

# 鉄系新超伝導体について

1. 発見とこれまでの進展
2. 今後の研究開発について

物質・材料研究機構  
超伝導材料センター

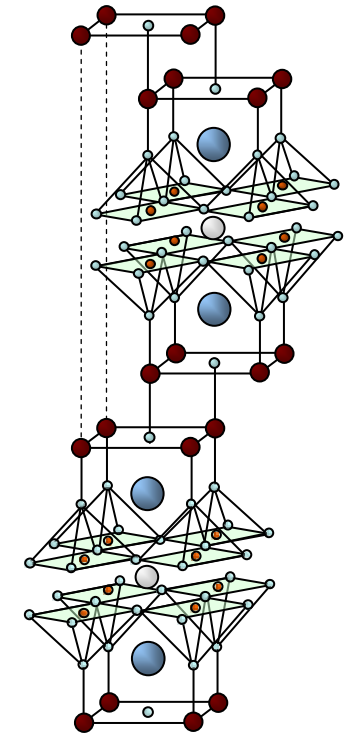
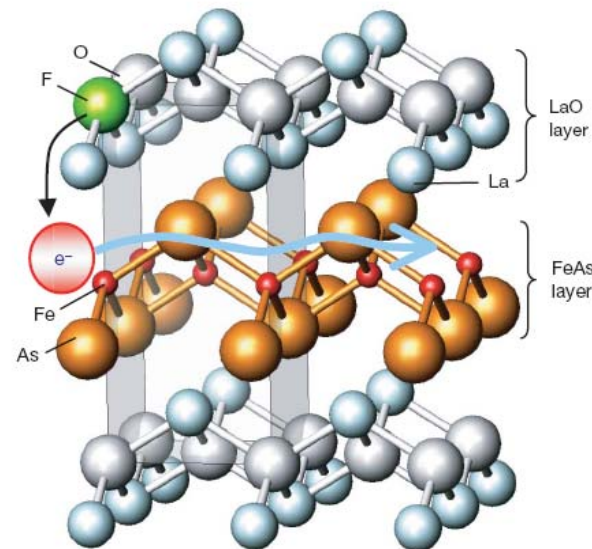
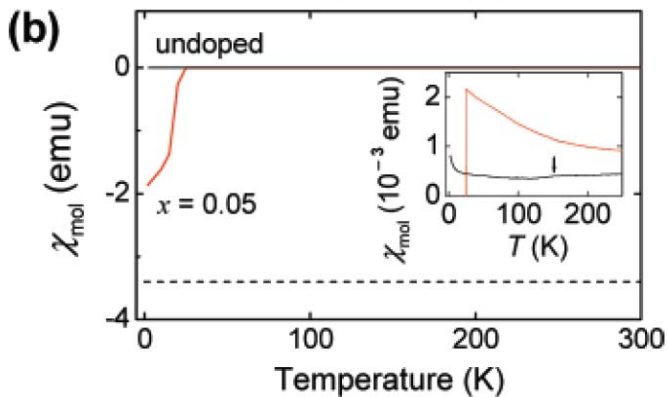
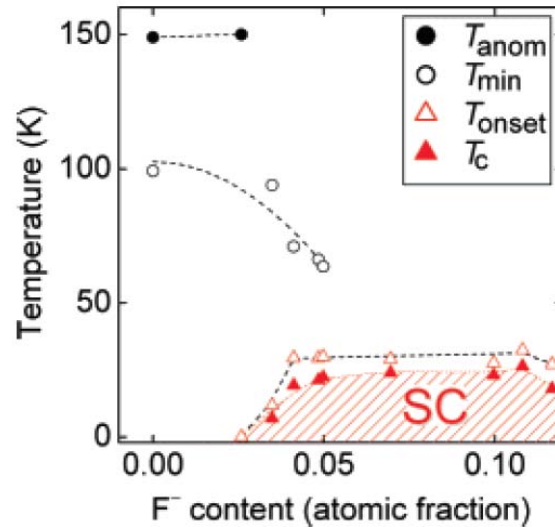
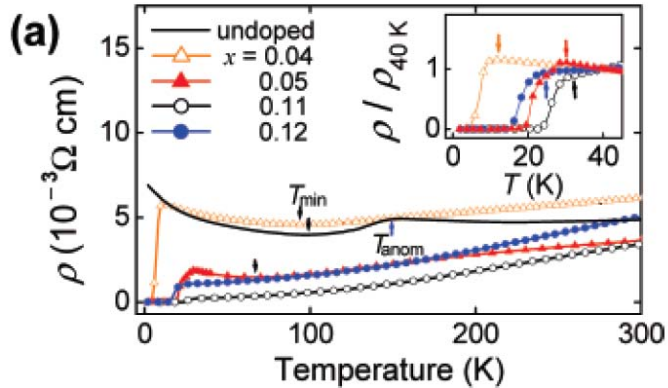
熊倉浩明

# La[O<sub>1-x</sub>F<sub>x</sub>]FeAs超伝導体の発見 (T<sub>c</sub> = 26K)

合成:原料の混合プレス

(LaAs, FeAs, La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, LaF<sub>3</sub>, La)

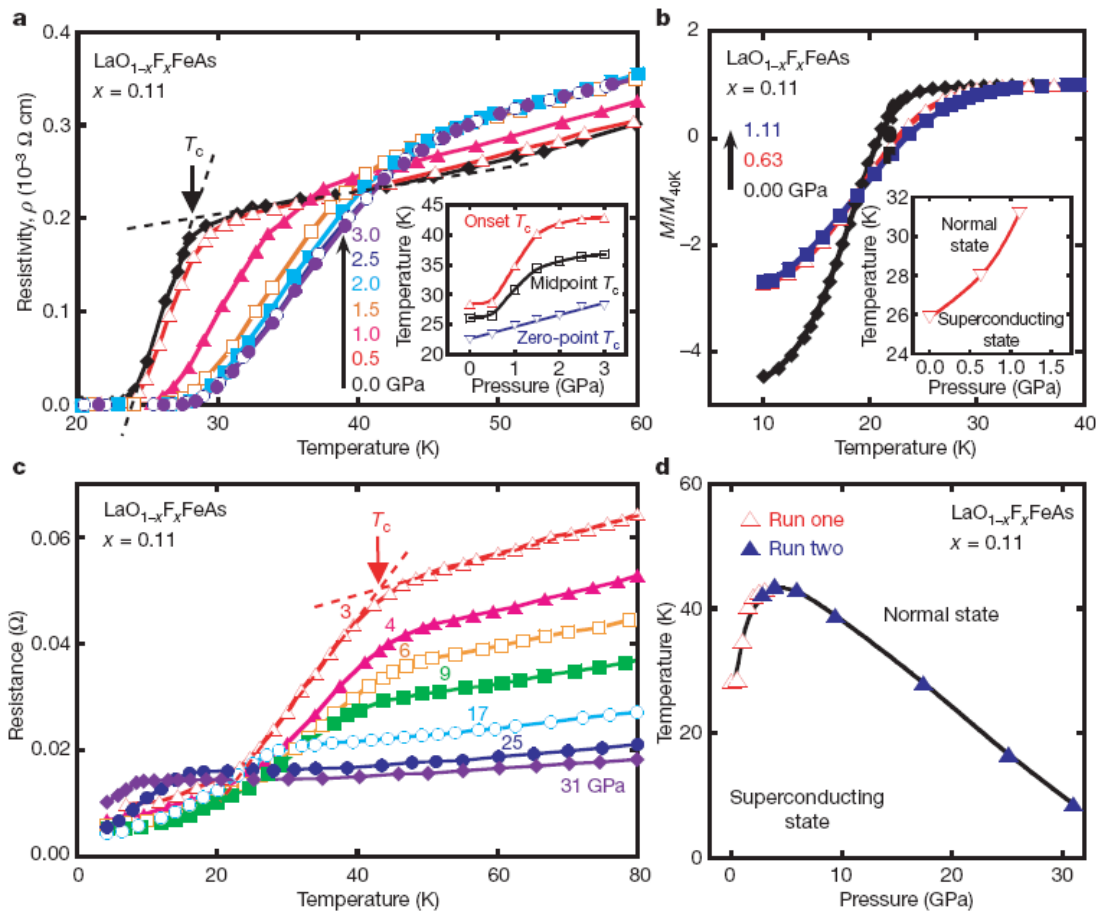
熱処理 1250°CX40hr



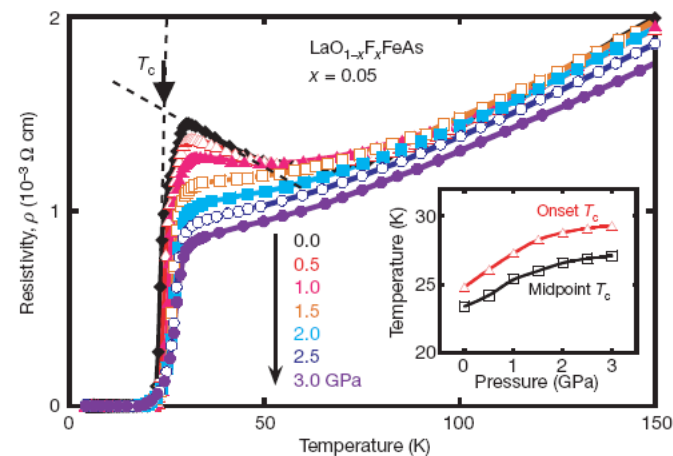
LaO<sub>1-x</sub>F<sub>x</sub>FeP T<sub>c</sub>~5-9K  
 J. Am Chem Soc. (2006)

# La[O<sub>1-x</sub>F<sub>x</sub>]FeAs系における圧力の効果 (T<sub>c</sub> = 43K)

X = 0.11

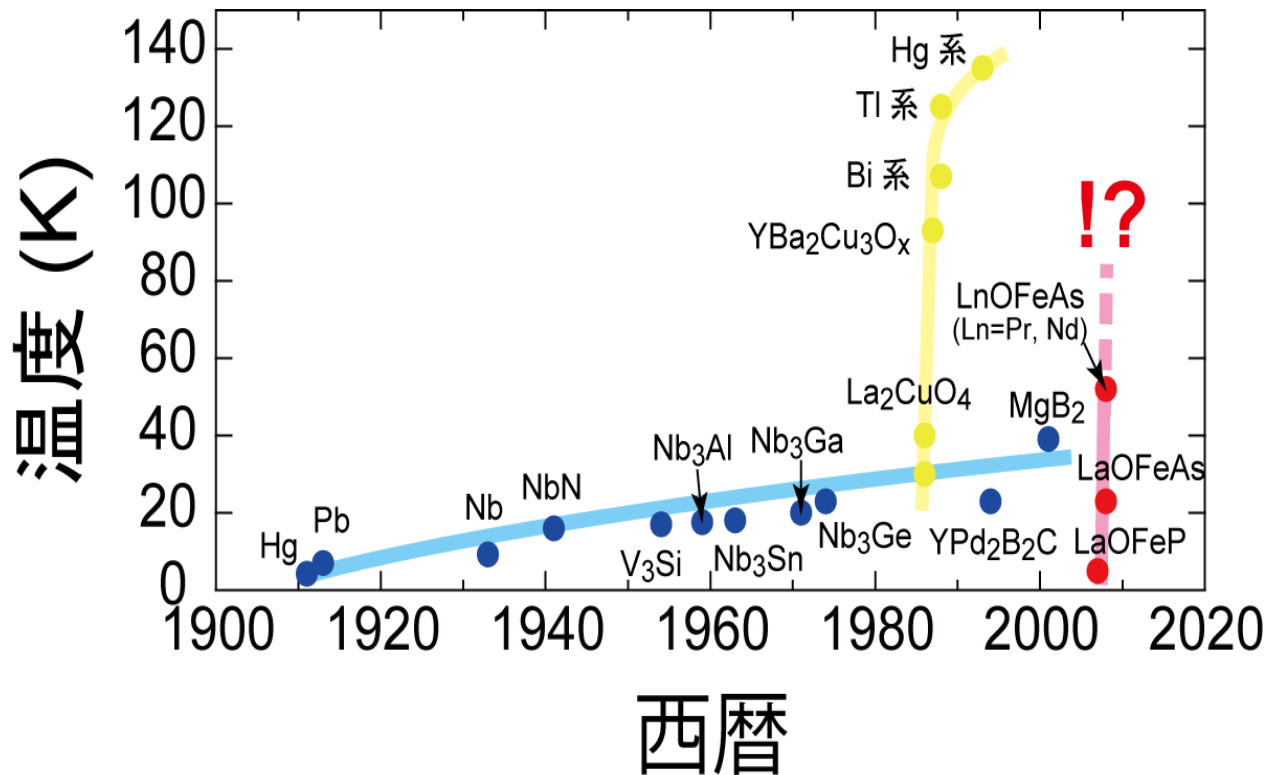


X = 0.05

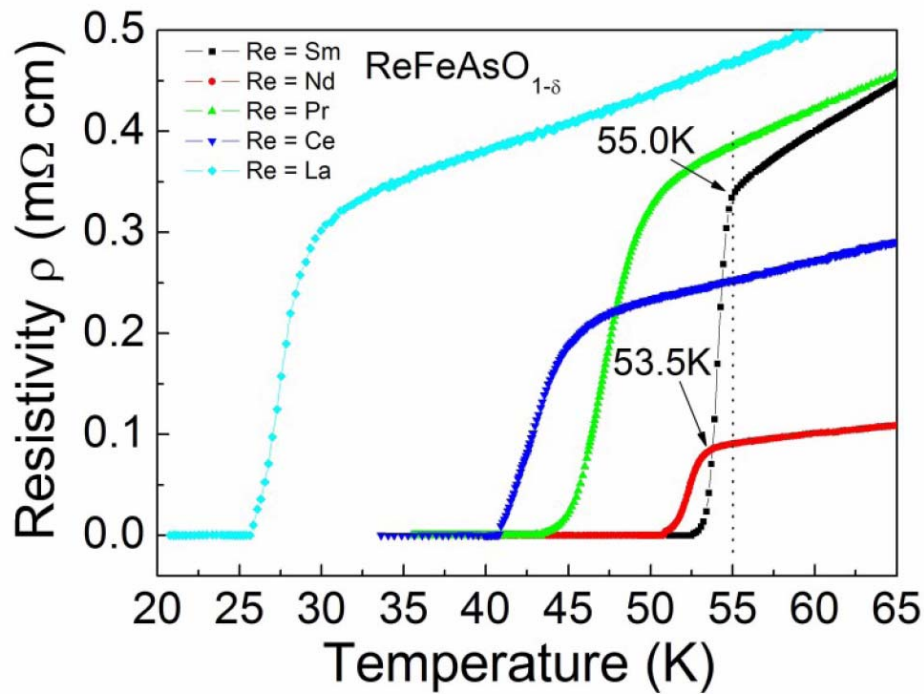


# 希土類元素の置換

$\text{Sm}[\text{O}_{1-x}\text{F}_x]\text{FeAs}$	43K
$\text{Ce}[\text{O}_{1-x}\text{F}_x]\text{FeAs}$	41K
$\text{Nd}[\text{O}_{1-x}\text{F}_x]\text{FeAs}$	51.9K
$\text{Pr}[\text{O}_{1-x}\text{F}_x]\text{FeAs}$	52K
$\text{La}[\text{O}_{1-x}\text{F}_x]\text{FeAs}$	41K(高压合成)
$\text{Sm}[\text{O}_{1-x}\text{F}_x]\text{FeAs}$	55K(高压合成)

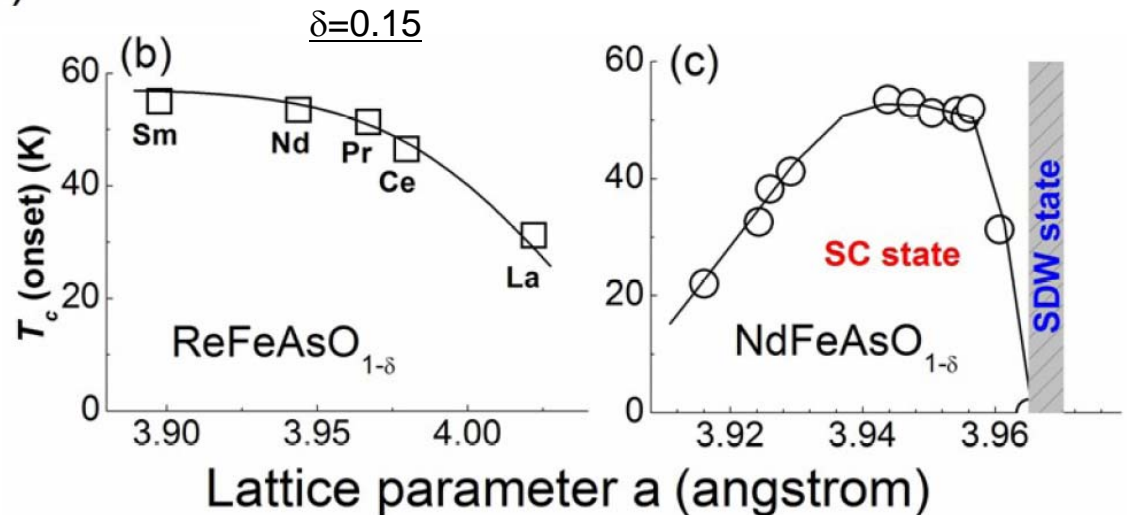


# ReFeAsO<sub>1-δ</sub>の超伝導(フッ素なし) (Re= Sm, Nd, Pr, Ce, La)



La[O<sub>1-x</sub>F<sub>x</sub>]FeAsのかわりに  
LaO<sub>1-δ</sub>FeAsで電子をドーブ

高压合成



# $(La_{1-x}Sr_x)OFeAs$ の超伝導 $T_c = 25K$

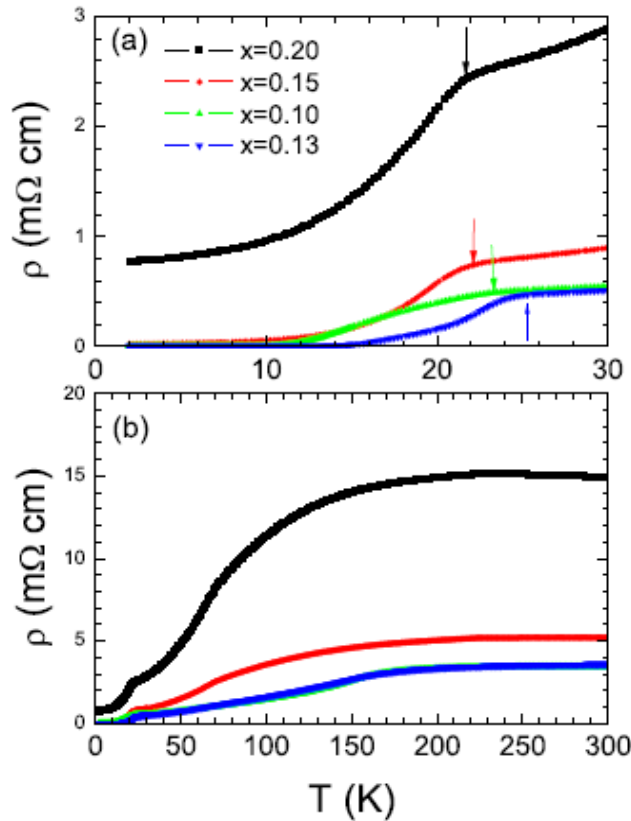


Fig. 2: The temperature dependence of resistivity of samples  $(La_{1-x}Sr_x)OFeAs$  with the Sr concentration  $x$  changing from 0.10 to 0.20. One can see that the onset transition temperatures marked here by arrows are quite close to each other, with the highest  $T_c \approx 25.6K$  at the doping of 0.13. Beyond  $x = 0.20$ , no superconductivity was observed.

## ホールドープによる超伝導

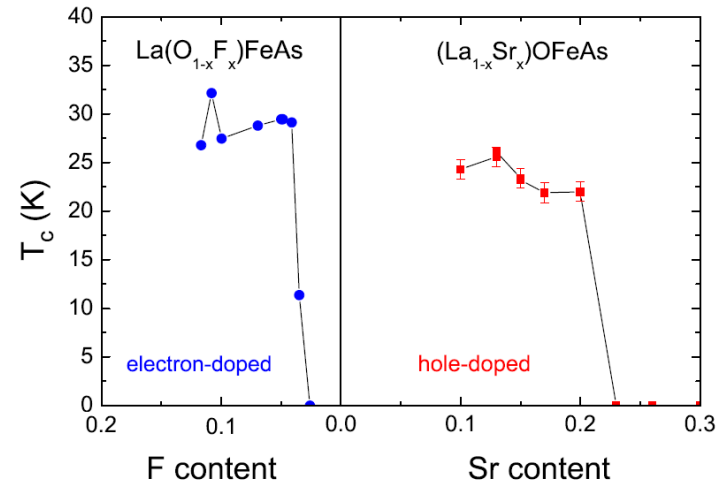
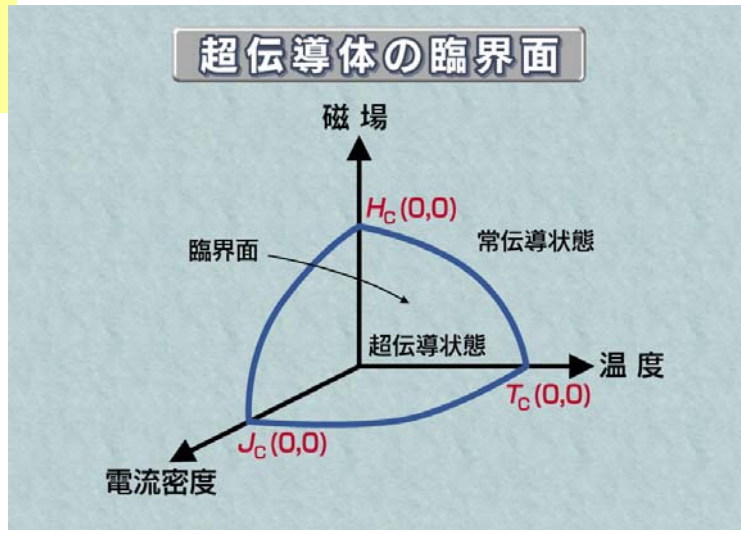


Fig. 5: The generic phase diagram depicted based on the data of our present system  $(La_{1-x}Sr_x)OFeAs$  and that of electron doped system  $La(O_{1-x}F_x)FeAs$ . The phase diagram looks very similar to that of cuprate superconductors.

# 超伝導材料の開発と利用

- ・超伝導物質をある特定の温度(臨界温度、 $T_c$ )以下に冷却すると、電気抵抗が完全に消失
- ・損失のない送電、非常に強い磁場を発生するマグネット、種々の超伝導デバイスなど、エネルギーや環境問題に大きな寄与
- ・超伝導が広範に利用されるためには、既存材料の徹底的な高性能化とともに、より優れた特性を持つ新しい超伝導材料の探索と開発が焦眉の課題



超伝導材料は  $T_c, H_c, J_c$  の臨界面の内側だけでしか使うことができない

高 $T_c$ 化  
高 $H_c$ 化  
高 $J_c$ 化 が必要

## 超伝導材料の特性

- ・臨界温度( $T_c$ ) : 物質固有の値
- ・臨界磁場( $H_c$ ) : ほぼ物質固有の値、一部材料化プロセスに依存
- ・臨界電流密度( $J_c$ ) : 線材化などの材料化プロセスに大きく依存

高 $T_c$ 化  
高 $H_c$ 化

→ 新規超伝導物質の探索・開発

高 $J_c$ 化

→ 材料化プロセス、特に線材化プロセスの高度化

代表的な超伝導物質と超伝導特性

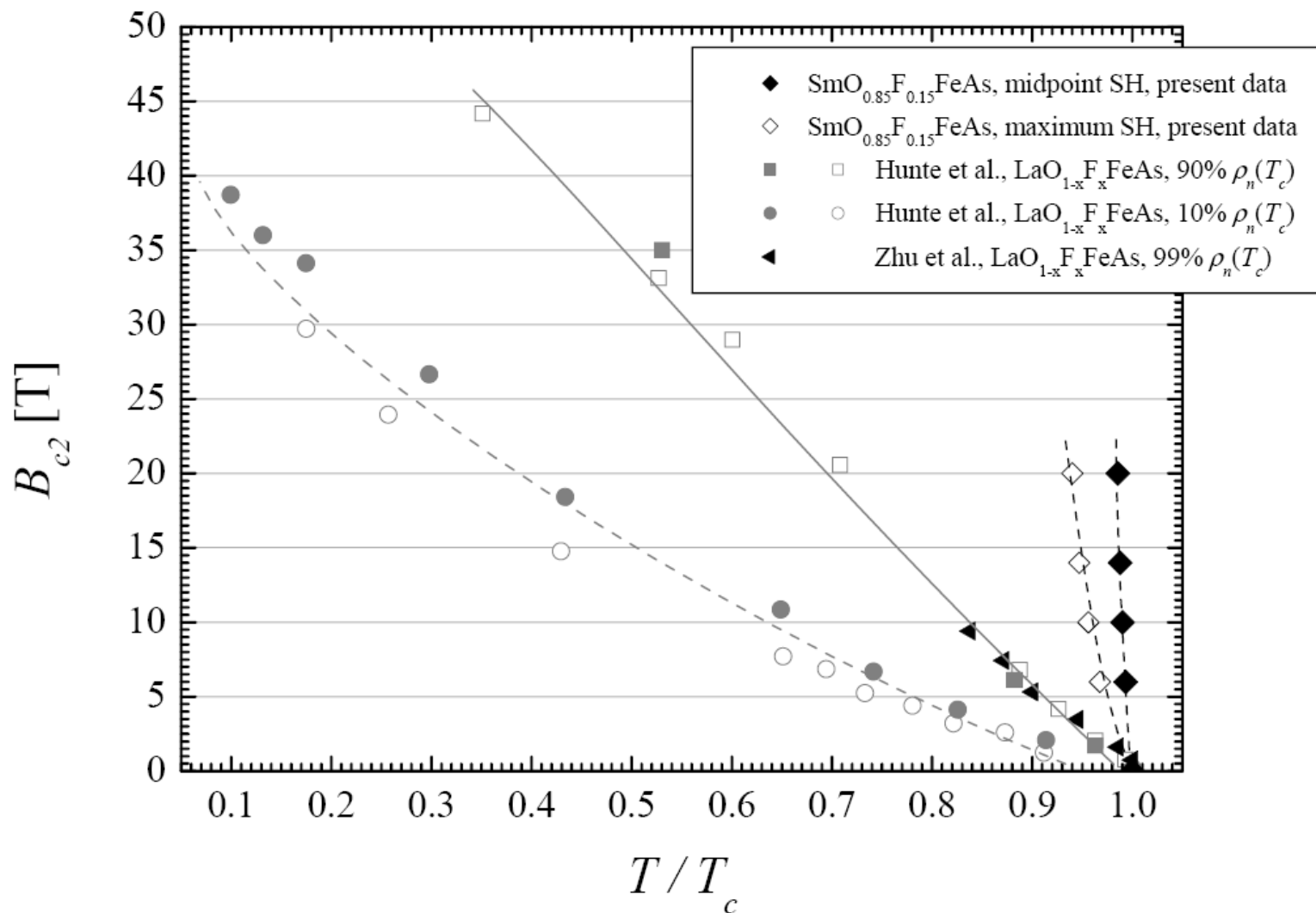
区分	超伝導体	$T_c$ (K)	$H_{c2}$ (T)(注)
単体金属	Nb	9.1	0.17
	合金	Nb-Ti	9.8
金属間化合物 (A15型)	Nb <sub>3</sub> Sn	18.2	24
	V <sub>3</sub> Ga	16.8	21
	Nb <sub>3</sub> Al	18.7	31
ホウ化物	MgB <sub>2</sub>	39.0	20
	(LaBa) <sub>2</sub> CuO <sub>4</sub>	~30	
	YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7</sub>	90	
	Bi <sub>2</sub> Sr <sub>2</sub> CaCu <sub>2</sub> O <sub>y</sub>	80	
	Bi <sub>2</sub> Sr <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub>	110	
	Tl <sub>2</sub> Sa <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub>	120	
	HgBa <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>y</sub>	135	

(注) 4.2Kの値。銅酸化物超伝導体の $H_{c2}$ は厳密に定義するのは困難であるが他の超伝導体に比べると桁違いに大きい

1T=10,000 Gauss 地磁気: ~0.5 Gauss

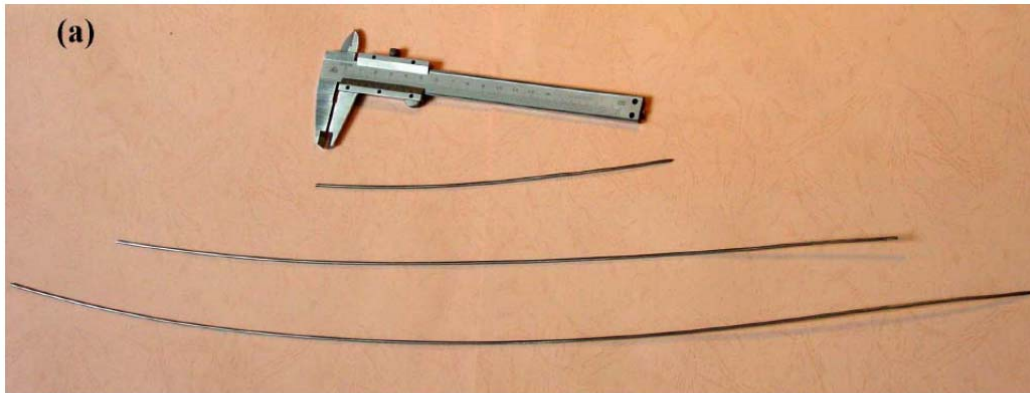
鉄砒素系新超伝導体:  $T_c \sim 50K$   $H_c \sim 90T$

# Re[O<sub>1-x</sub>F<sub>x</sub>]FeAsの上部臨界磁界

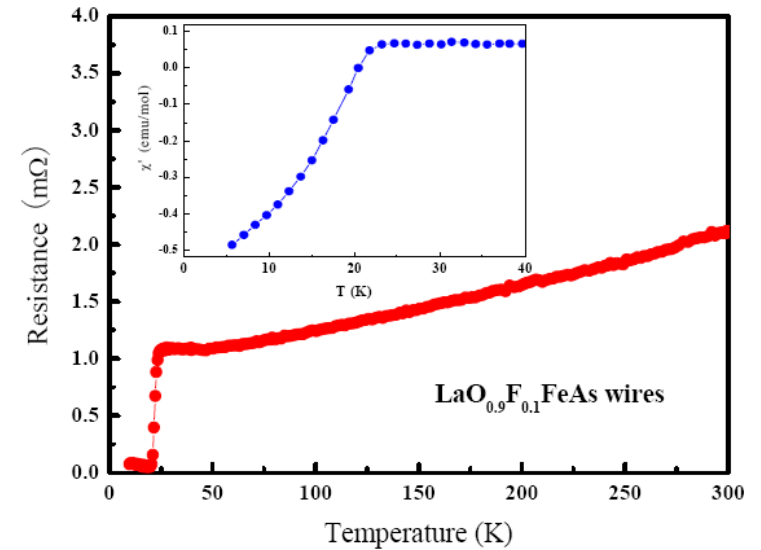
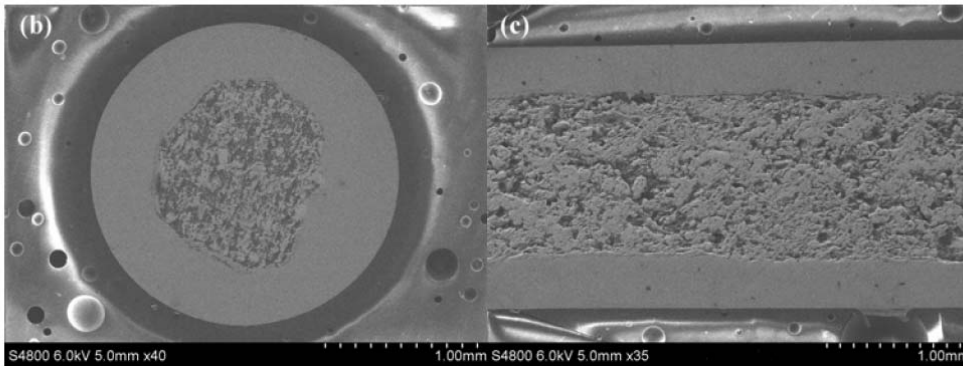




# 線材の作製 $\text{La}(\text{O}_{0.9}\text{F}_{0.1})\text{FeAs}$



原料粉末: La, As,  $\text{LaF}_3$ , Fe and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$   
金属管: Fe, Ti(バッファ層)



# 新超伝導体の取り組み

高温酸化物超伝導体を越えられるか？  
新しい超伝導ファミリーへの期待

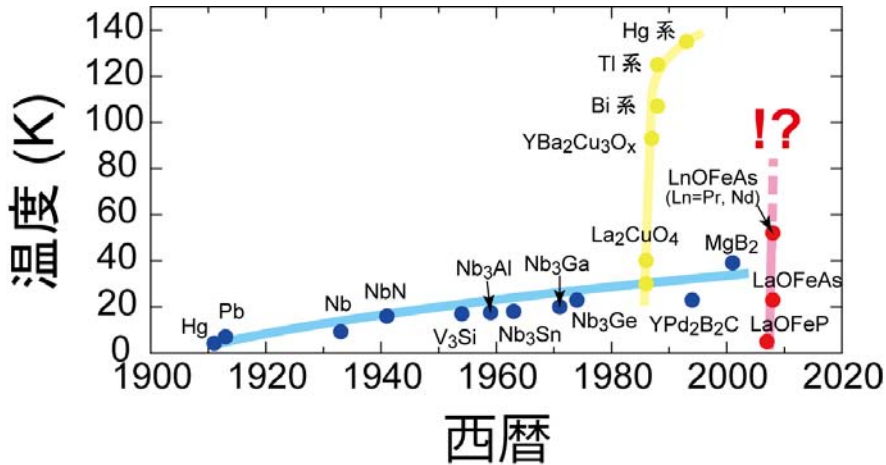


早急な取り組みが必要

新物質探索



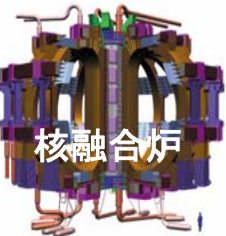
応用基盤研究



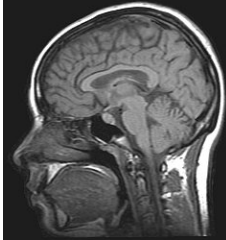
送電ケーブル



リニア  
モーターカー



核融合炉



モータ



超低消費  
エネルギー  
超高速  
デバイス



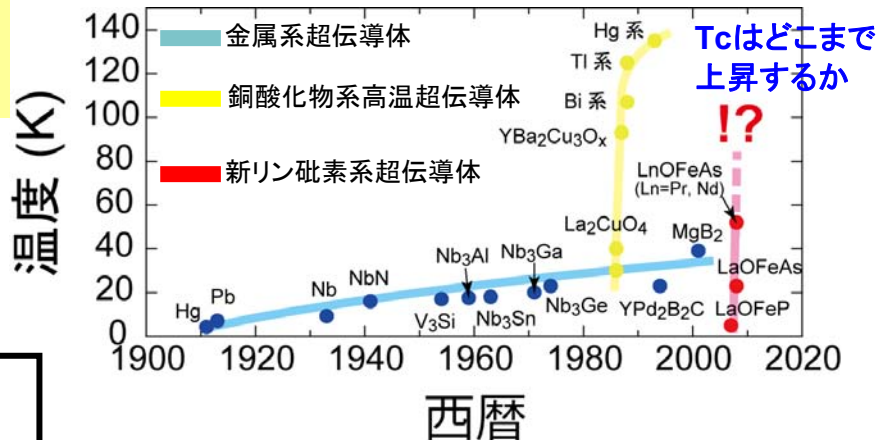
トランス

# 新規超伝導物質の開発

Tcを室温近くまで上昇させる

イノベーション

物質探索・開発 → 材料化 → システム化 → 製品  
 第一歩としての探索・開発の重要性



様々な合成技術を駆使して新超伝導物質の探索と開発を進める



常圧合成



超高压合成



化学的方法



薄膜作成



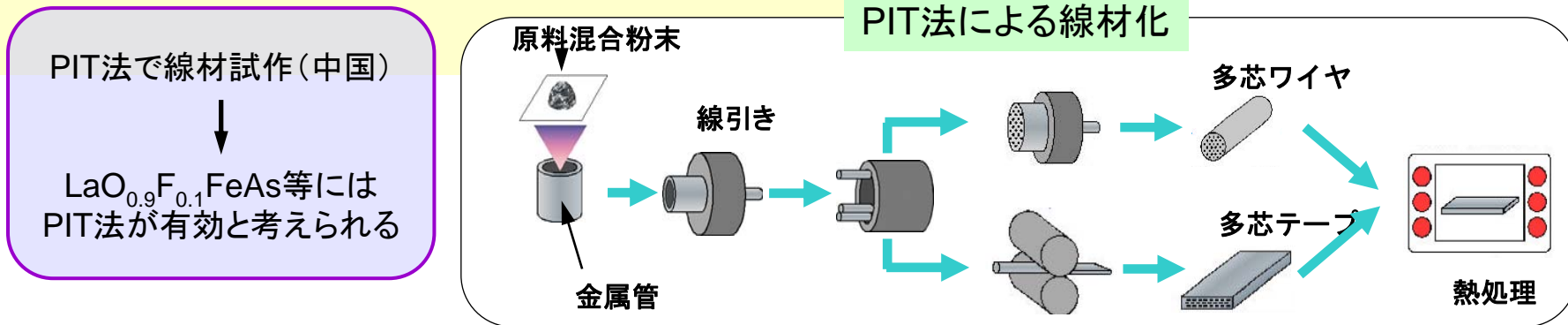
単結晶育成

新鉄砒素系物質には超高压合成法が極めて有力(中国で多くの結果を出している)  
 日本でもNIMS、AIST、京大、室蘭工大等が超高压合成に対応

## 超伝導体の線材化法

1. パウダー・イン・チューブ(PIT)法 → 物材機構(多くの実績)
2. 複合加工法
3. 蒸着法 → 超電導工学研究所(ISTEC)
4. メッキ法
5. ……

## 新超伝導体 ( $\text{LaO}_{0.9}\text{F}_{0.1}\text{FeAs}$ など)の 線材化研究



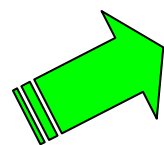
## 新超伝導体の線材化 → step by stepの研究開発が必須

### 第1段階

#### 線材化のための基礎的な検討課題

1. 最適な金属管の選定(金属管との反応性)
2. 結晶粒の結合性の評価(配向化の必要性?)
3. 異方性の大きさの評価
4. 上部臨界磁界ならびに不可逆磁界の評価
5. 機械的特性の評価
6. 経年変化するか?

大学等との連携



### 第2段階

線材高性能化に向けての取り組み



### 第3段階

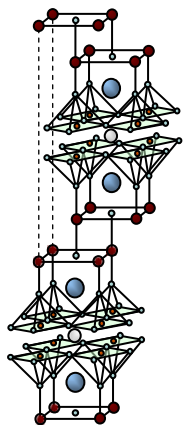
線材応用に向けた  
取り組み

# 物質・材料研究機構における超伝導体の線材化の取り組み (多くの超伝導体の線材化に成功)

## PIT(パウダー・イン・チューブ)法による線材化の例

### ビスマス系線材の開発

Bi系高温超伝導物質の発見



1988年

物質・材料研究機構  
世界で始めて合成に成功

送電ケーブル  
(Bi-2223)  
住友電工提供

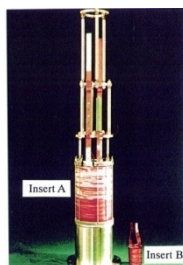


線材化技術  
の開発



Bi系線材の一例  
(Bi-2212)

Bi系線材の  
応用例



企業との連携

世界最強の  
超伝導マグネット  
(Bi-2212)

### MgB<sub>2</sub>線材の開発

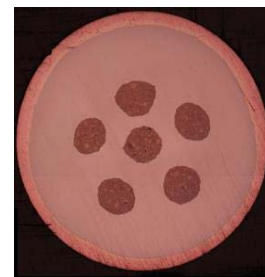
PIT法を主体  
とした線材化  
法の研究

応用研究(企業との連携)



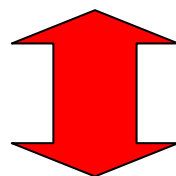
試作したMgB<sub>2</sub>ソレノイド  
コイル  
(20Kで1.3テスラを発生)

8テスラ(4.2K)ならびに  
2.5テスラ(20K)で  
10万A/cm<sup>2</sup>の実用  
レベルの臨界電流  
密度を達成  
世界最高の特性



開発したMgB<sub>2</sub>線材  
の一例

試料の解析・評価等  
(大学など)



新物質探索

応用基盤研究

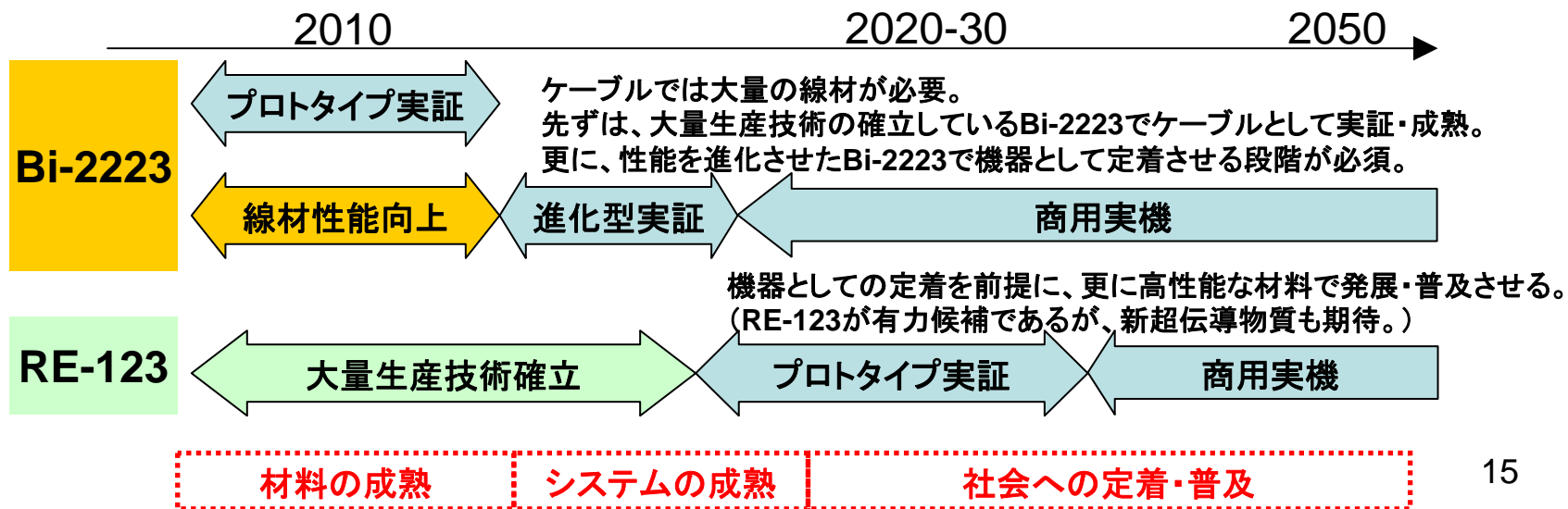
NIMSを核に組織化

# 高温超伝導材料の課題と普及へのシナリオ(例)

我が国で発見された

超伝導物質	臨界温度 T <sub>c</sub> (K)	主な形状	主な用途	大きな利点	喫緊の課題	我が国での取り組み
<b>Bi-2223</b> (銅酸化物系)	105-115	テープ	電力ケーブル 液体窒素冷却機器(弱磁場) 冷凍機冷却機器(強磁場)	<u>大量生産確立</u> 高いT <sub>c</sub>	<u>更なる特性向上</u> 機械強度	<b>NIMS- 住友電工 -東大他</b>
<b>Y-123</b> (銅酸化物系)	~90	テープ	電力ケーブル 液体窒素冷却機器	高温磁場特性	大量生産技術 歩留まり・コスト	ISTEC (経産省・NEDO)
<b>MgB<sub>2</sub></b>	35-39	線	液体HeフリーMRI 移動体用機器	軽量	(軽量を活かした) <b>高性能長尺線材</b>	<b>NIMS- JR東海-日立</b>
<b>鉄砒素系新物質</b>	??	線? テープ?	??	?? 高H <sub>c</sub> 材料安価	<b>基礎物性検証</b> <b>線材化検討</b>	??

## (例) 高温超伝導送電ケーブル普及へのシナリオ



# 超伝導応用への期待

