



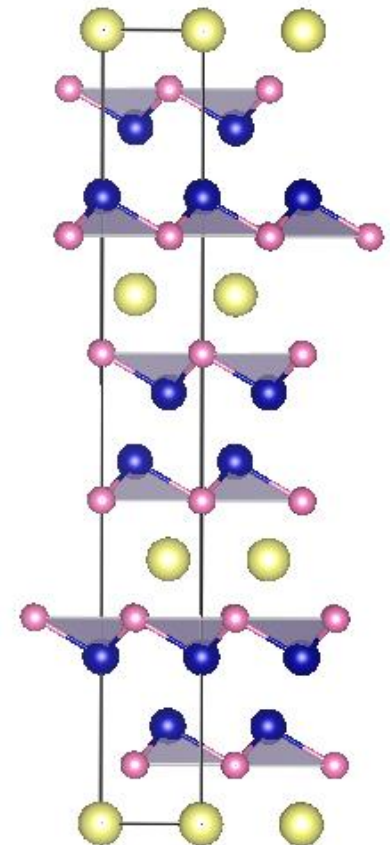
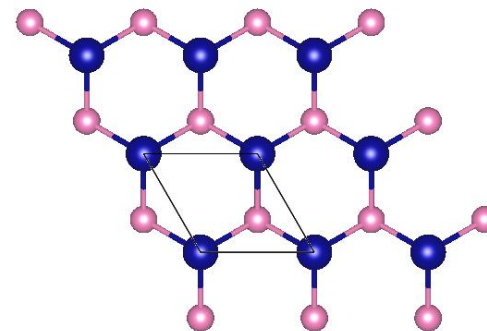
# 新規な構造を有する層状超伝 導体とその応用可能性

首都大学東京

大学院 理学研究科

物理学専攻

助教 後藤 陽介



# 本研究課題の背景

層状構造をもつ化合物で発現する多様な機能

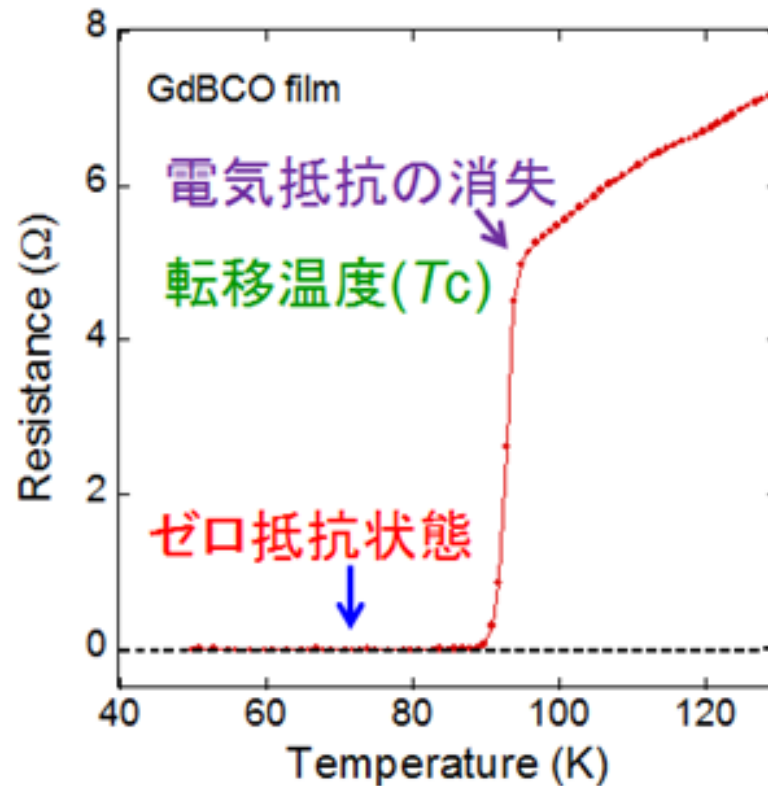
例えば、

- **超伝導：電気抵抗ゼロ**
- **熱電変換：熱を電気に直接変換**
- **水分解光触媒：光エネルギーで水を分解**



# 本研究課題の背景

超伝導状態の特徴：電気抵抗の消失(ゼロ抵抗状態)



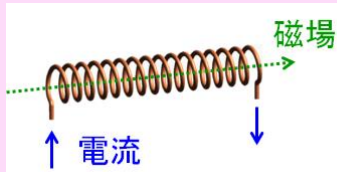
**超伝導転移温度 (Tc)**

物質特有の超伝導状態に移る温度  
より高い転移温度が超伝導応用に重要



# 本研究課題の背景

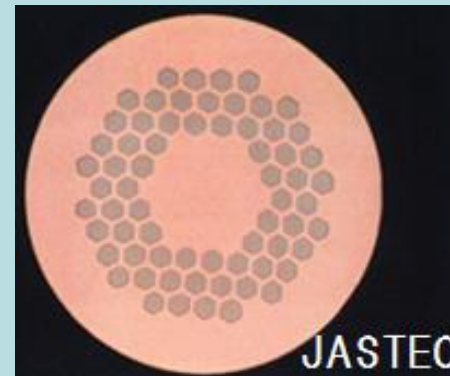
超伝導状態の特徴：電気抵抗の消失（ゼロ抵抗状態）



MRI



超伝導リニア



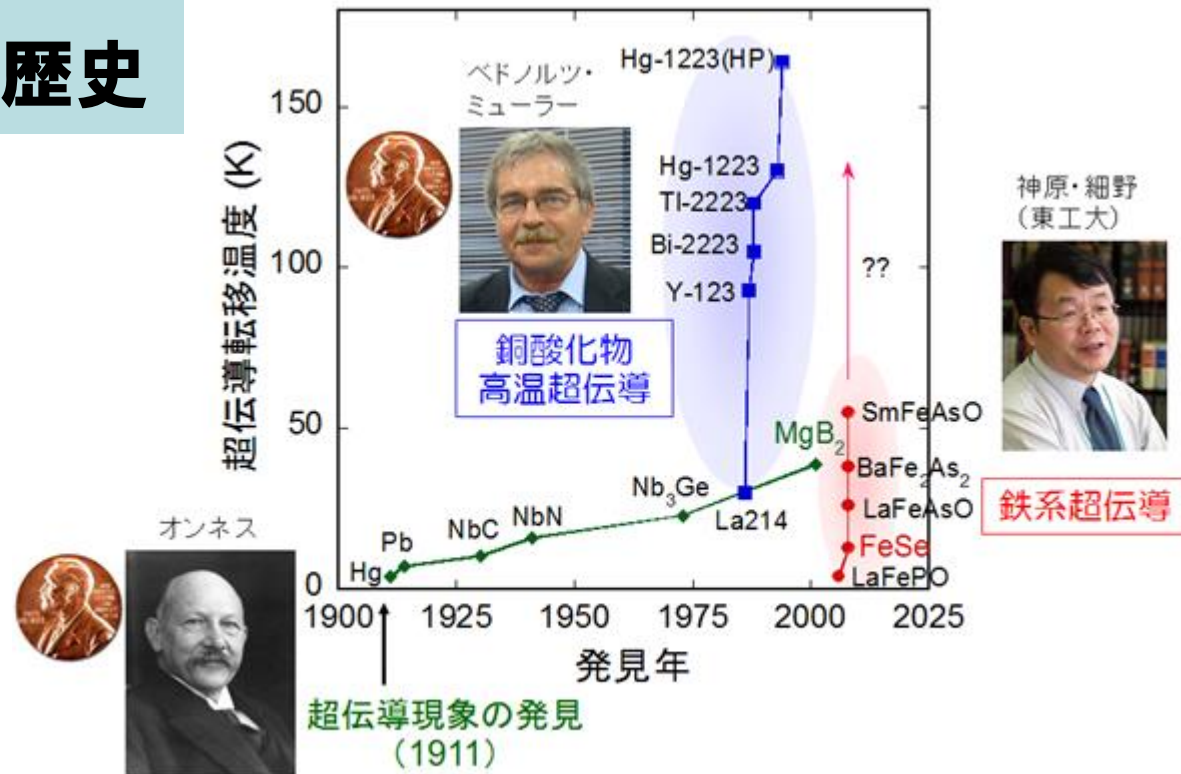
超伝導送電ケーブル

- 超伝導体で電磁石を作製すると、非常に強力かつ安定的な磁場を発生できる。
- 超伝導体で電力ケーブルを作製すれば、ロスなく大電流を送電可能。



# 本研究課題の背景

## 超伝導体開発の歴史



- 現在、液体窒素温度以上で使用できる超伝導体は、銅酸化物高温超伝導体のみ。
- 第二の超伝導転移温度を持つ物質群は2008年に発見された鉄系超伝導体。



# 従来技術の問題点

新物質で一発逆転を狙う

## 1. 超伝導転移温度が低い

銅酸化物系の転移温度 < 135 ケルビン

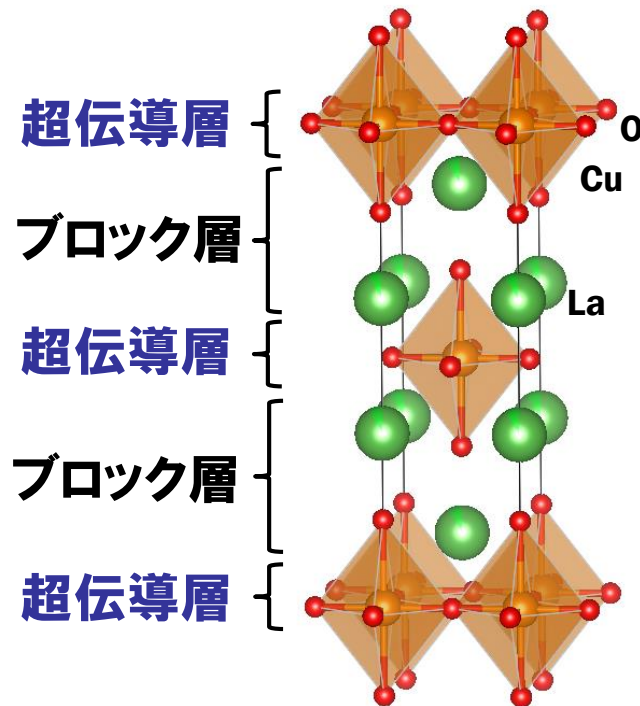
鉄系の転移温度 < 58 ケルビン

## 2. 希土類元素を含むためコストが高い

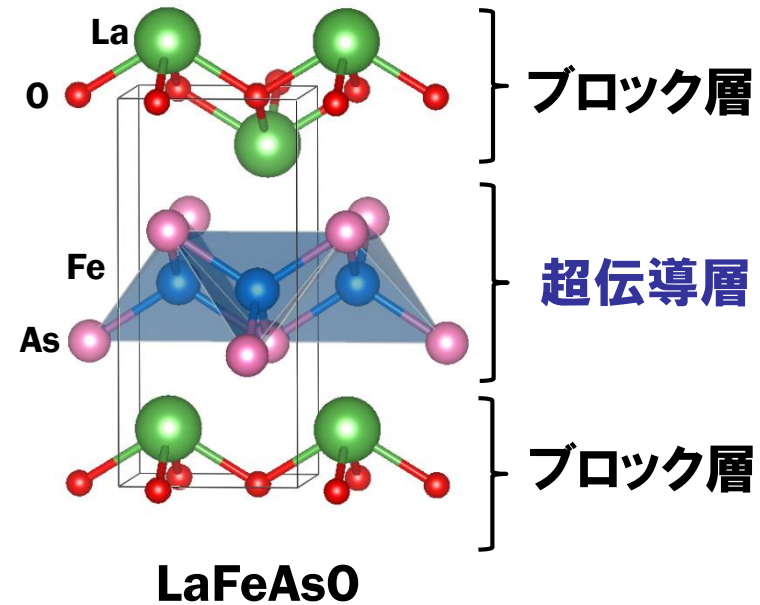




# 新超伝導体設計指針



銅酸化物系



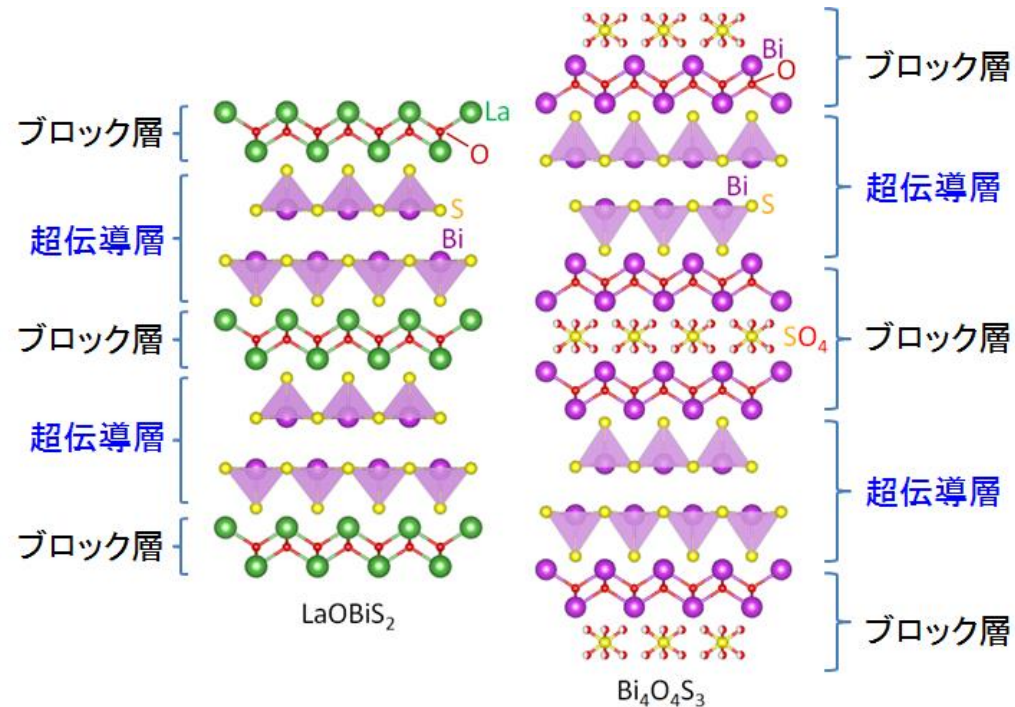
鉄系

- 層状化合物で高温超伝導が発見されている
- 超伝導層とブロック層の積層構造が重要



# 層状超伝導体の開発例

## BiS<sub>2</sub>系（首都大発2012～）

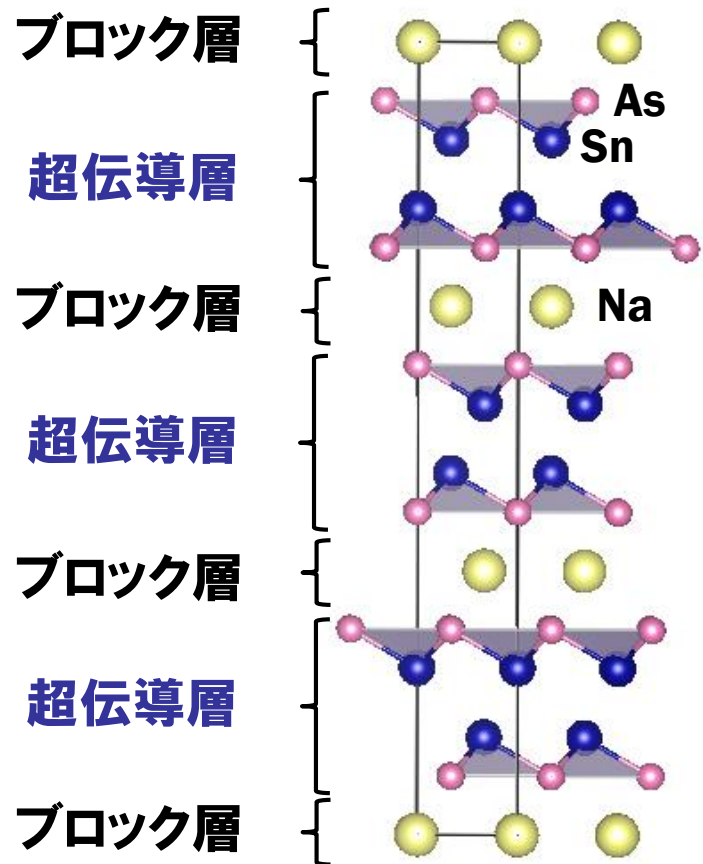


- 超伝導層(ビスマスと硫黄の層)とブロック層の積層構造
- 多様な類似超伝導体が存在（様々なブロック層）
- 熱電材料としても有望

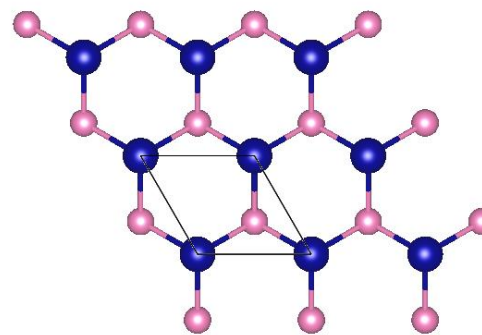




# 新技術(新超伝導体)の特徴



## SnPn系



ハニカム型SnAs伝導層

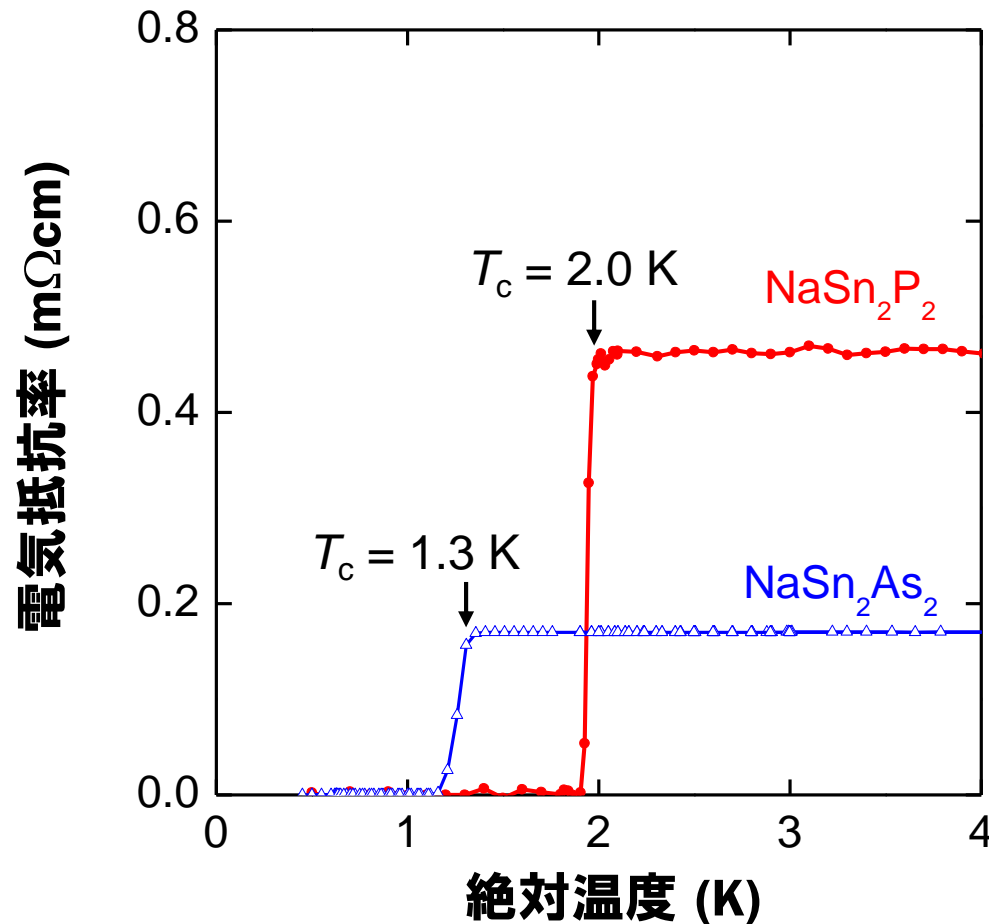
boron 5 B 10.811	carbon 6 C 12.011	nitrogen 7 N 14.007	oxygen 8 O 15.999
aluminium 13 Al 26.982	silicon 14 Si 28.086	phosphorus 15 P 30.974	sulfur 16 S 32.065
gallium 31 Ga 69.723	germanium 32 Ge 72.61	arsenic 33 As 74.922	selenium 34 Se 78.96
indium 49 In 114.82	tin 50 Sn 118.71	antimony 51 Sb 121.76	tellurium 52 Te 127.60
thallium 81 Tl 204.38	lead 82 Pb 207.2	bismuth 83 Bi 208.98	polonium 84 Po [209]

ニクトゲンPn

スズとニクトゲンからなる超伝導層



# 新技術(新超伝導体)の特徴



- これまでに、NaSn<sub>2</sub>As<sub>2</sub>とNaSn<sub>2</sub>P<sub>2</sub>という2種類の超伝導体を発見
- 転移温度は1-2 ケルビン程度



# 新技術(新超伝導体)の特徴

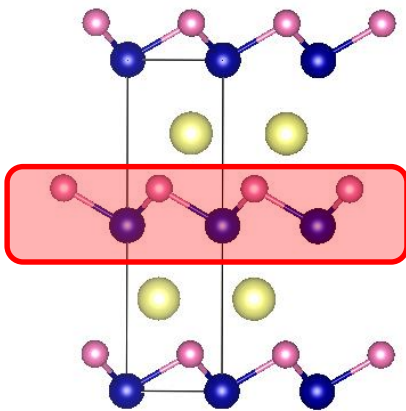
1. 新超伝導体であり、転移温度上昇の期待
  - ✓ 現在のところ転移温度は2ケルビン以下と低い
  - ✓ 転移温度上昇に向けて研究開発中
2. 希土類元素を含まない
3. 低温合成が可能
  - 典型的な合成温度は400-500°C程度



# 新技術(新超伝導体)の特徴

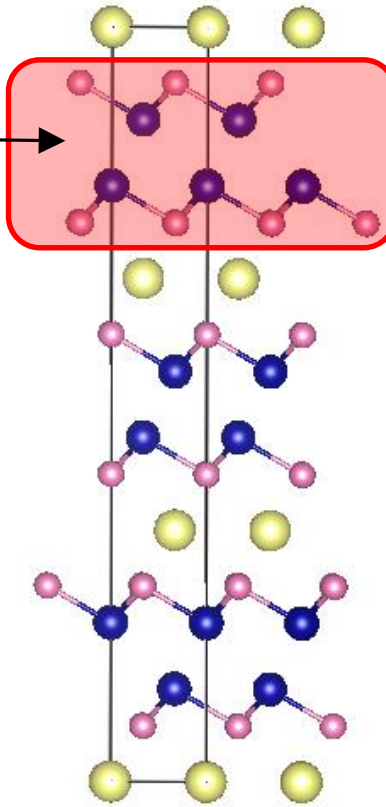
SnPn系層状化合物  
～新しい超伝導物質群(候補)～

ファンデルワールス・ギャップ  
(へき開可能)

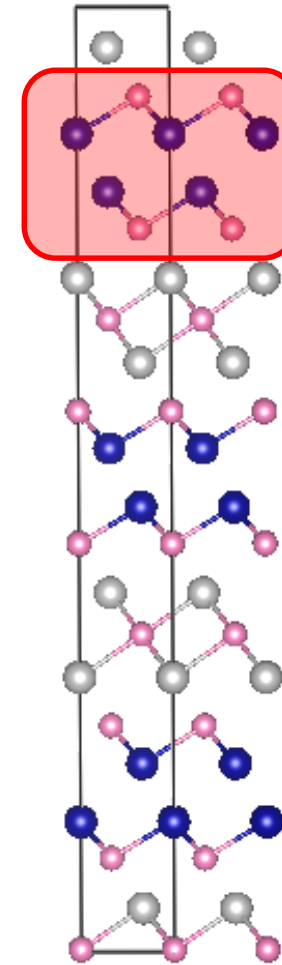


ASnPn  
(111-type)

高効率熱電材料  
(理論予測)



ASn<sub>2</sub>Pn<sub>2</sub>  
(122-type)



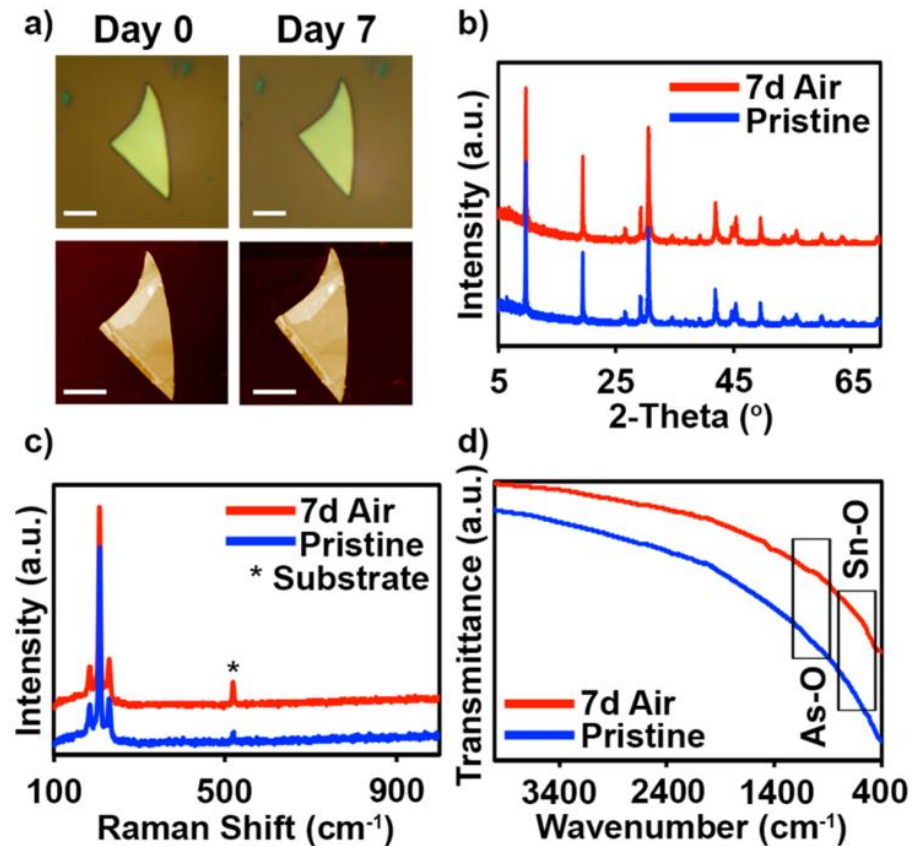
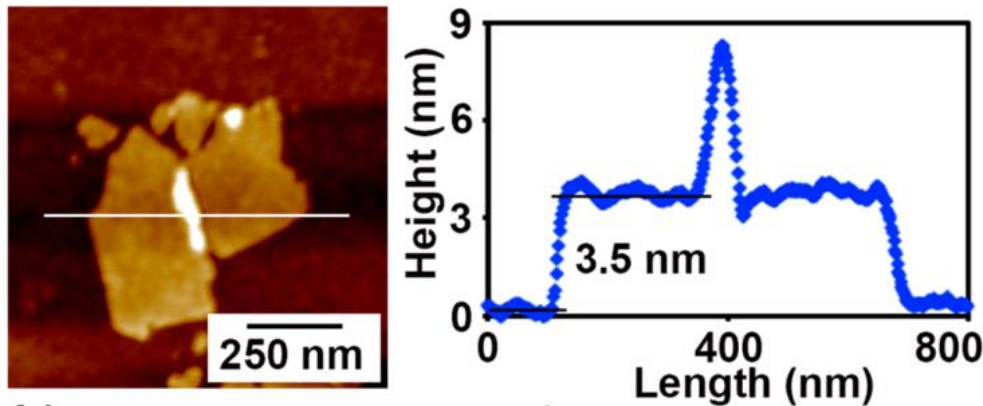
Sn<sub>4</sub>Pn<sub>3</sub>  
(43-type)



# 新技術(新超伝導体)の特徴

へき開によりナノスケールまで薄膜化可能

スコッチ・テープ法 or 溶液中での攪拌



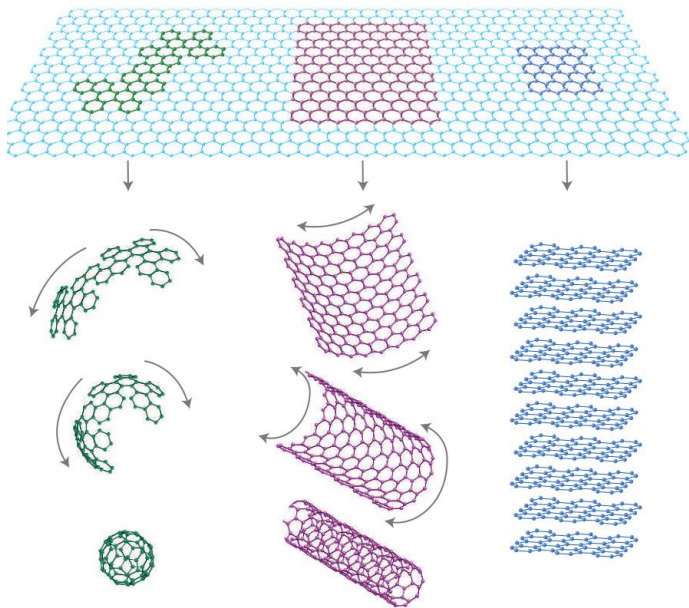
Arguilla et al.  
ACS Nano (2016)



# 新技術(新超伝導体)の特徴

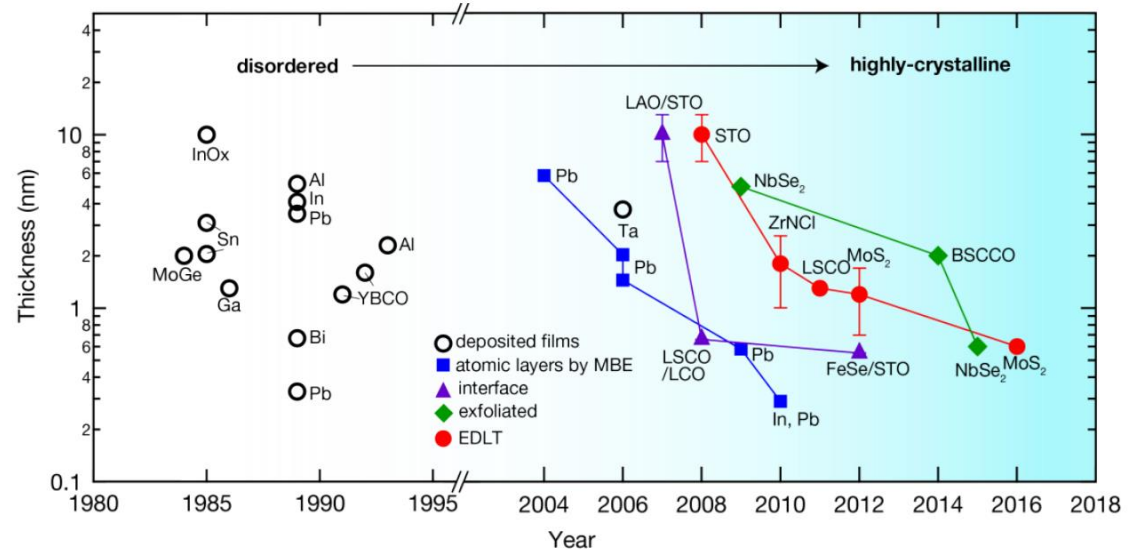
## へき開で開拓する低次元物理の例

グラフェン etc.



Geim et al. Nature Mater. (2007)

## 2次元超伝導体



Saito et al. Nature Rev. Mater. (2016)





# 想定される用途

## 1. 超伝導ケーブルや超伝導磁石

- 高温超伝導化に成功すれば、銅酸化物高温超伝導系に代わる超伝導材料になりうる。
- また、磁場に強い性質を発現できれば、低温超伝導材料としてNb系に代わる超伝導材料になりうる。

## 2. 固有ジョセフソン素子

高性能なジョセフソン素子としての利用やテラヘルツ発振などの応用が実現できる可能性がある。量子デバイスや超高感度センサーとしての利用が期待できる。



# 想定される業界

## 【対象・利用者】

新規デバイス、次世代コンピュータなどの開発。

電力関連、超伝導応用関連の事業者。



# 実用化に向けた課題

## 1. 高温超伝導化のための新物質開発

本技術の拡張で、新しい類似の層状超伝導体を多く発見することが重要であり、それらが高温超伝導を示せば大規模な超伝導応用開発が期待される。

## 2. 詳細な超伝導特性の解明

ジョセフソン素子として利用する利点・他の材料との比較を行うために、新超伝導体の特性を評価する必要がある。



# 企業に期待すること

1. 本技術の新超伝導体は発見されたばかりであり、転移温度上昇に向けた研究開発を推進しています。新物質探索という挑戦的な研究への支援を期待します。
2. 現在達成している転移温度は低いですが、ファンデルワールス・ギャップをもつハニカム型伝導層という特徴はグラファイトや遷移金属カルコゲナイドと共通の特徴です。これらの化合物に実績のある企業との共同研究を期待します。



# 知的財産権・学術文献

## 【学術文献】

1. Y. Goto et al. J. Phys. Soc. Jpn. **86**, 173701 (2017).
2. Y. Goto et al. arXiv:1805.07847
3. K. Ishihara et al. arXiv:1805.12422



## 【知的財産権】

発明の名称 : 超電導体  
出願番号 : 特願2018- 31880  
出願人 : 公立大学法人首都大学東京  
発明者 : 水口 佳一、後藤 陽介



# お問い合わせ先

- ・ **首都大学東京 U R A 室**  
**主幹 U R A 櫻間 宣行**
- ・ **T E L 042-677-2759**
- ・ **F A X 042-677-5640**
- ・ **e-mail soudanml@jmj.tmu.ac.jp**

