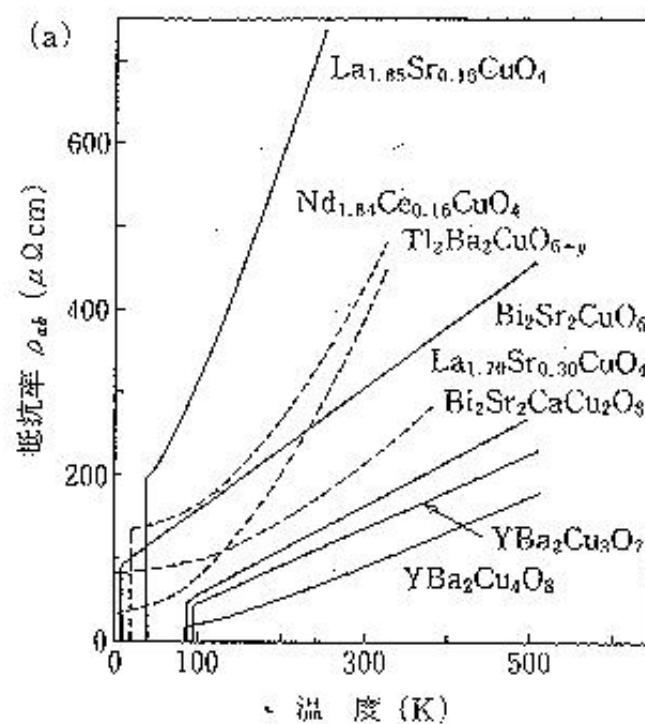
しかし、*high  $J_c$* は容易ではなかった！

2次元性

# 電気抵抗率

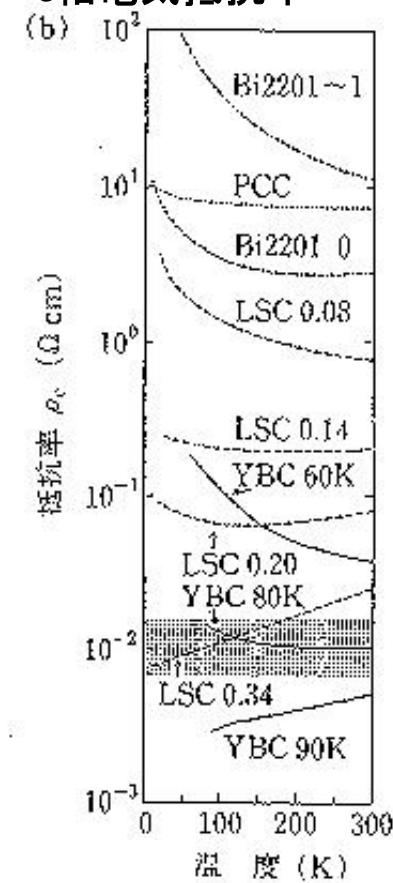


K.Takenaka et al.,  
Phys. Rev. B 50,  
6534 (1994).



- 抵抗率の値が面内と面間で大きく異なる。
- 面間方向は半導体的な温度依存性

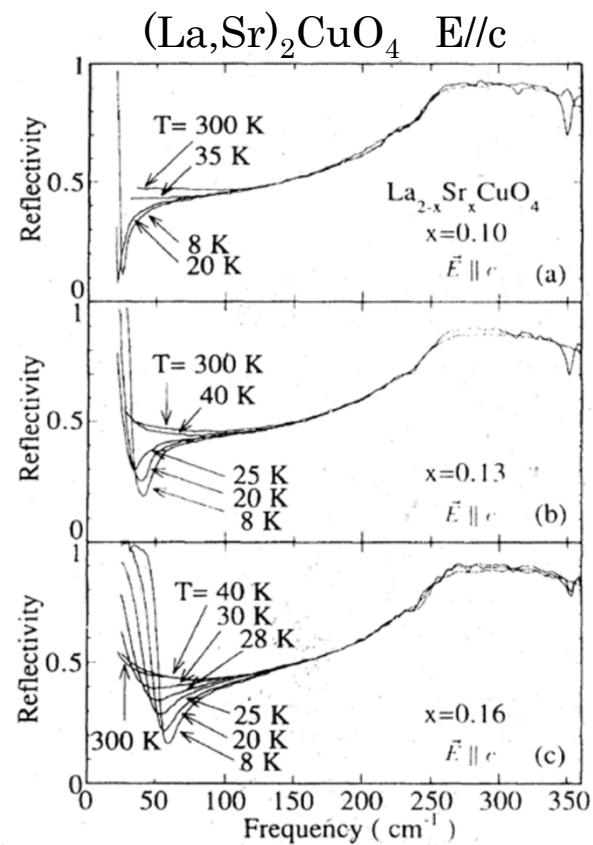
種々の高温超伝導体の  
c軸電気抵抗率



T.Ito et al., Nature  
350, 596 (1991).

- ブロッキング層の違い
- キャリアドープ量の違い

# ジョセフソンプラズマモード



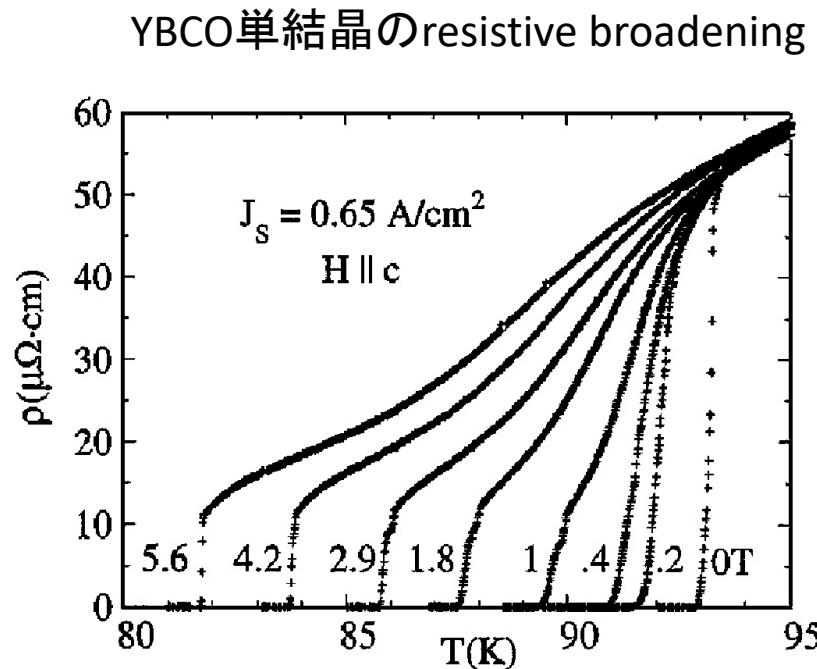
$T > T_c$  電気伝導は、非コヒーレント

$T < T_c$  超伝導電流は、ジョセフソン電流  
(絶縁層をトンネル)

絶縁体的な反射スペクトルから  
突然金属スペクトルになる。

T. Tamasaku, Y. Nakamura and S. Uchida, Phys. Rev. Lett. 69, 1455 (1992).

# 超伝導転移幅の広がり



磁場印加により

- ？ 超伝導転移温度の低下
- 転移幅の増大

$H \parallel c$ の場合のみ顕著な  
“巨大超伝導ゆらぎ”

# 強い2次元性による磁束液体状態

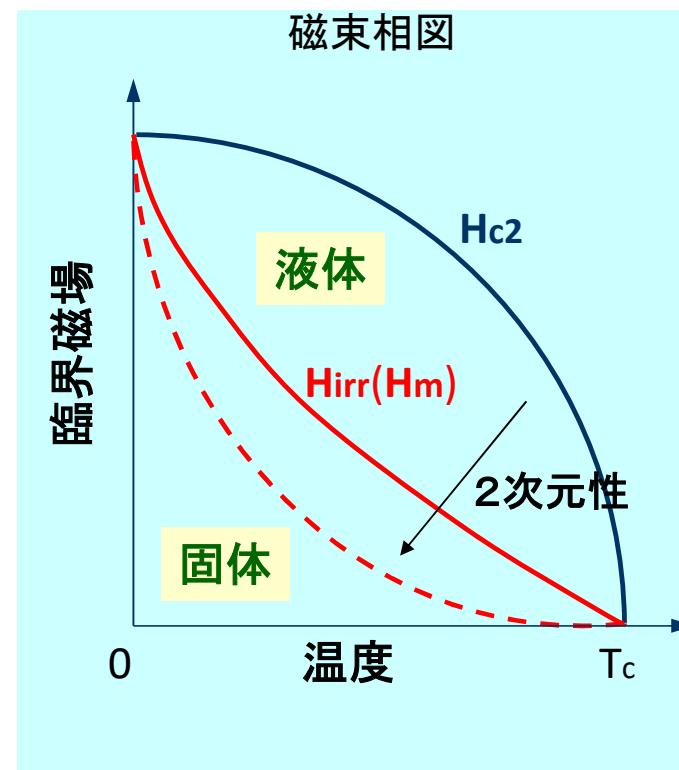
- 上部臨界磁場以下で、すぐアブリコソフ格子を組むわけではない。

磁束液体:  $H_{\text{irr}}(H_m) < H < H_{c2}$   
 → 磁束固体:  $H < H_{\text{irr}}(H_m)$   
 の相変化がある。

- 液体状態では磁束ピニングなし、即ち、 $J_c=0$
- 2次元性の強い系ほど液体相が広い。



- 物質の選択 ex.YBCO
- 次元性制御の必要性  
(キャリアドープ・Bi系へのPb添加)
- C軸配向の必要性 (Bi2212は容易)

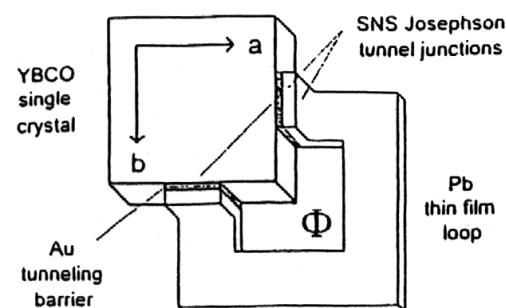
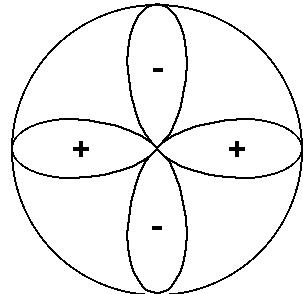


d波対称性

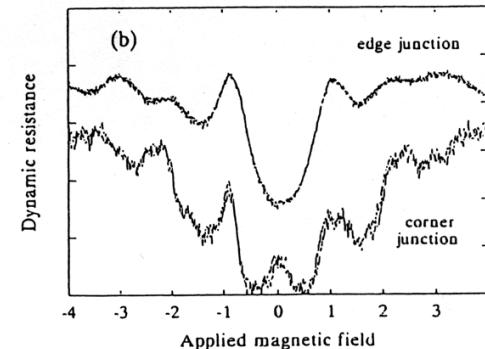
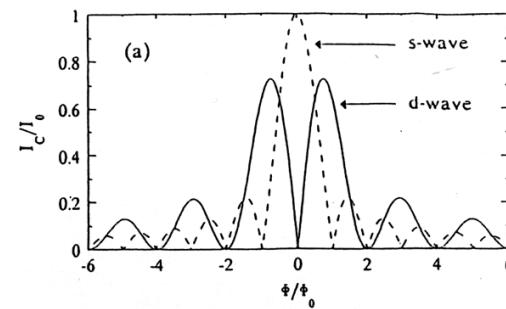
# 超伝導ギャップ関数

d波超伝導のギャップ関数

$$\Delta(\mathbf{k}) = \Delta(\cos k_x a - \cos k_y a)$$



d波超伝導を示す実験



D.A. Wollma et al., Phys. Rev. Lett. 71, 2134 (1993).

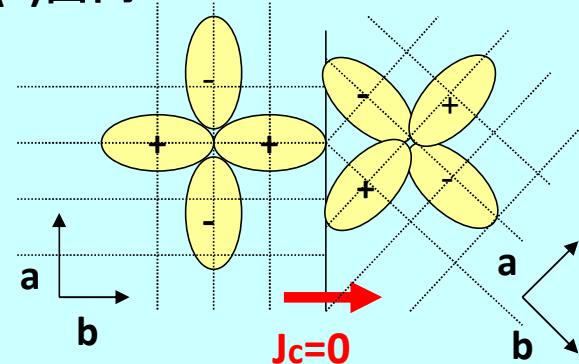
# d波対称性による結晶粒配向の要請

結晶粒界面での角度が45度になると臨界電流激減。(面内でも、面間でも)

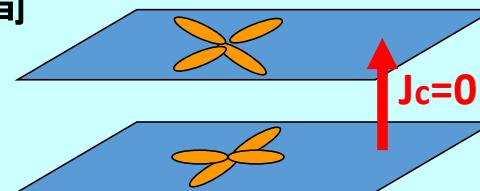


ほとんど単結晶のような薄膜、線材でなければならない。

(a)面内



(b)面間



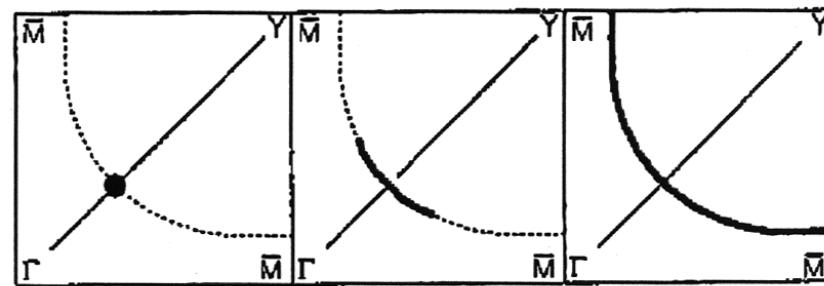
# d波ギャップのその他の影響

---

- 有限の周波数では伝導度が有限。(電荷励起がある。)  
→ 交流応用への問題
- 磁性不純物以外でもポテンシャル散乱中心となるものは、  
対破壊を起こす。  
→ 不純物に対する注意が必要

# 擬ギャップ(常伝導ギャップ)

角度分解光電子分光(ARPES)による  
フェルミ面の温度依存性・キャリア濃度依存性



*M.Norman et al., Nature 392, 157 (1998).*

低温 ← → 高温  
低ドーピング ← → 高ドーピング

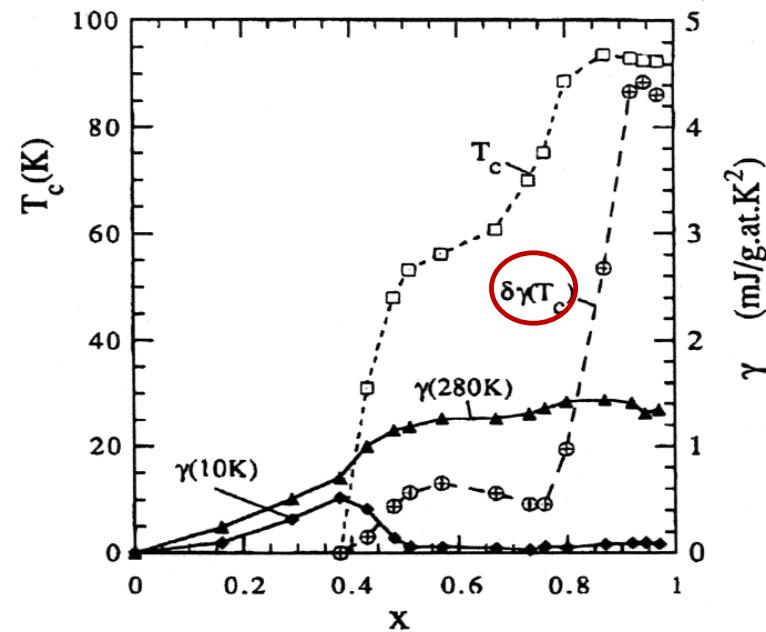
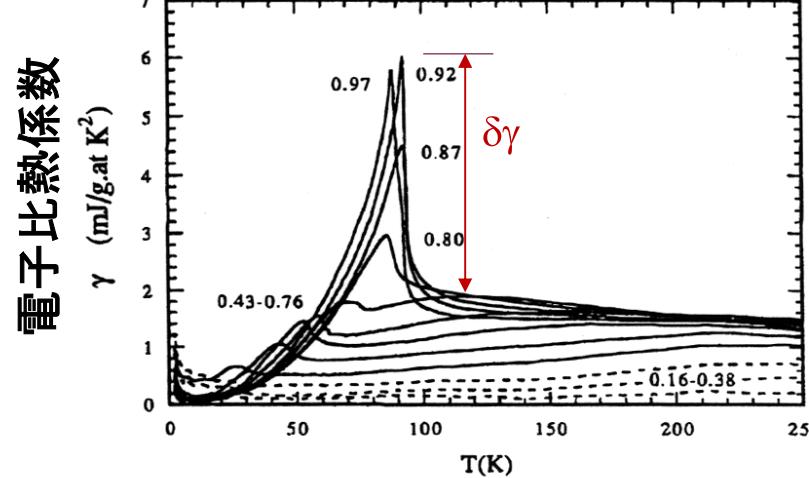
温度低下と共にフェルミ面の面積減少  
あたかも絶縁体ギャップが開いてくるよう。  
cf. Hall係数の温度低下に伴う増加  
c軸抵抗率の半導体的温度依存性

FSが欠けた状態で超伝導転移

# 擬ギャップの効果

キャリア濃度敏感性

例：擬ギャップが与える影響



J. Loram et al., Physica C 235-240, 1821 (1994).

擬ギャップ状態では超伝導凝縮エネルギーが小さく  
磁束ピニング力は激減する。  
→ 過剰ドープの勧め

短いコヒーレンス長

# 短い超伝導相関長の効果

## 超伝導相関長

$\xi \sim v_F/\Delta$  ( $T_c$ が高いと  $\xi$  が短い。)

## 典型的な相関長

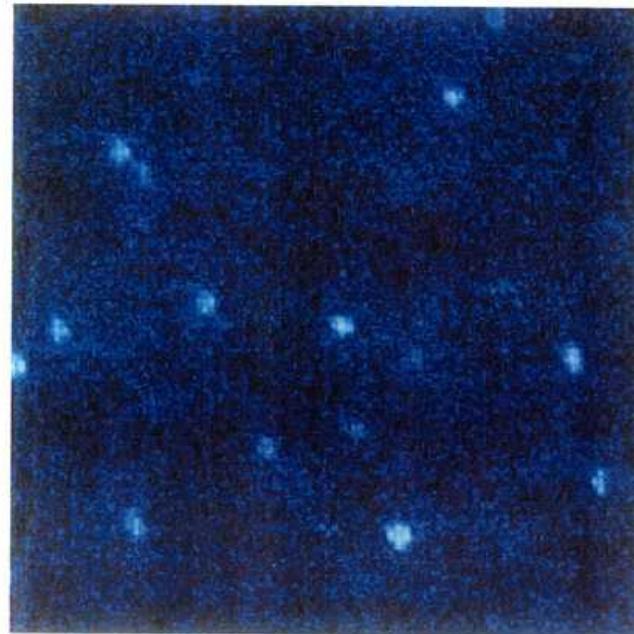
$\xi_{ab} \sim 2-3$  nm

→不純物による局所的対破壊

$\xi_c < 0.2$  nm

→各 $\text{CuO}_2$ 面はジョセフソン結合  
(各面で独立に位相が決まっている)

ナノスケールの非超伝導領域を多数  
分散させることが磁束ピニングに有効



Zn置換Bi2212結晶のSTM像  
*S.H. Pan et al. (Nature 2000)*

## 4. 高温超伝導の実用化

# 液体ヘリウムを使った 従来超伝導体(Nb系材料)の応用

---

- 強磁場発生のマグネット(電磁コイル)  
実験用電磁石、核磁気共鳴装置(NMR)、大型加速器…
- 核磁気共鳴を用いた医療診断(MRI)
- 高感度磁気センサー(SQUID)
- 磁気浮上列車(リニアモーターカー)

## 問題点

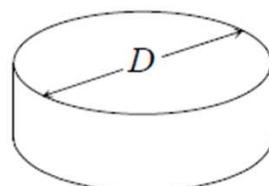
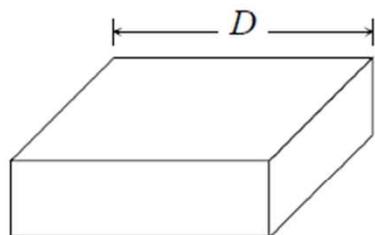
- (1)高価な液体ヘリウムが必要
- (2)装置が大型化



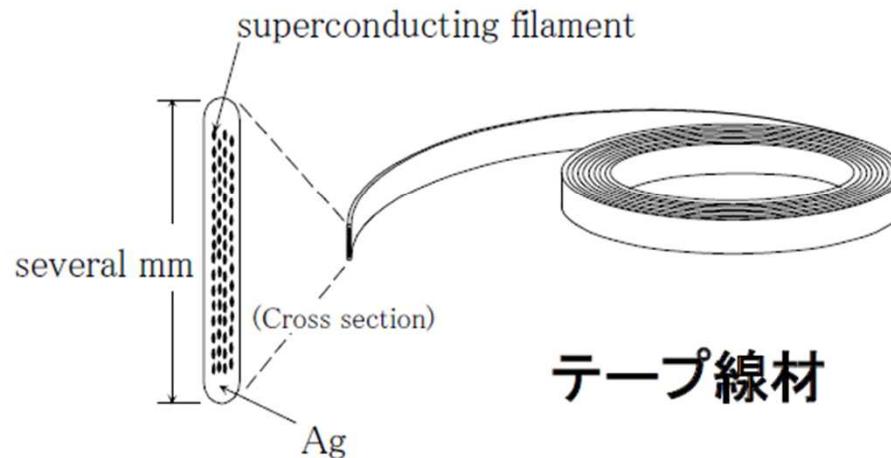
## 高温超伝導体を使えば

- (1)冷凍機或いは液体窒素で冷却可能
- (2)装置を小型化できる

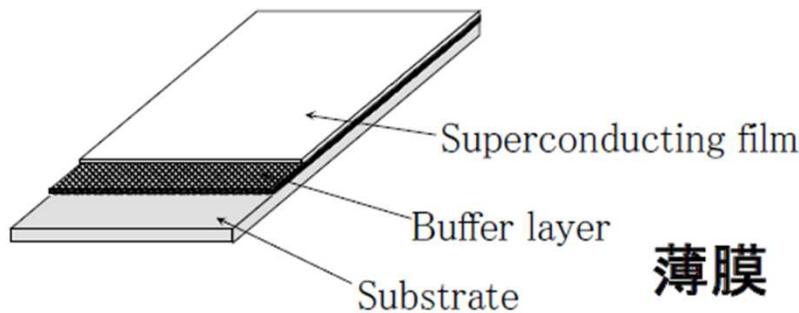
# 高温超電導体



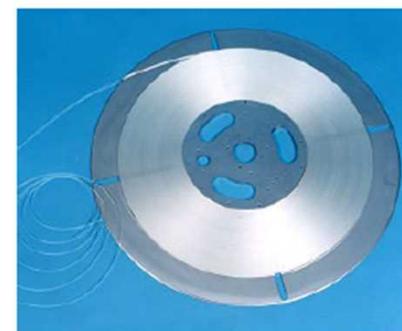
バルク



テープ線材

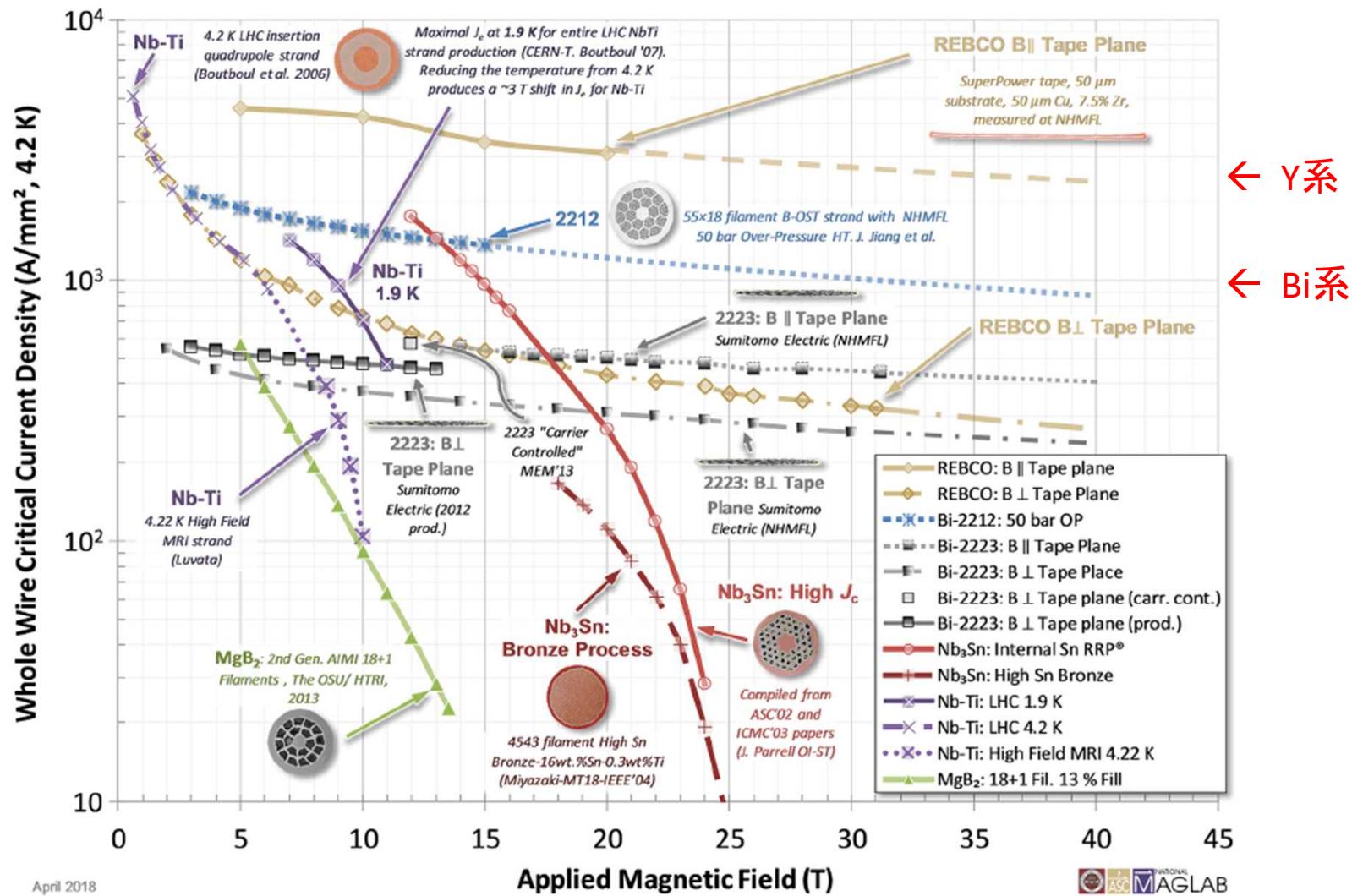


薄膜



東京大学工学部  
大崎博之先生の  
講義ノートより

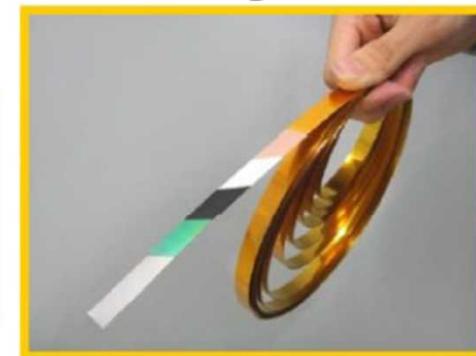
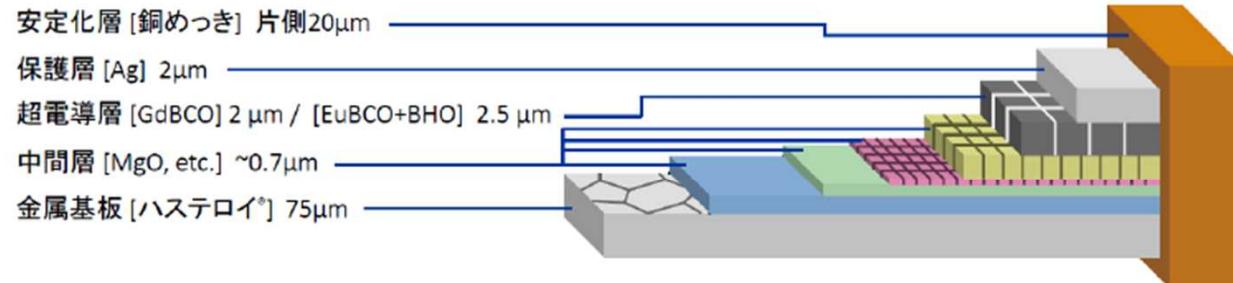
# 様々な超電導線材の臨界電流密度の磁場依存性 @4.2K



東京大学工学部  
大崎博之先生の  
講義ノートより

# (RE)BaCaO高温超電導線材

Fujikura



(RE)BaCaO高温超電導テープ線材の基本構造

型番	線材幅 [mm]	線材厚さ [mm]	金属基板 [μm]	安定化層 [μm]	臨界電流 [A](@77K, S.F.)	備考
FYSC-SCH04	4	0.13	75	20	≥ 165	人工ピンなし
FYSC-SCH12	12	0.13	75	20	≥ 550	人工ピンなし
FYSC-S12 <sup>*1</sup>	12	0.08	75	-	≥ 550	銀保護層のみ
FESC-SCH04	4	0.11	50	20	≥ 85	人工ピン <sup>*3</sup>
FESC-SCH12 <sup>*2</sup>	12	0.11	50	20	TBD	人工ピン <sup>*3</sup>

<sup>\*1</sup> 銅安定化層なし、銀保護層のみ線材は12mm幅のみ提供可

<sup>\*2</sup> 人工ピン導入線材(12mm幅)の仕様は別途後報

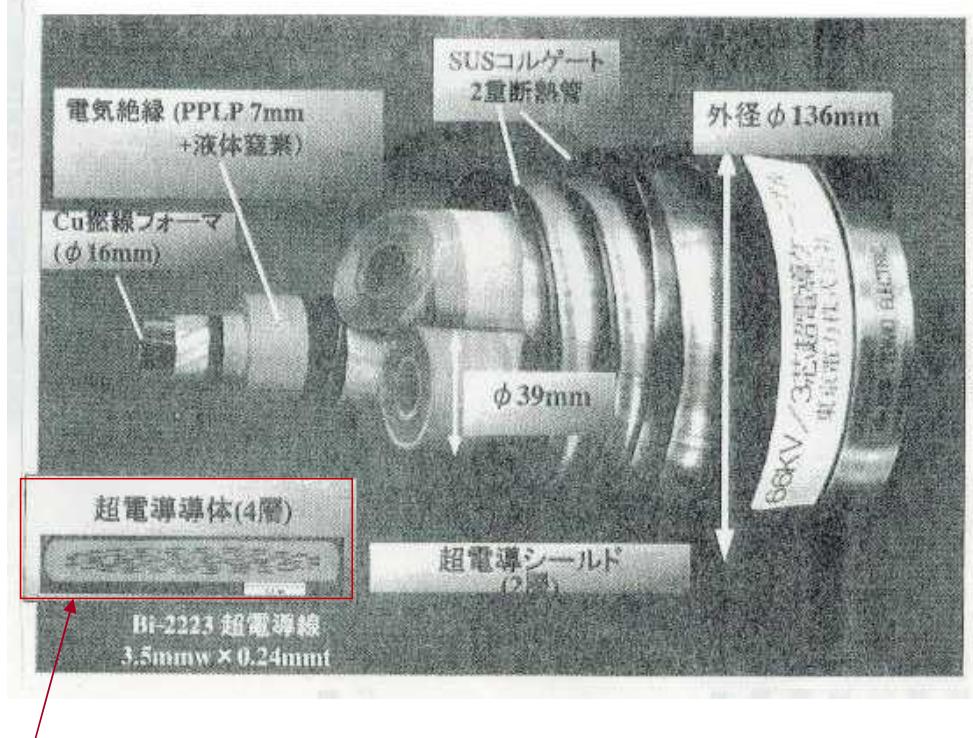
<sup>\*3</sup> 人工ピン導入線材は低温、高磁場の用途向け

東京大学工学部  
大崎博之先生の  
講義ノートより

<https://www.fujikura.co.jp/products/newbusiness/superconductors/01/superconductor.pdf>

# 超伝導電線

東京電力(住友電工)が開発した高温超伝導ケーブル



銀の中に埋め込まれたBi系高温超伝導体

ニューヨークでは送電線に使用された。

## 実用化近づく超電導送電、強みは？

2022/1/13 7:00 | 日本経済新聞 電子版

2022年1月13日の日本経済新聞朝刊1面に「送電損失ゼロ、実用へ」という記事がありました。JR系の研究機関はコストを大幅に削減した送電線を開発し、送電時のロスがほぼない技術「超電導送電」の実用段階に入りました。まず鉄道会社向けを想定する新技術はどのような点が強みなのでしょうか。

1月13日 朝刊1面のポイント

送電ロスなくし脱炭素貢献

コスト削減した送電線開発

再生エネ分野に応用も

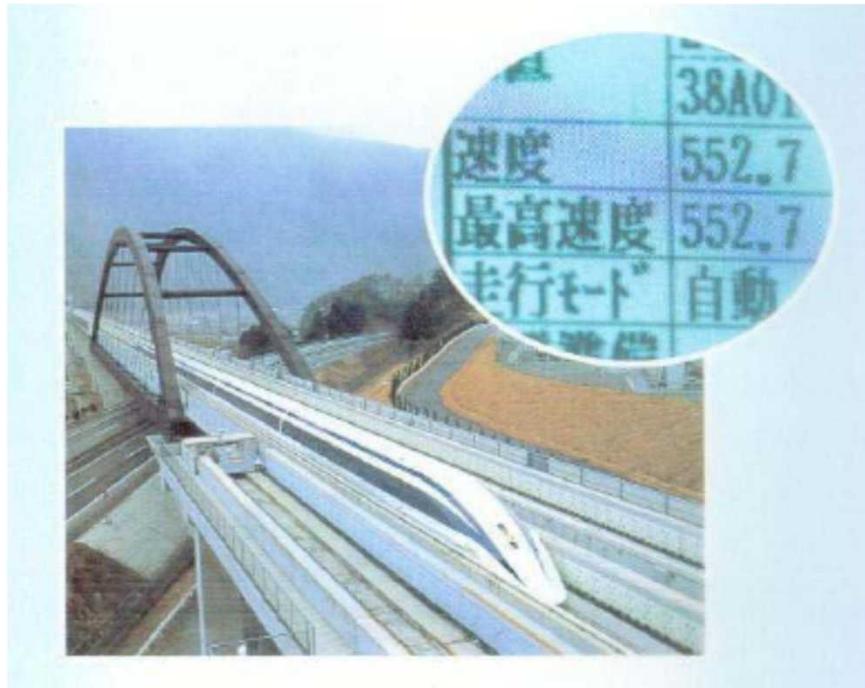
2022年1月13日  
日経新聞朝刊1面

●JRが鉄道き電線として応用  
変電所(現在数キロm毎)を減らせる



# マグレブ(リニアモーター)カーカー

JR東海が、東京・名古屋間の敷設決定。~~2025年営業開始~~  
(名古屋・大阪間の完成は、2045年?)



- 世界で唯一の技術
- 原理的速度制限はない
- 飛行機よりエコ

## 3つのコイル

- 1)車両搭載超電導コイル(lq. He搭載)
- 2)ガイドウェイの8字コイル(浮上用)
- 3)ガイドウェイの駆動用コイル

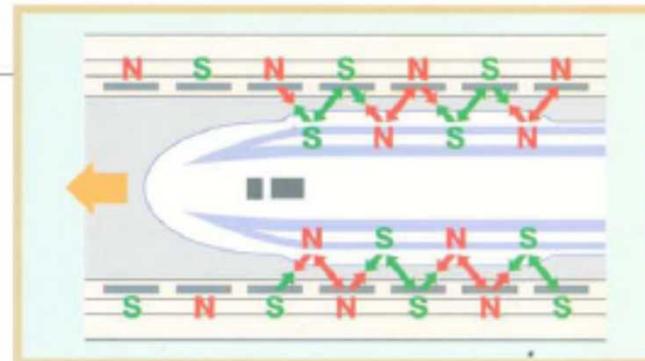
出典:JR東海パンフレット

# リニアモーターカー

## 超電導リニアモーターカーの原理

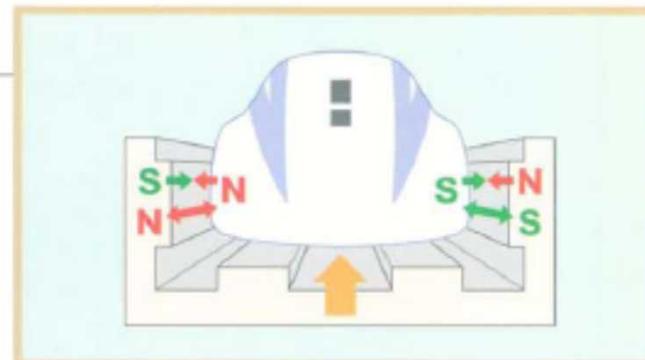
### 推進の原理

地上の推進コイルに電流を流すことにより磁界(N極・S極)が発生し、車両の超電導磁石(N極・S極を交互に配置)との間で、引き合う力と反発する力が発生します。これをを利用して車両(超電導磁石)が前進します。



### 浮上の原理

地上ガイドウェイ(軌道)の側壁両側に8の字の形をした浮上案内コイルが設置されており、車両の超電導磁石が高速で通過すると両側の浮上案内コイルに電流が流れ電磁石(8の字の上の輪が超電導磁石と反対極に、下の輪が同一極)となり、車両(超電導磁石)を押し上げる力(反発力)と引き上げる力(吸引力)が発生します。



出典:  
JR東海パンフレット

# 超伝導モーター

ニュースリリース

東芝 2022/6/23

## モビリティ向け軽量・小型で大出力の超電導モーター試作機を開発

～産業・運輸でのカーボンニュートラルの実現に貢献～

ニュースリリース

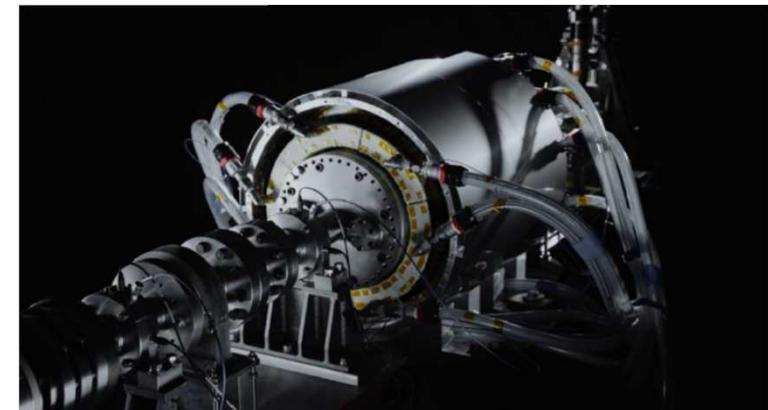
新技術

研究開発・技術

原子力

2022年06月23日

東芝エネルギーシステムズ株式会社



世界初の液体窒素冷却全超電導モータが完成～8月から販売開始、5年後には300億円事業に～

石川島播磨重工 2005/4/14

-2005年04月14日- プレスリリース

石川島播磨重工（IHI）を取りまとめとする産学グループ（\*\*A）は、世界で初めての液体窒素冷却全超電導モータ（IFCSモータ）（\*1）を完成させました。

（注）同グループは、本年1月に、世界で初めて液体窒素冷却超電導同期モータを開発し、本モータを内蔵したポッド型（\*2）推進装置を完成させたことは、既にご案内のとおりです。

地球温暖化の進展と異常気象の問題が取り沙汰される中、京都議定書が2月16日に発効されました。日本は温室効果ガスを2008年から2012年に基準年比（1990年）で6%削減す

自動車、飛行機、船舶等で、コンパクトかつ高トルク、省エネのモーターが利用される。

# 超伝導磁気センサー(SQUID)

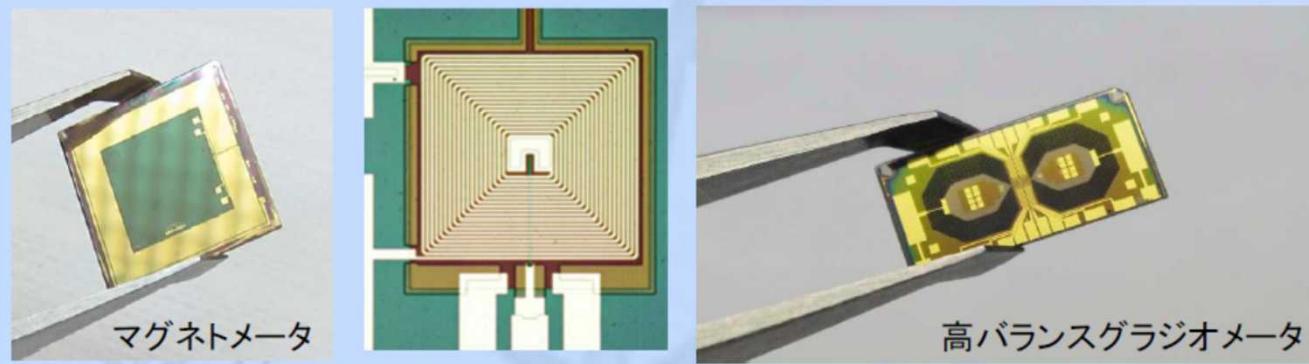
## 技術

当社は独自に開発した野外使用に適した超電導磁気センサ(**SQUID**: Superconducting QUantum Interference Device)チップ作製技術とシステム化技術を保有しています。

### 各種磁気センサの感度

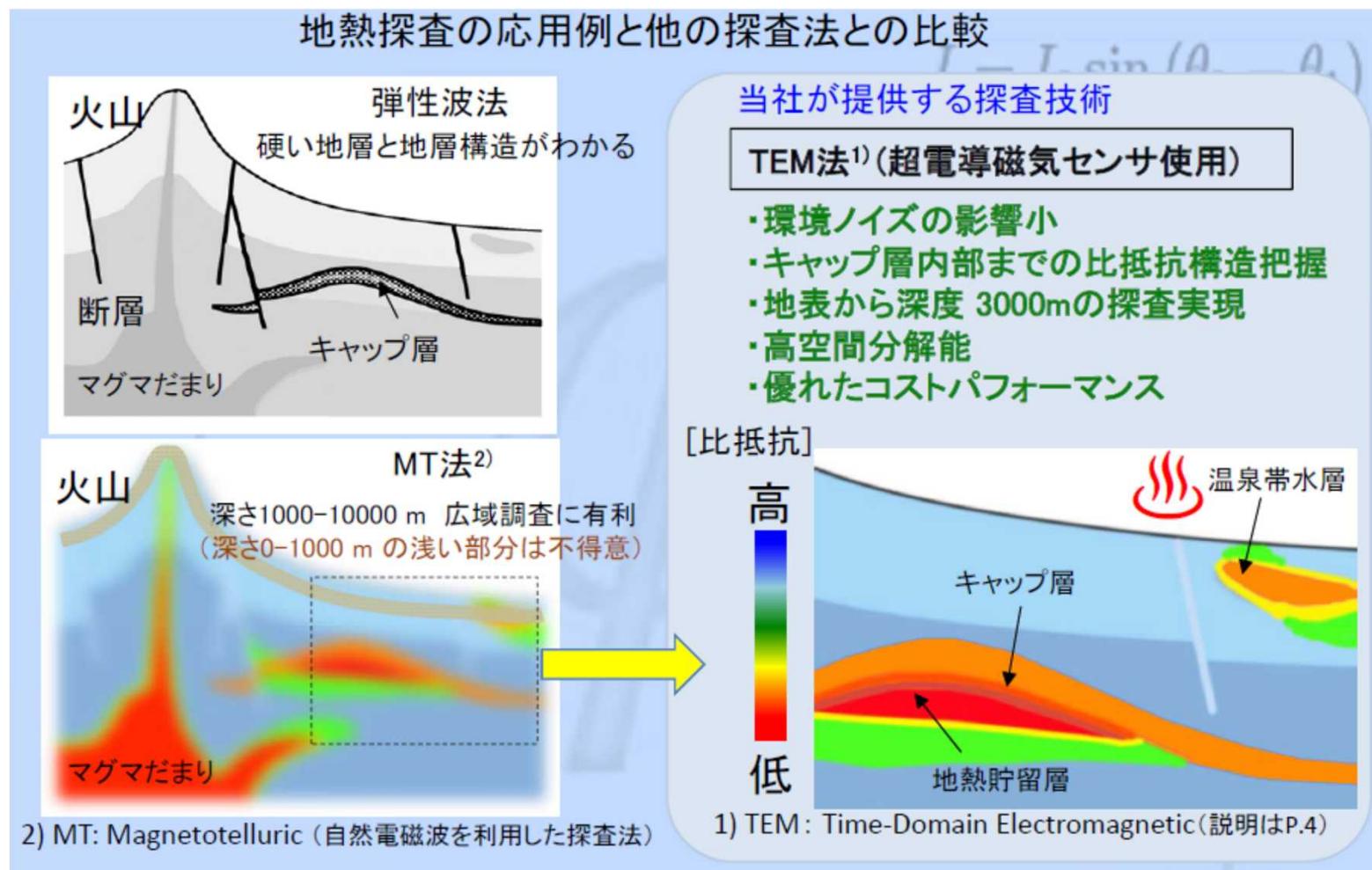


### 1 センサ製造技術



出典:  
SUSTECパンフレット

適用例: ① 地熱発電用熱水貯留層探査  
 ② 既存油田の有効活用  
 ③ 二酸化炭素地下貯留(CCS)のモニタリング



出典:  
 SUSTECパンフレット

# 磁気共鳴の応用(原子核が持つ磁気的性質を検出)

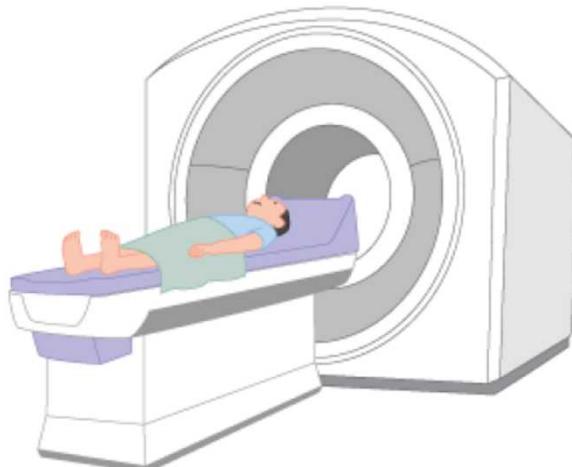
## NMR(Nuclear Magnetic Resonance)



平成27年7月1日  
物質・材料研究機構(NIMS)  
理化学研究所(理研)  
株式会社神戸製鋼所(神戸製鋼)  
日本電子株式会社(JEOL)  
科学技術振興機構(JST)

世界最高磁場※のNMR装置(1020MHz)の開発に成功  
～高温超伝導体の応用が決め手 新薬創製・新物質開発の高速化にむけて大きな前進～

※ 世界最高磁場: 1020MHz (24.0テスラ) 2015年4月17日時点



**MRI**  
(Magnetic Resonance Imaging)



→ 1.2GHzのNMRを現在開発中

# まとめにかえて

---

- 室温超伝導は存在することがわかった。(常圧で実現させるのが今後の課題)
- 非BCS超伝導(エキゾチック超伝導)の物理は、まだまだ実験・理論ともに道半ば。
- 銅酸化物高温超伝導体は、転移温度が高いだけでなく、強い2次元性やd波対称性などの特徴があり、実用化を困難にする原因となっている。30年の歳月をかけて、これらの課題を克服しつつある。
- 地球温暖化問題の顕在化などによって、コスト問題を乗り越えられる環境が整いつつある。「21世紀は超伝導の世紀」となるか？

ご清聴ありがとうございました。