

## 平成26年度先端科学技術セミナープログラム

講義ノート：<http://nmr.mp.es.osaka-u.ac.jp>

1	はじめに	(担当:北岡)	10月 1日
2	強相関電子系における多彩な固体電子物性	(担当:木村)	10月 8日
3	超伝導のフロンティア	(担当:椋田)	10月15日
4	シンクロトロン放射光を用いた構造物性	(担当:若林)	10月22日
5	高エネルギー固体電子分光の最先端 —シンクロトロン放射光とレーザーによるバルク敏感光電子分光—	(担当:関山)	10月29日
6	レーザーによる物質科学の最前線—光物性から物質の操作まで—	(担当:芦田)	11月 5日
7	分子エレクトロニクスの現状と将来展望	(担当:多田)	11月12日
8	計算物理の物質科学への応用	(担当:草部)	11月19日
9	スピントロニクスの現状と次世代デバイスへの展望	(担当:鈴木)	11月26日
10	光と電気によるスピン制御と量子情報	(担当:水落)	12月 3日
11	量子情報科学—物理と情報のエンタングルメント—	(担当:井元)	12月10日
12	強相関電子系物性の次世代ナノデバイス展開	(担当:田中)	12月17日
13	カーボンナノサイエンス・ナノテクノロジーの現状と次世代デバイスへの展望	(担当:松本)	1月 7日
14	計算機による物質設計の現状とフロンティア	(担当:吉田)	1月14日
15	「量子多体論の最前線—強相関電子系からトポロジカル絶縁体・超伝導まで—」	(担当:藤本)	1月21日
16	極限環境下の物質科学—金属水素は室温超伝導になるか—	(担当:清水)	2月 4日

### 物性物理科学コース

産業科学研究所 (松本、田中、小口各研究室)

清水研究室 (基礎工学研究科附属・極限科学センター)  
超高圧・極低温・強磁場下の極限物性研究

草部研究室  
凝縮系物質の量子シミュレーション法とその手法開発

吉田研究室  
コンピュータシミュナルマテリアルデザイン

藤本研究室  
量子凝縮相の理論研究

井元研究室  
量子情報処理および量子光学の研究

芦田研究室  
レーザー光と物質の相互作用の基礎及び応用研究

関山研究室  
SPPs 放射光分光バルク敏感・角度分解光電子分光

北岡研究室  
多元極限環境下でのNMR法を用いた物質科学の先端研究

多田研究室  
分子エレクトロニクス、界面エンジニアリング

鈴木研究室  
スピントロニクスとナノスピントロニクス新物質の創製

木村研究室  
強相関電子系における多彩な固体電子物性開拓

計算理論科学

量子光学・レーザー科学技術

強相関電子物性

物質機能科学

## 科学と技術の連携・協奏・融合の好循環(基礎工学)

生活の中の永久磁石

**ネオジウム磁石:  $Nd(Dy)_2Fe_{14}B$**

希土類元素(Nd, Dy)は希少元素なので、これらの元素を極力使わなくても、同等な機能を保持できる基礎研究が必要

元素戦略 → 新しい知の創出

超伝導の応用 革新的技術へ応用

超伝導は低温にならないと発現しない

冷却に莫大なコストが必要

高温で超伝導になる物質が必要

▲超伝導ケーブル ▲リニアモーターカー ▲ジョセフソン素子

Engineering Science

技術を掘り下げ生まれる知の活用 基礎科学にした技術

最高性能永久磁石 知の創出 超伝導

発見機構 物性 新物質 ものづくり


物性物理学に基づく本質を突く学術研究

## 「物性物理学」とは、..


物質の性質(物性)を理解し可能性を追求する学問

**原子から**

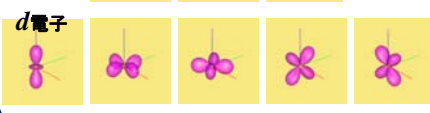
s電子



p電子



d電子



非周期, 非対称, 不均質  
不均一, ランダム

**アモルファス太陽電池**


**金属ガラス**  
高強度・高靭性



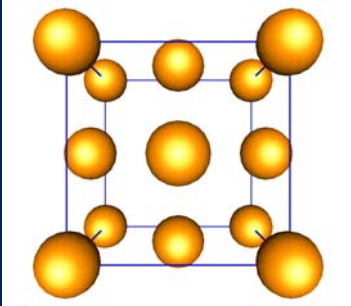
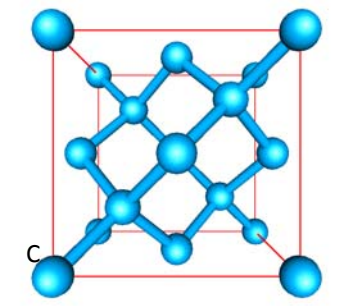
**アモルファス鉄心**  
モーター  
世界最高効率(96%)

**10<sup>23</sup>個もの原子の集合体としての性質は?**



導電材料、絶縁素材、半導体素材、超伝導材料、磁性材料、熱電材料、特殊素材、..... いろいろ!

物質科学(物性物理科学)  
→ 10<sup>23</sup>個もの電子が織りなす  
新しい物質・物性・機能応用

金属	絶縁体
 <p data-bbox="379 633 427 678">銅</p>	 <p data-bbox="1026 656 1249 701">ダイヤモンド</p>
<p data-bbox="1137 712 1270 734">提供：八木健彦氏</p> <p data-bbox="403 801 1185 857">なぜ「金属」と「絶縁体」の違いが生まれるか？</p>	

金属	絶縁体
 <p data-bbox="555 1391 603 1435">銅</p>	<p data-bbox="882 1391 1074 1435">ダイヤモンド</p> 
 <p data-bbox="427 1776 451 1798">Cu</p>	 <p data-bbox="866 1720 882 1742">C</p>
<p data-bbox="507 1809 659 1843">電子数29個</p> <p data-bbox="467 1865 659 1910">原子の間隔</p> <p data-bbox="403 1921 563 1966">原子の数</p>	<p data-bbox="962 1809 1090 1843">電子数6個</p> <p data-bbox="754 1865 1137 1910">2~3 Å (1 Å = 10<sup>-8</sup>cm)</p> <p data-bbox="699 1921 1185 1966">10<sup>22</sup>~10<sup>23</sup>/cm<sup>3</sup> → 凝縮系</p>

# 物性物理学の20世紀の大発明 - 半導体 -

**真空管**  **半導体トランジスタの発明(1948)**  **固体素子 (小さくて、丈夫)**

**シリコン**  
**ゲルマニウム**

**Shockley Bardeen Brattain**  
ノーベル物理学賞 (1956)


From Nobel Foundation

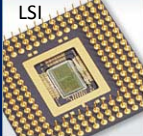
制御しやすい  
→ スイッチ

**First computer (USA)**  
**ENIAC(1946)**  
Vacuum tube = 17468 pieces  
<http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:Eniac.jpg>

**絶縁体 + 不純物 (P,B)**  
→ 電子 (キャリアー) の注入

**半導体**  
(電気が少し流れる)

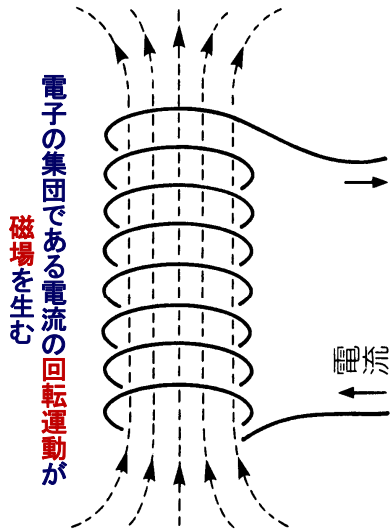
**Transistor** 

**LSI** 

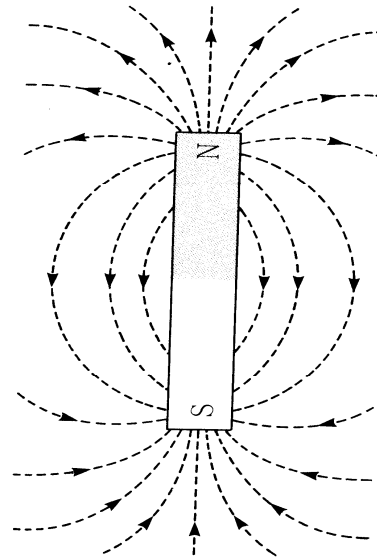
**キャリアドーピングによる絶縁体の金属化**

## 永久磁石の不思議な世界

### コイルに流れる電流による磁場



### 永久磁石による磁場の発生 (電流注入なし: 脱エネルギー物質)



## 「磁石」の「見えざる力」の謎が解明 (20世紀)

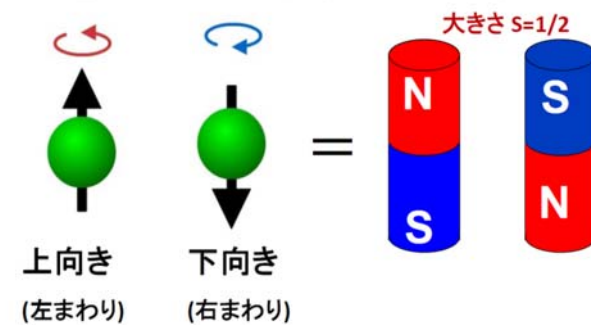
磁石の「見えざる力」の謎



原子物理・  
量子力学の発展  
(20世紀初頭、ヨーロッパ中心)

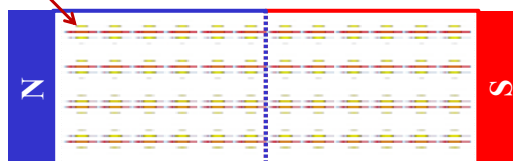
磁石の謎の解明

電子はコマのように回る(スピンする)



電子が磁石(スピン)

ミクロに見た永久磁石



# 周期表

(基底状態の中性原子の外殻電子配置)

原子およびイオンの電子配置を示す記号については、すべての初歩的な原子物理学の教科書において述べられている。文字  $s, p, d, \dots$  は  $h$  を単位とする軌道角モーメント  $0, 1, 2, \dots$  をもっている電子を示す。文字の左側の数字は軌道の主量子数を示す。右肩上の数字はそ

H <sup>1</sup>																	He <sup>2</sup>				
1s																	1s <sup>2</sup>				
Li <sup>3</sup>	Be <sup>4</sup>															B <sup>5</sup>	C <sup>6</sup>	N <sup>7</sup>	O <sup>8</sup>	F <sup>9</sup>	Ne <sup>10</sup>
2s	2s <sup>2</sup>															2s <sup>2</sup> 2p	2s <sup>2</sup> 2p <sup>2</sup>	2s <sup>2</sup> 2p <sup>3</sup>	2s <sup>2</sup> 2p <sup>4</sup>	2s <sup>2</sup> 2p <sup>5</sup>	2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup>
Na <sup>11</sup>	Mg <sup>12</sup>															Al <sup>13</sup>	Si <sup>14</sup>	P <sup>15</sup>	S <sup>16</sup>	Cl <sup>17</sup>	Ar <sup>18</sup>
3s	3s <sup>2</sup>															3s <sup>2</sup> 3p	3s <sup>2</sup> 3p <sup>2</sup>	3s <sup>2</sup> 3p <sup>3</sup>	3s <sup>2</sup> 3p <sup>4</sup>	3s <sup>2</sup> 3p <sup>5</sup>	3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup>
K <sup>19</sup>	Ca <sup>20</sup>	Sc <sup>21</sup>	Ti <sup>22</sup>	V <sup>23</sup>	Cr <sup>24</sup>	Mn <sup>25</sup>	Fe <sup>26</sup>	Co <sup>27</sup>	Ni <sup>28</sup>	Cu <sup>29</sup>	Zn <sup>30</sup>	Ga <sup>31</sup>	Ge <sup>32</sup>	As <sup>33</sup>	Se <sup>34</sup>	Br <sup>35</sup>	Kr <sup>36</sup>				
4s	4s <sup>2</sup>	3d	3d <sup>2</sup>	3d <sup>3</sup>	3d <sup>4</sup>	3d <sup>5</sup>	3d <sup>6</sup>	3d <sup>7</sup>	3d <sup>8</sup>	3d <sup>9</sup>	3d <sup>10</sup>	4s <sup>2</sup> 4p	4s <sup>2</sup> 4p <sup>2</sup>	4s <sup>2</sup> 4p <sup>3</sup>	4s <sup>2</sup> 4p <sup>4</sup>	4s <sup>2</sup> 4p <sup>5</sup>	4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup>				
Rb <sup>37</sup>	Sr <sup>38</sup>	Y <sup>39</sup>	Zr <sup>40</sup>	Nb <sup>41</sup>	Mo <sup>42</sup>	Tc <sup>43</sup>	Ru <sup>44</sup>	Rh <sup>45</sup>	Pd <sup>46</sup>	Ag <sup>47</sup>	Cd <sup>48</sup>	In <sup>49</sup>	Sn <sup>50</sup>	Sb <sup>51</sup>	Te <sup>52</sup>	I <sup>53</sup>	Xe <sup>54</sup>				
5s	5s <sup>2</sup>	4d	4d <sup>2</sup>	4d <sup>4</sup>	4d <sup>5</sup>	4d <sup>6</sup>	4d <sup>7</sup>	4d <sup>8</sup>	4d <sup>10</sup>	4d <sup>10</sup>	4d <sup>10</sup>	5s <sup>2</sup> 5p	5s <sup>2</sup> 5p <sup>2</sup>	5s <sup>2</sup> 5p <sup>3</sup>	5s <sup>2</sup> 5p <sup>4</sup>	5s <sup>2</sup> 5p <sup>5</sup>	5s <sup>2</sup> 5p <sup>6</sup>				
Cs <sup>55</sup>	Ba <sup>56</sup>	La <sup>57</sup>	Hf <sup>72</sup>	Ta <sup>73</sup>	W <sup>74</sup>	Re <sup>75</sup>	Os <sup>76</sup>	Ir <sup>77</sup>	Pt <sup>78</sup>	Au <sup>79</sup>	Hg <sup>80</sup>	Tl <sup>81</sup>	Pb <sup>82</sup>	Bi <sup>83</sup>	Po <sup>84</sup>	At <sup>85</sup>	Rn <sup>86</sup>				
6s	6s <sup>2</sup>	5d	4f <sup>14</sup>	5d <sup>2</sup>	5d <sup>3</sup>	5d <sup>4</sup>	5d <sup>5</sup>	5d <sup>6</sup>	5d <sup>7</sup>	5d <sup>8</sup>	5d <sup>9</sup>	6s <sup>2</sup> 6p	6s <sup>2</sup> 6p <sup>2</sup>	6s <sup>2</sup> 6p <sup>3</sup>	6s <sup>2</sup> 6p <sup>4</sup>	6s <sup>2</sup> 6p <sup>5</sup>	6s <sup>2</sup> 6p <sup>6</sup>				
Fr <sup>87</sup>	Ra <sup>88</sup>	Ac <sup>89</sup>																			
7s	7s <sup>2</sup>	6d	7s <sup>2</sup>	Ce <sup>58</sup>	Pr <sup>59</sup>	Nd <sup>60</sup>	Pm <sup>61</sup>	Sm <sup>62</sup>	Eu <sup>63</sup>	Gd <sup>64</sup>	Tb <sup>65</sup>	Dy <sup>66</sup>	Ho <sup>67</sup>	Er <sup>68</sup>	Tm <sup>69</sup>	Yb <sup>70</sup>	Lu <sup>71</sup>				
		7s <sup>2</sup>	6d	4f <sup>2</sup>	4f <sup>3</sup>	4f <sup>4</sup>	4f <sup>5</sup>	4f <sup>6</sup>	4f <sup>7</sup>	4f <sup>7</sup>	4f <sup>8</sup>	4f <sup>10</sup>	4f <sup>11</sup>	4f <sup>12</sup>	4f <sup>13</sup>	4f <sup>14</sup>	4f <sup>14</sup>				
		7s <sup>2</sup>	6d	6s <sup>2</sup>	6s <sup>2</sup>	6s <sup>2</sup>	6s <sup>2</sup>	6s <sup>2</sup>	6s <sup>2</sup>	6s <sup>2</sup>	6s <sup>2</sup>	6s <sup>2</sup>	6s <sup>2</sup>	6s <sup>2</sup>	6s <sup>2</sup>	6s <sup>2</sup>	6s <sup>2</sup>				
		7s <sup>2</sup>	6d	Th <sup>90</sup>	Pa <sup>91</sup>	U <sup>92</sup>	Np <sup>93</sup>	Pu <sup>94</sup>	Am <sup>95</sup>	Cm <sup>96</sup>	Bk <sup>97</sup>	Cf <sup>98</sup>	Es <sup>99</sup>	Fm <sup>100</sup>	Md <sup>101</sup>	No <sup>102</sup>	Lr <sup>103</sup>				
		7s <sup>2</sup>	6d	7s <sup>2</sup>	5f <sup>2</sup>	5f <sup>3</sup>	5f <sup>4</sup>	5f <sup>5</sup>	5f <sup>6</sup>	5f <sup>7</sup>	5f <sup>7</sup>	5f <sup>7</sup>	5f <sup>7</sup>	5f <sup>7</sup>	5f <sup>7</sup>	5f <sup>7</sup>	5f <sup>7</sup>				
		7s <sup>2</sup>	6d	7s <sup>2</sup>	7s <sup>2</sup>	7s <sup>2</sup>	7s <sup>2</sup>	7s <sup>2</sup>	7s <sup>2</sup>	7s <sup>2</sup>	7s <sup>2</sup>	7s <sup>2</sup>	7s <sup>2</sup>	7s <sup>2</sup>	7s <sup>2</sup>	7s <sup>2</sup>	7s <sup>2</sup>				

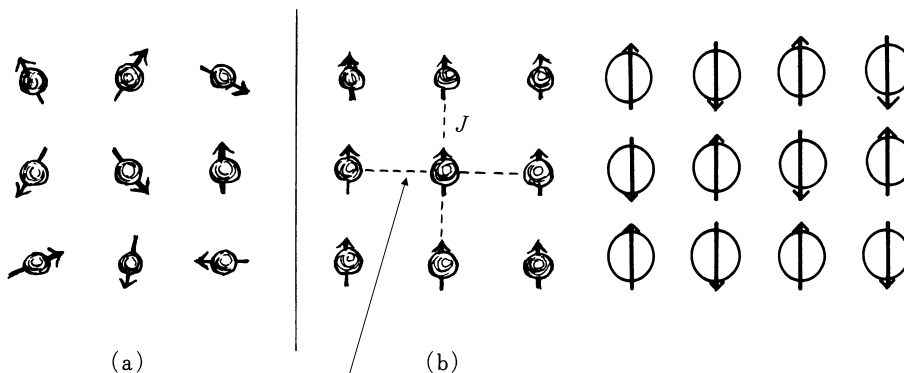
3d遷移磁性元素

4f希土類磁性元素

常磁性体

強磁性体

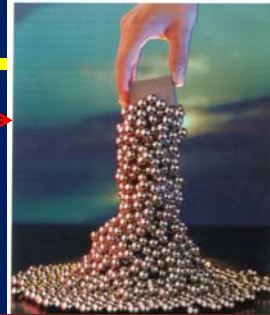
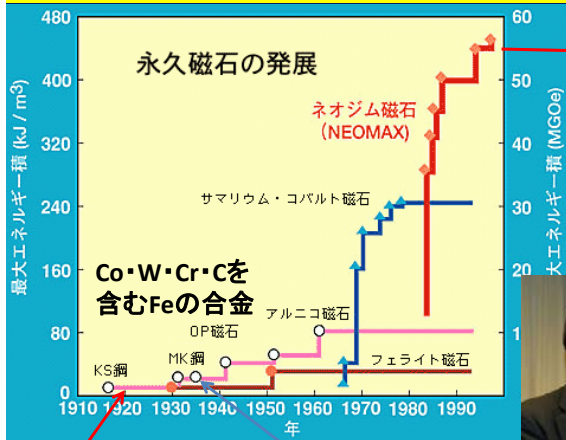
反強磁性体



量子力学的交換相互作用



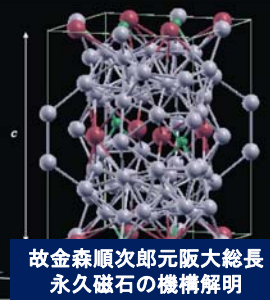
# より強い磁石の研究開発は我が国の伝統



世界最強永久磁石  $Nd_2Fe_{14}B$



佐川真人氏 (住友特殊金属)



故金森順次郎元阪大総長 永久磁石の機構解明

**KS鋼 (1916):**  
Co・W・Cr・Cを含むFeの合金。  
東北帝国大学  
**本多光太郎**

**MK鋼 (1931):**  
東京帝国大学  
**三島徳七**

# 生活の中の永久磁石

**MRI**



**電気自動車**



**$Nd(Dy)_2Fe_{14}B$  MAX**

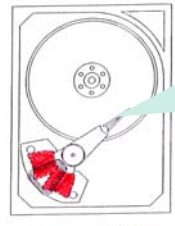
希土類元素(Nd, Dy)は希少元素なので、これらの元素を極力使わなくても、同等な機能を保持できる基礎研究が必要

元素戦略 → 新しい知の創出

**磁気記憶媒体**

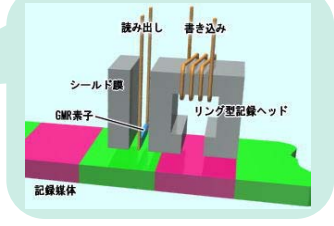


**ハードディスク**



Rotary Voice Coil Motor

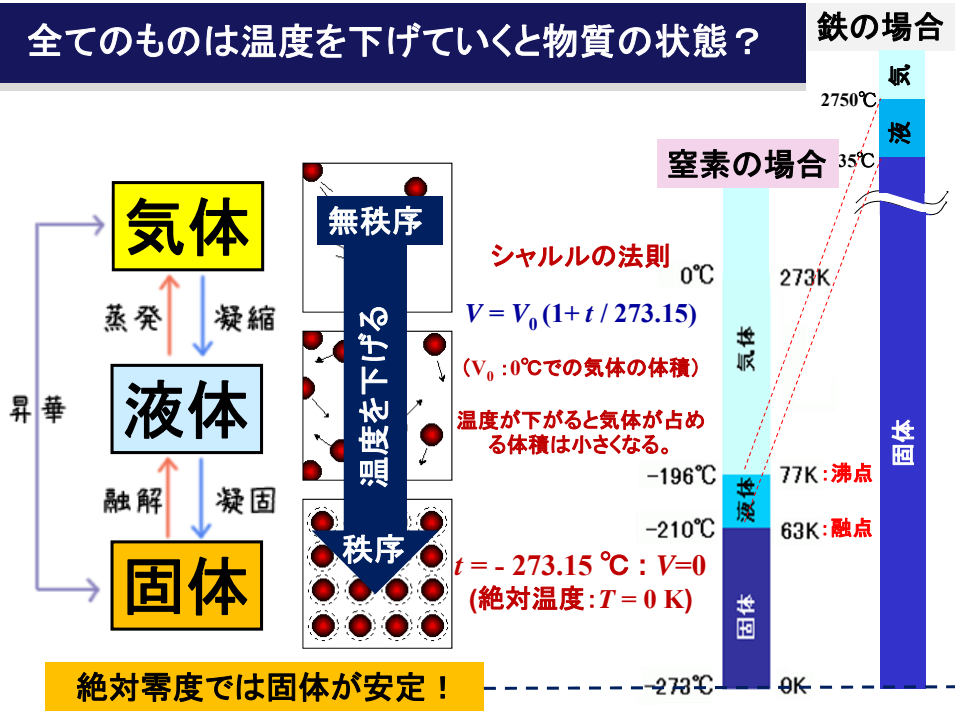
**情報読み取り磁気デバイス**



# 低温で起こる不思議な世界

## 超伝(電)導とは

全てのものは温度を下げていくと物質の状態？





温度には、  
上限はないが、下限はある

## 絶対零度

T K(ケルビン) : 絶対温度

$$0\text{ }^{\circ}\text{C} = 273.15\text{ K}$$

### 絶対零度

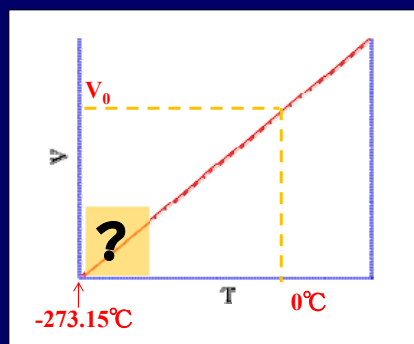
#### シャルルの法則

一定圧力の気体の体積は温度が1°C上がるごとに、0°Cのときの体積の1/273.15ずつ増加することを発見

$$V = V_0 (1 + t / 273.15)$$

$V_0$  : 0°Cでの気体の体積

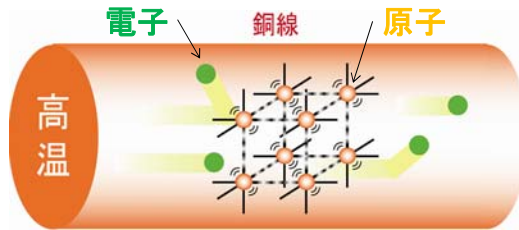
温度が高いほど、気体の運動が激しくなり、分子1個のしめる体積は大きくなる



→ 実在の気体は、冷やしていくと体積がゼロになる前に液体に

絶対零度 → 気体の熱運動がなくなる温度  
体積がゼロになる温度 (絶対温度が定義された歴史的経緯)

# 金属の電気抵抗



原子の激しい熱振動

電子は頻りに衝突  
動きにくい  
→ 大きな抵抗

熱振動は弱くなる

電子の運動は  
スムーズになる  
→ 小さな抵抗

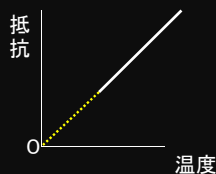
Q. 絶対零度では電気抵抗はゼロになるのか？

## 絶対零度まで温度を下げたら 金属の電気抵抗はどうなるのか？

予測1 抵抗→ゼロ

電子の運動を妨げる  
ものがなくなる？

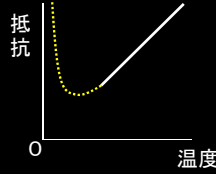
(ドルーデ、ローレンツ、**オネス**)



予測2 抵抗→∞

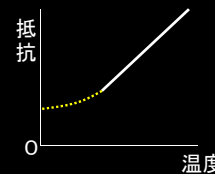
電子さえも凍って  
動けない？

(ケルビンら)



予測3 抵抗→有限値

不純物との散乱で有限  
に残る



そこで Onnesは、、、

当時得られた**純良金属**(金、銀、白金、水銀など)で電気抵抗測定

# 超伝導の発見

1908年 ヘリウム  
の液化 ( $T=4.2\text{ K}$ )

カメルリング  
・オネス

1911年, 金属中の電子ガス  
は低温でどうなるのか?

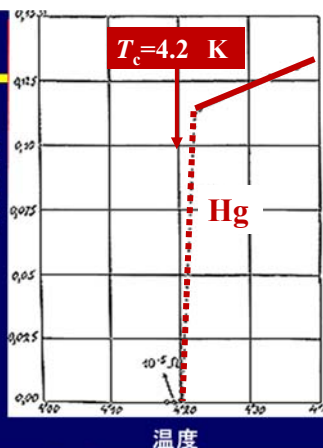
電気抵抗

ある温度以下に冷やすと突然  
電気抵抗がゼロになることを発見

超伝導の発見  
(永久電流)



Nobel Prize (1913)

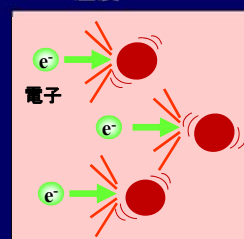
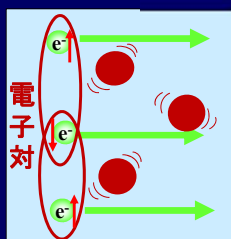


なぜ起こるのか?

半世紀間、謎のままだった\*

\* 1957年にBCS理論により解明

量子論(知)の発展なしには  
説明できなかった



## 超伝導の特徴

② マイスナー効果(磁場を全く寄せ付けない)

(完全反磁性)

超伝導体内部には  
磁束は存在しない

( $B = 0$ )

実験の様子

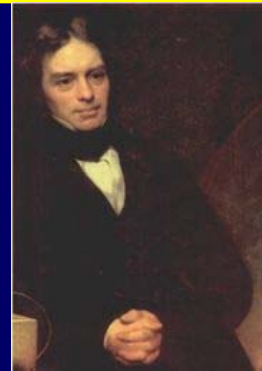
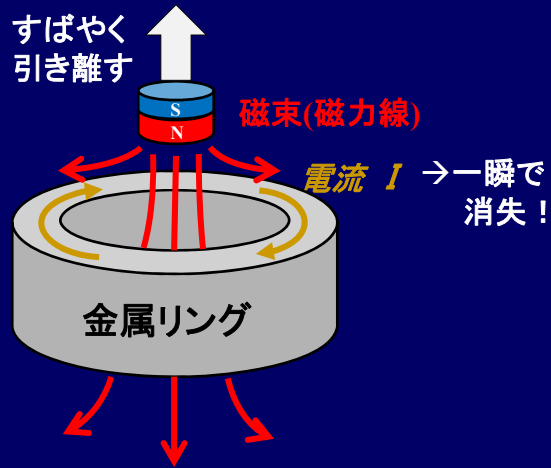


1933年に W. Meissner と R. Ochsenfeld によって  
完全反磁性が確認された。

University of Oslo HP より転載

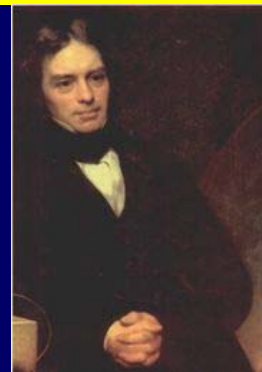
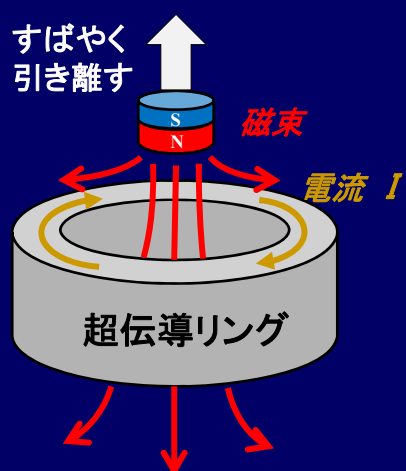


## 電磁誘導の法則



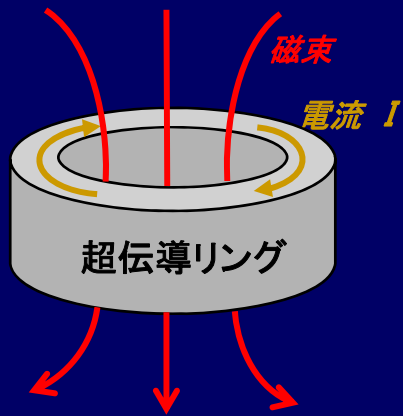
ファラデー  
イギリス  
1791-1867

## 超伝導では永久電流



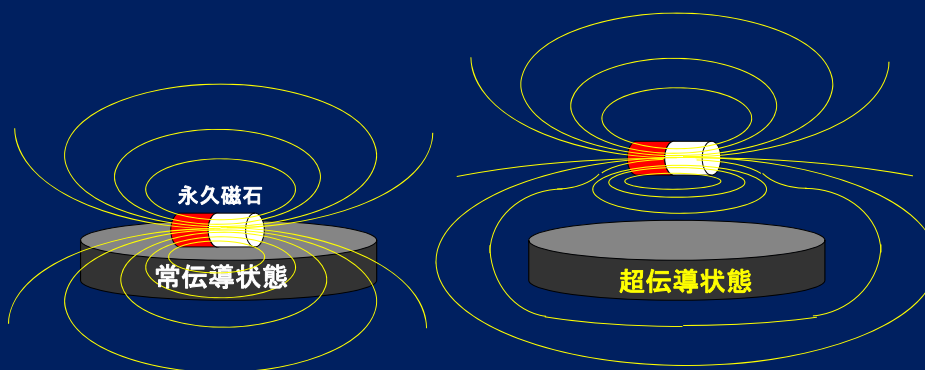
ファラデー  
イギリス  
1791-1867

## 超伝導では永久電流



抵抗ゼロ → いったん電流が流れ出すと永久に電流が流れ続ける

## 超伝導による磁気浮上



反発力と磁石自身の重力のつり合いで浮上

**TOSANOUMI**  
(Sumo Wrestler)  
Height of Tosanoumi 186cm  
Weight of Tosanoumi 142kg  
Weight of disk 60kg  
Total weight 202kg  
As of February '93

浮いた  
土佐ノ海

協力：財団法人 日本相撲協会

超電導工学研究所は、超伝導材料の高性酸化と磁石構造の改善により、超伝導体と磁石の反発を利用して土佐ノ海を浮上させることに成功しました。摩擦がありませんので、手で軽く押しただけで、土佐ノ海に乗った円盤は回転します。最高200kgまで浮上できることも確認いたしました。  
今回の成果により、超伝導体によって重量物がかなりの高さで浮上できることが確認され、磁気浮上搬送装置、磁気ヘアリングなどへの応用がさらに加速されるものと期待されています。

The Superconductivity Research Laboratory have succeeded in levitating a Sumo professional wrestler 'Tosanoumi' using a repulsive force between superconductors and permanent magnets. The repulsive force of the superconductors are three times larger than conventional ones. The disk on which Tosanoumi stands could easily be rotated because of no friction. We confirmed that an object whose weight 200kg could be levitated in the present system.  
This achievement demonstrates that we can levitate a heavy object at a relatively large space, which will promote such applications such as a load transport system and a magnetic bearing.

ISTEC 超電導工学研究所  
写真提供 (財)国際超伝導産業技術研究センター

## 超伝導を示す元素

H 1																	He 2
Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
Na 11	Mg 12											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
Cs 55	Ba 56	La 57	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86
Fr 87	Ra 88	Ac 89	Ru 104	Ha 105	Unh 106	Uns 107	Uno 108	Une 109									
Ce 58	Pr 59	Nd 60	Pm 61	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71				
Th 90	Pa 91	U 92	Np 93	Pu 94	Am 95	Cm 96	Bk 97	Cf 98	Es 99	Fm 100	Md 101	No 102	Lr 103				

冷やすだけで超伝導になる元素

高圧をかけて初めて超伝導になる元素

その多くは近年、大阪大学基礎工物性・極限センター・清水グループにより発見！！



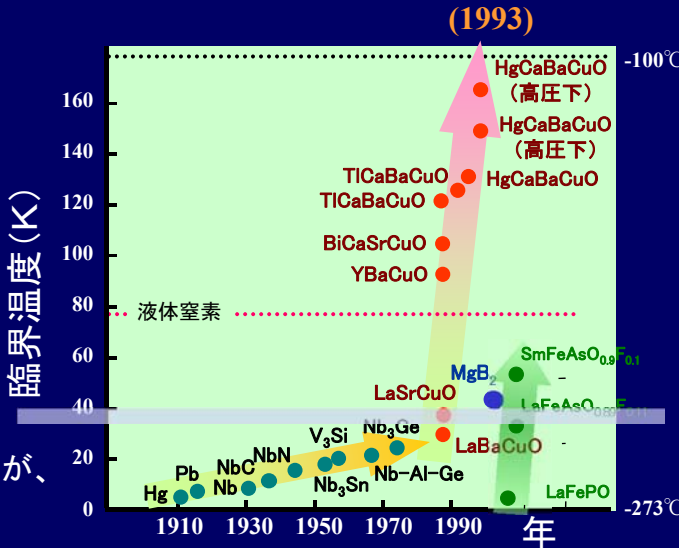
# 超伝導現象は解明された！？

超伝導転移温度の  
最高記録は1985年  
当時、24K(Nb<sub>3</sub>Ge)

理論家は、、、、

超伝導転移温度  
は高くても  
30~40K程度まで

→「BCSの壁」  
限界とされていたが、

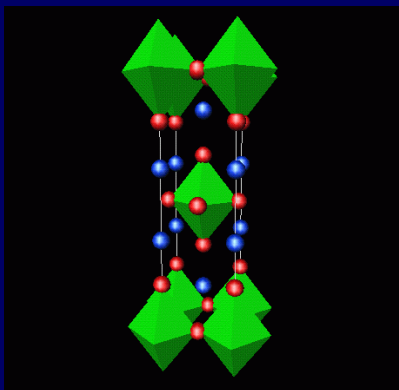


# 銅酸化物高温超伝導体の発見

1986 Bednorz & Müller

銅酸化物 (La<sub>2-x</sub>Ba<sub>x</sub>CuO<sub>4</sub>)で超伝導

T<sub>c</sub> ~ 30K



Nobel Prize (1987)

従来の超伝導の常識を覆す発見!

セラミクス(電気を通さない)を母体とした  
物質で超伝導が出たことの驚き

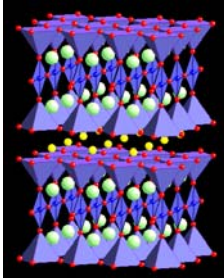
従来超伝導を壊すと理解されていた  
磁性に近いところでのみ超伝導が発現  
することの驚き

# 液体窒素につけて超伝導！



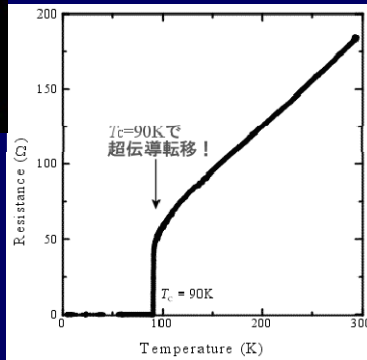
Chu

1987 銅酸化物  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-y}$  で超伝導

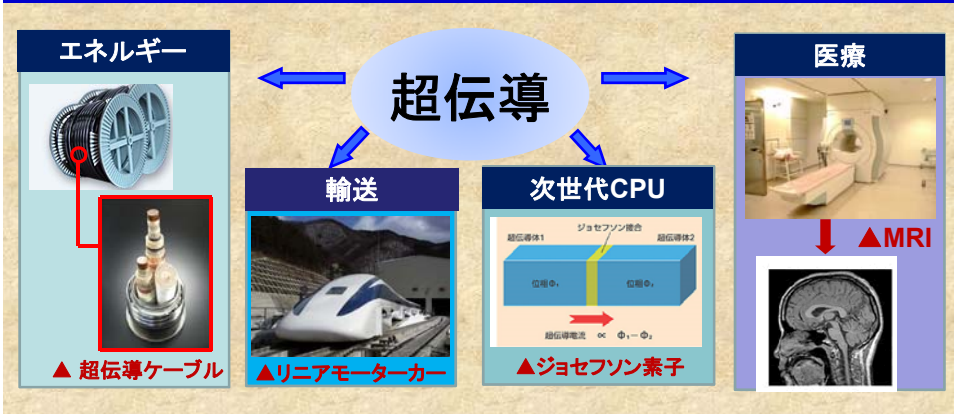


安価な低温寒剤  
液体窒素 (77K) で起こる

$T_c > 90\text{K}$



## 超伝導の応用：イノベーションへ



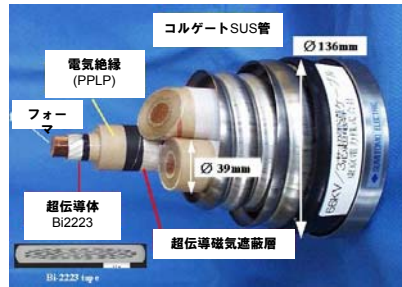
超伝導は低温にならないと発現しない

冷却に莫大なコストが必要

高温で超伝導になる物質が必要

## 超伝導の応用例 (電気抵抗=0)

- ◆ 超伝導磁石
- ◆ 超伝導送電
- ◆ 超伝導電力貯蔵



超伝導送電ケーブル



超伝導マグネット

住友電工, Cryomagnetics HPより転載



## 超伝導の応用 (リニアモーターカーの実用化)



**時速581kmを達成!**  
2003年12月2日



リニア中央新幹線「2027年に開業を目標」  
JR東海社長 2007年4月発表

財団法人鉄道総合技術研究所・東海旅客鉄道株式会社・  
リニア中央エクスプレス建設促進期成同盟会

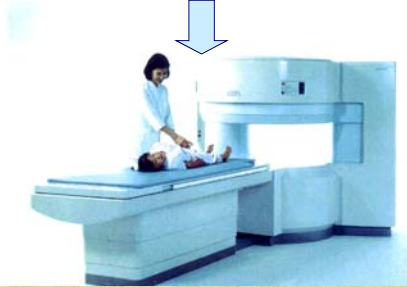


## 物質科学とMRI技術

核磁気共鳴画像診断技術  
(Magnetic Resonance Imaging)

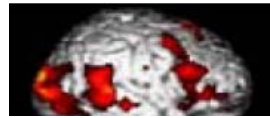
超伝導磁石型MRI装置

永久磁石型MRI装置



物質科学+イメージング技術  
+システム化技術の所産

## MRIによる脳の画像

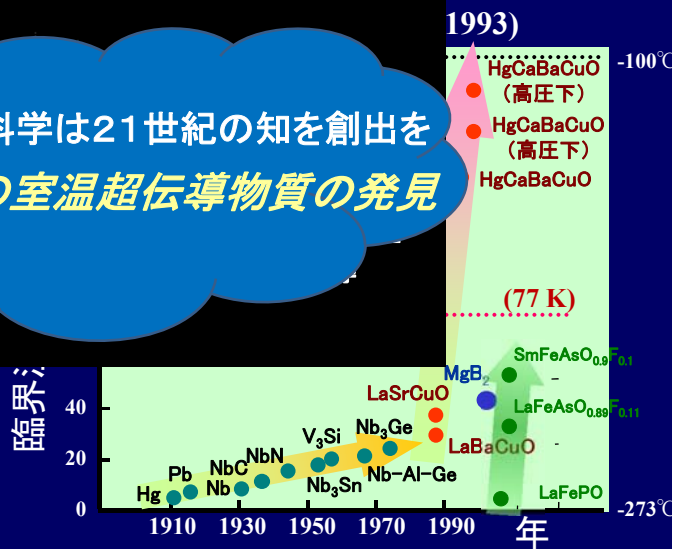


還元ヘムたんぱく質の常磁性Feスピン  
による核スピン緩和機構  
機能的MRI (脳活動の可視化)  
→ 脳科学の発展

## 銅酸化物高温超伝導物質の発見 (1986)

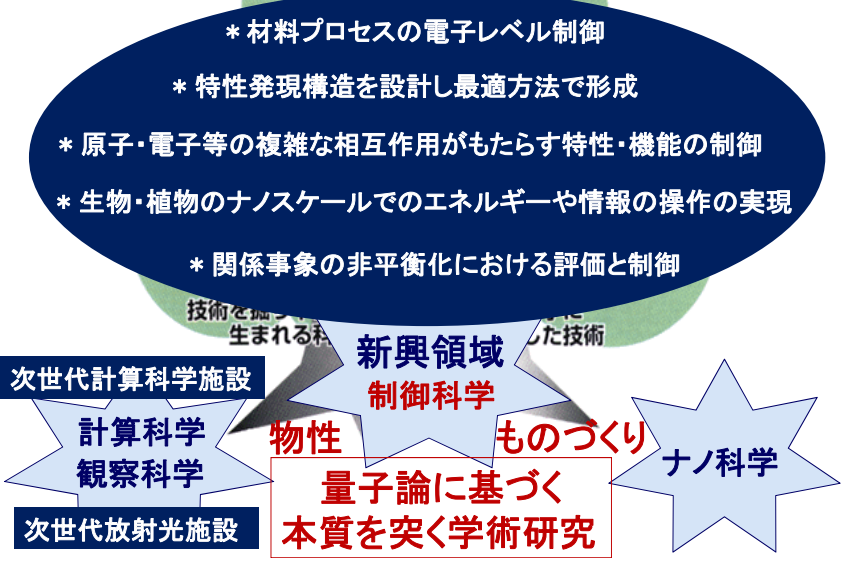
世界最高性能 高温超伝導材料

物性(物質)科学は21世紀の知を創出を  
目指せ! 夢の室温超伝導物質の発見



**社会課題:**  
 ・未来の安定したエネルギー保障  
 ・環境持続性の実現  
 ・新たな経済機会の創出

**ミッション・イニシアティブ**



**物質科学の未来に向けて**

