



平成25年3月22日  
岡山大学定例記者発表

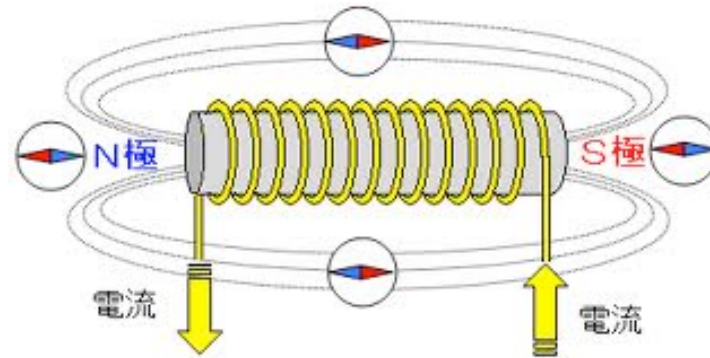
# 鉄系超伝導材料： レアアースの使用量、大幅削減に成功

鉄系超伝導基本物質の臨界温度で世界記録更新

岡山大学大学院自然科学研究科

野原 実

# 超伝導：電気抵抗ゼロ、無損失で大量の電流が流せる

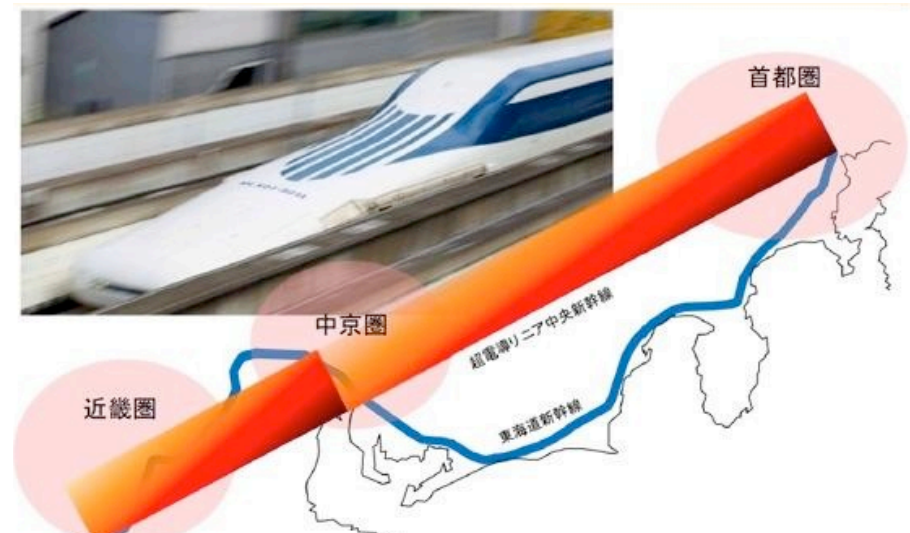


強力な磁力の超伝導電磁石が作れる

医療用 MRI（磁気共鳴画像装置）



JR東海 超伝導リニア

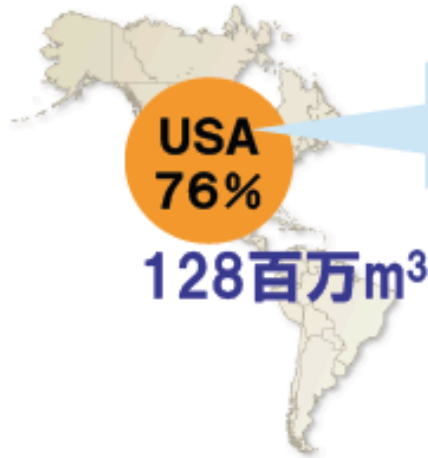


従来材料（ニオブ・チタン合金など）

高価な液体ヘリウムでセ氏零下269度へ冷却する必要あり

# ヘリウム：輸入量が大幅に減少

天然ガスより産出

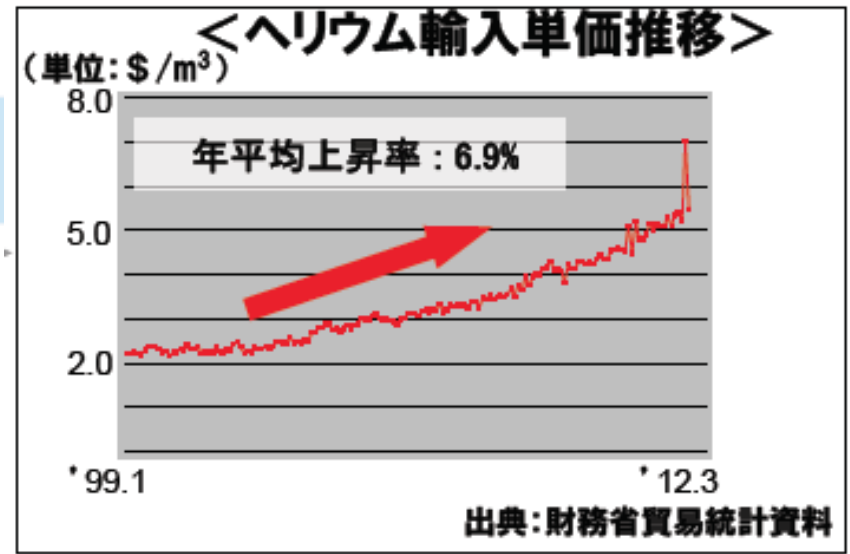


生産国の大半はアメリカが占めており、大きな影響力を保持しています。

岩谷産業株式会社 HP より

日本 全量輸入

米国より 95%



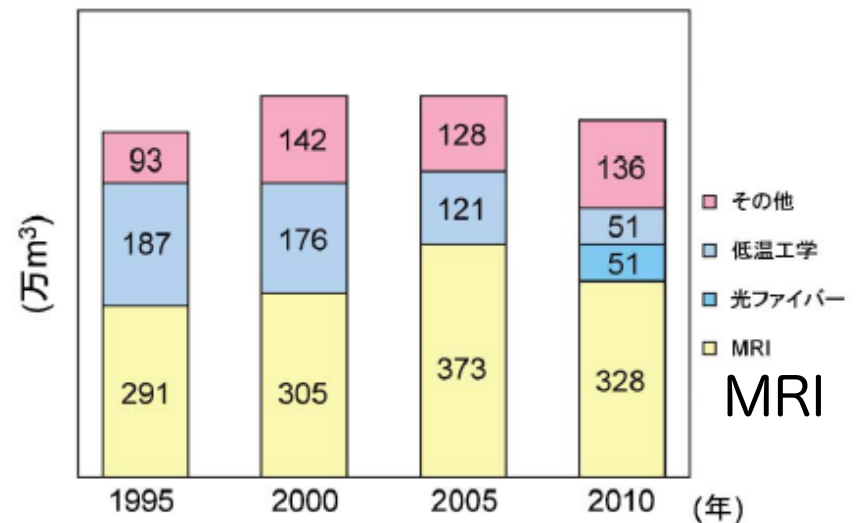
米国施設の修理長期化などで高騰

ヘリウム風船が無くなった

今後、エネルギー資源が天然ガスからシェールガス、深海のメタンハイドレートへ移行

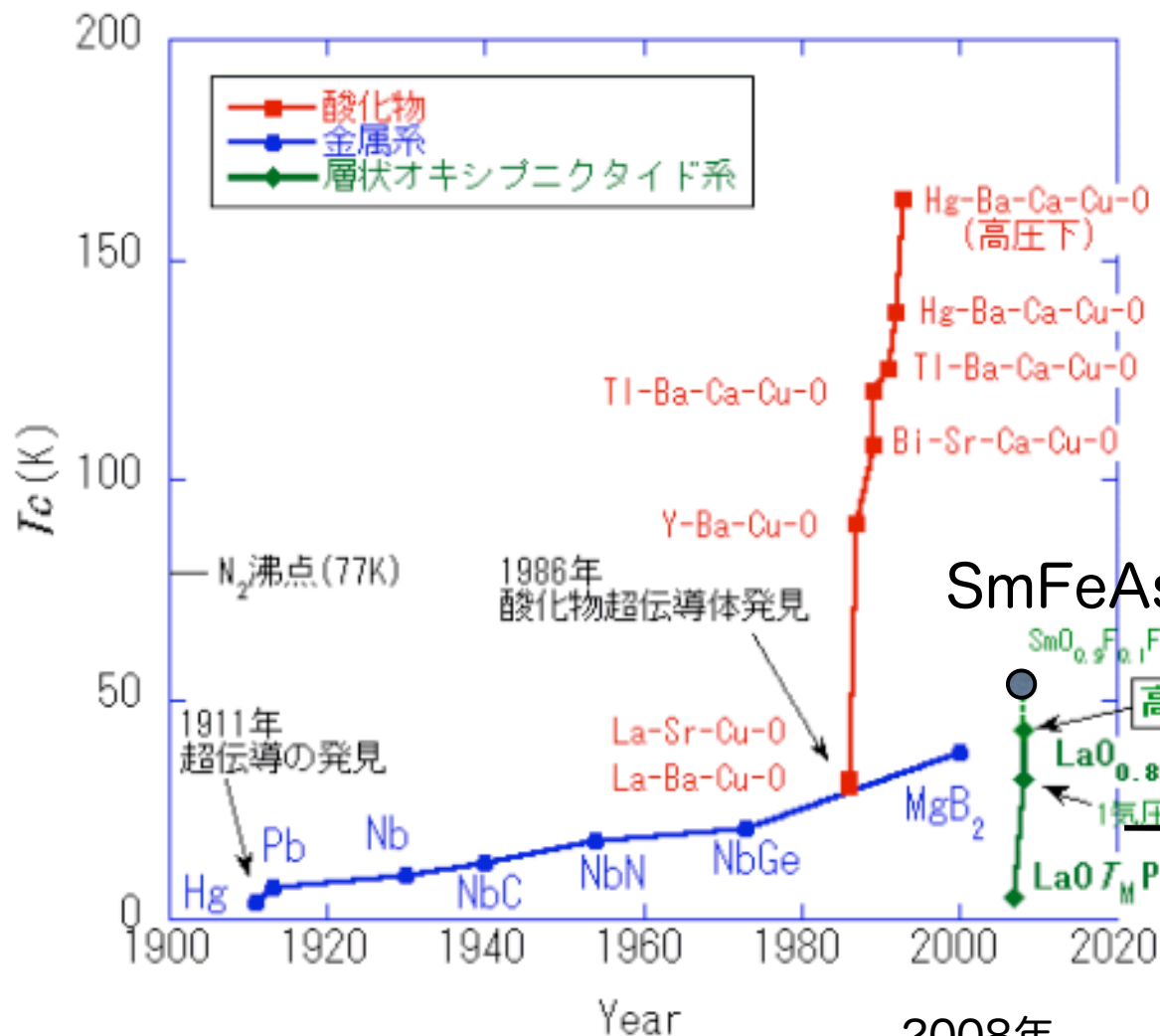
ヘリウム産出量 さらに減少

液体ヘリウムの用途別販売量



液体ヘリウムを用いない超伝導材料の実用化が急務

# 鉄系超伝導物質：ヘリウム不要



セ氏零下217度 (55 ケルビン)

セ氏零下253度 (20 ケルビン)

電気式冷凍機で冷却できる

2008年

東京工業大学の細野秀雄教授らが発見

SmFeAsO\_{0.9}F\_{0.1}  
サマリウム

レアアース (希土類元素) サマリウムを含む



1										18									
IA										VIIIA									
oxidation states in compounds: important, most important (for easier reading, arabic numerals are used instead of the correct roman ones)										electron configuration									
atomic number										atomic radius in pm (half the interatomic distance for the element; $\alpha$ -Fe in this example)									
name (IUPAC)										covalent radius for single bonds in pm (after Pauling; radii for polar and multiple bonds are shorter)									
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <p>[Ar]3d<sup>6</sup>4s<sup>2</sup></p> <p>6, 3, 2, 0, -2</p> <p>134.5 116 60<sup>+</sup> 76<sup>+</sup></p> <p>-0.44(2)</p> <p>1.6</p> <p>4.7</p> <p>26 Fe</p> <p>Iron</p> </div>										<ul style="list-style-type: none"> <li>ionic radius in pm with oxidation number coordination number (Cr, Mn, Fe, Co: values for high-spin complexes) <li>van der Waals radius in pm <li>reduction potential <math>E^\circ</math> in V with number (n) of electrons for:           <ul style="list-style-type: none"> <li><math>E^\circ + ne^- \rightleftharpoons E(s)</math> (metals)</li> <li><math>E^\circ + ne^- \rightleftharpoons E^\circ</math></li> <li><math>E^\circ_{O_2} + nH^+ + ne^- \rightleftharpoons E(s) + n/2 H_2O</math></li> <li><math>1/2 O_2(g) + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2O(l)</math></li> </ul> </li> <li>electronegativity (Allred and Rowchov)</li> <li>abundance (mass fraction in %) of the element in the earth's lithosphere (upper 16 km) plus hydrosphere (oceans) plus atmosphere; mass fraction calculated from natural radioactive series or other natural nuclear reactions</li> </li></li></ul>									
<ul style="list-style-type: none"> <li>● element essential to all biological species investigated</li> <li>● essential to at least one biological species</li> <li>● biological function suggested</li> <li>○ essential to humans</li> <li>○ suggested to be essential to humans</li> </ul>																			
3										13									
IIIB										IIIA									
4										14									
IVB										IVA									
5										15									
VB										VA									
6										16									
VIB										VIA									
7										17									
VIIB										VIIA									
8										18									
VIII										VIIIA									
9																			
VIII																			
10																			
VIII																			
11																			
IB																			
12																			
IIB																			



WILEY-VCH

ISBN 978-3-527-31856-8



9 783527 318568

6										7									
La-Lu										Ac-Lr									
57 to 71										89 to 103									
<div style="border: 2px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; display: inline-block;"> <p>[Xe]4f<sup>6</sup>6s<sup>2</sup></p> <p>62 Sm</p> <p>Samarium</p> </div>																			
6										7									
La-Lu										Ac-Lr									
57 to 71										89 to 103									
<div style="border: 2px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; display: inline-block;"> <p>[Xe]4f<sup>6</sup>6s<sup>2</sup></p> <p>62 Sm</p> <p>Samarium</p> </div>																			
6										7									
La-Lu										Ac-Lr									
57 to 71										89 to 103									
<div style="border: 2px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; display: inline-block;"> <p>[Xe]4f<sup>6</sup>6s<sup>2</sup></p> <p>62 Sm</p> <p>Samarium</p> </div>																			
6										7									
La-Lu										Ac-Lr									
57 to 71										89 to 103									
<div style="border: 2px solid black; border-radius: 50%; padding: 10px; display: inline-block;"> <p>[Xe]4f<sup>6</sup>6s<sup>2</sup></p> <p>62 Sm</p> <p>Samarium</p> </div>																			

レアアース (希土類元素)

# サマリウム



表 25.4 希土類の地殻存在量(大陸地殻)および金属価格

原子番号	元素記号	元素名	大陸地殻 (ppm)	純度 (%)	価格 (\$/kg)
57	La	ランタン	16	100	30
58	Ce	セリウム	33	96	40
59	Pr	プラセオジウム	4	96	50
60	Nd	ネオジウム	16	95	45
62	Sm	サマリウム	4	100	250
63	Eu	ユーピウム	1	100	1,000
64	Gd	ガドリニウム	3	100	140
65	Tb	テルビウム	1	100	800
66	Dy	ジスプロシウム	4	99	150
67	Ho	ホルミウム	1	100	650
68	Er	エルビウム	2	96	160
69	Tm	ツリウム	0	100	2,500
70	Yb	イッテルビウム	2	99	400
71	Lu	ルテチウム	0	100	3,500
39	Y	イットリウム	20	100	50
21	Sc	スカンジウム	30	100	NA

出典: USGS, "Minerals Yearbook".

# レアアース（希土類元素）の使用量、大幅削減に成功

従来の鉄系超伝導物質

超伝導へ移行する温度



セ氏零下217度（55 ケルビン）

サマリウム

鉄 ヒ素 酸素 フッ素

新たに開発した鉄系超伝導物質



カルシウム ランタン 鉄 ヒ素 リン

セ氏零下229度（45 ケルビン）

安価でありふれた元素（カルシウムと鉄）が主成分

電気式冷凍機で冷却可

鉄系実用化へ前進



## Emergence of superconductivity at 45 K by lanthanum and phosphorus co-doping of $\text{CaFe}_2\text{As}_2$

SUBJECT AREAS:

PHYSICS

MATERIALS SCIENCE

CONDENSED-MATTER PHYSICS

SUPERCONDUCTING PROPERTIES  
AND MATERIALS

Kazutaka Kudo, Keita Iba, Masaya Takasuga, Yutaka Kitahama, Jun-ichi Matsumura, Masataka Danura, Yoshio Nogami & Minoru Nohara

Department of Physics, Okayama University, Okayama 700-8530, Japan.

Received  
20 October 2012

Accepted  
4 March 2013

Published  
18 March 2013

Co-doping of lanthanum and phosphorus in  $\text{CaFe}_2\text{As}_2$  induces superconductivity at 45 K. This superconducting transition temperature is higher than the 38 K transition in  $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{Fe}_2\text{As}_2$ , which is the maximum found thus far among the 122 phases. Superconductivity with a substantial shielding volume fraction was observed at  $0.12 \leq x \leq 0.18$  and  $y = 0.06$  in  $\text{Ca}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_2(\text{As}_{1-y}\text{P}_y)_2$ . The superconducting phase of the present system seems to be not adjacent to an antiferromagnetic phase.

英国 Nature Publishing Group の電子ジャーナル Scientific Reports 誌に掲載 (3月18日)

鉄系基本物質 122型の超伝導転移温度の記録を5年ぶりに更新



# 今後の展開



兵庫県にある大型放射光施設 SPring-8 で原子配列を精密に決める実験（5月）  
理論的な解析により

高い温度で超伝導に移行する条件の解明

レアアースを全く使わずに超伝導に移行する条件の解明