

超電導三大現象

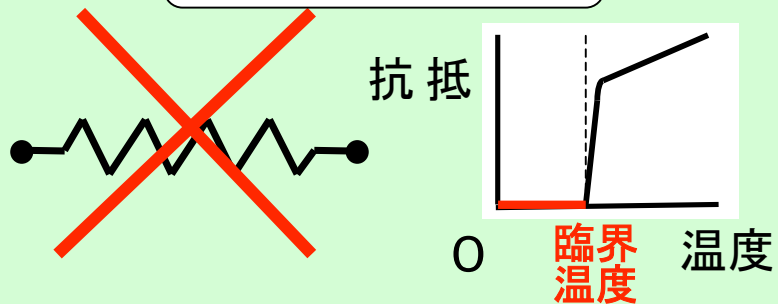
超電導体は、 T_c 以下の温度(超電導状態)において、以下に記す特徴的な現象を示す。

超電導技術の応用とは、これらの特徴(特性)のいずれか、または複数を利用したものとなる。

- ① ゼロ抵抗： $R \sim 0[\Omega]$ (1911年)
- ② マイスナー効果：完全反磁性(1933年)
- ③ ジョセフソン効果：超電導トンネル接合(1962年)

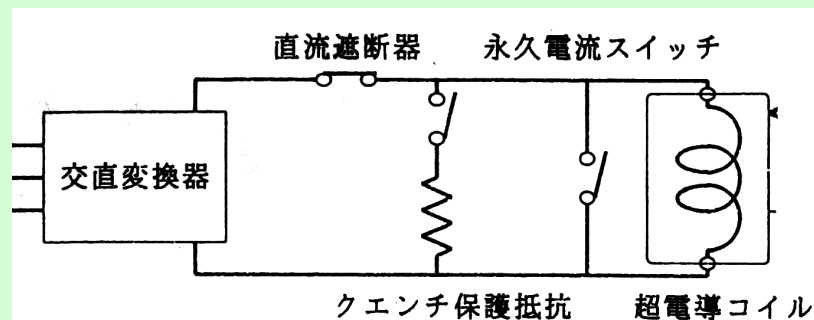
超電導現象

ゼロ抵抗



完全導電性の効果

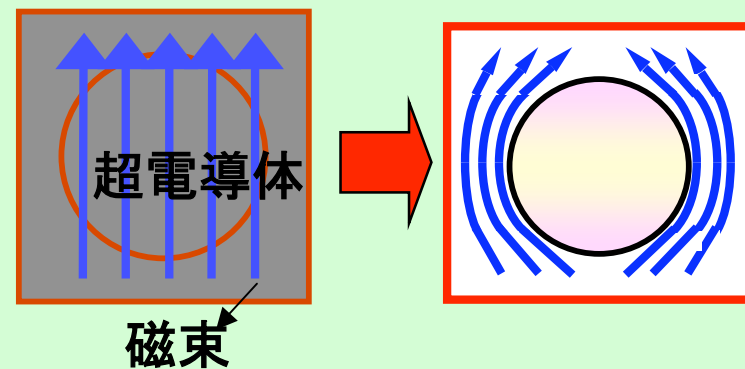
- ・電気抵抗がないため、大電流が損失なく通電可能。
- ・強磁場の発生や、減衰しない**永久電流**回路の構成が可能。



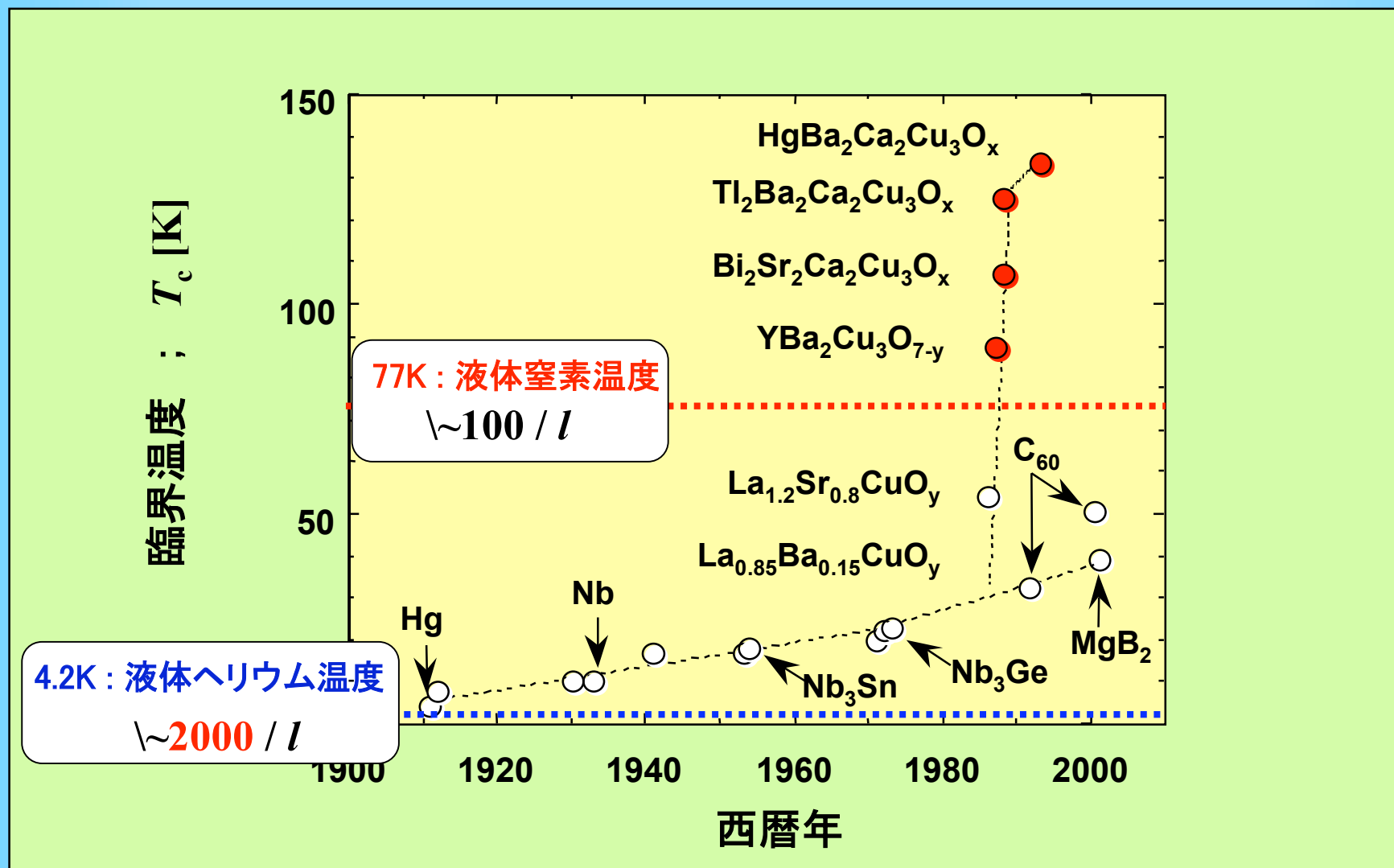
マイスナー効果

$T > T_c$
(常電導状態)

$T < T_c$
(超電導状態)



臨界温度(T_c)向上の変遷



社会に役立つ超電導技術

Table 超電導線材を用いた技術.

分野	技術大分類	技術中分類	社会貢献内容
エネルギー電力分野	エネルギー貯蔵	SMES ^a	電力品質維持・向上
	送変配電	電力ケーブル	CO ₂ 低減・省エネルギー
		電力用変圧器	CO ₂ 低減・省エネルギー
	発電	発電機	CO ₂ 低減・省エネルギー
		核融合用マグネット	非化石燃料エネルギー
産業・輸送分野	輸送用機器	船用・車載用モータ	小型化・軽量化・CO ₂ 低減
	磁場応用	磁気浮上式鉄道用 マグネット	小型化・軽量化・CO ₂ 低減
	変圧器	鉄道用変圧器	小型化・軽量化・CO ₂ 低減
診断・医療分野	マグネット応用	MRI ^b	高度診断・創薬
		NMR ^c	高度診断・創薬

^a 超電導電力貯蔵装置 (SMES: Superconducting Magnet Energy Storage) ^b 磁気共鳴画像法 (MRI: Magnetic Resonance Imaging) ^c 核磁気共鳴 (Nuclear Magnetic Resonance)

高価な液体ヘリウムが必要な金属系超電導体(NbTi etc...)



安価な液体窒素でも超電導特性を示す高温超電導体(YBa₂Cu₃O_{7-δ} 等)

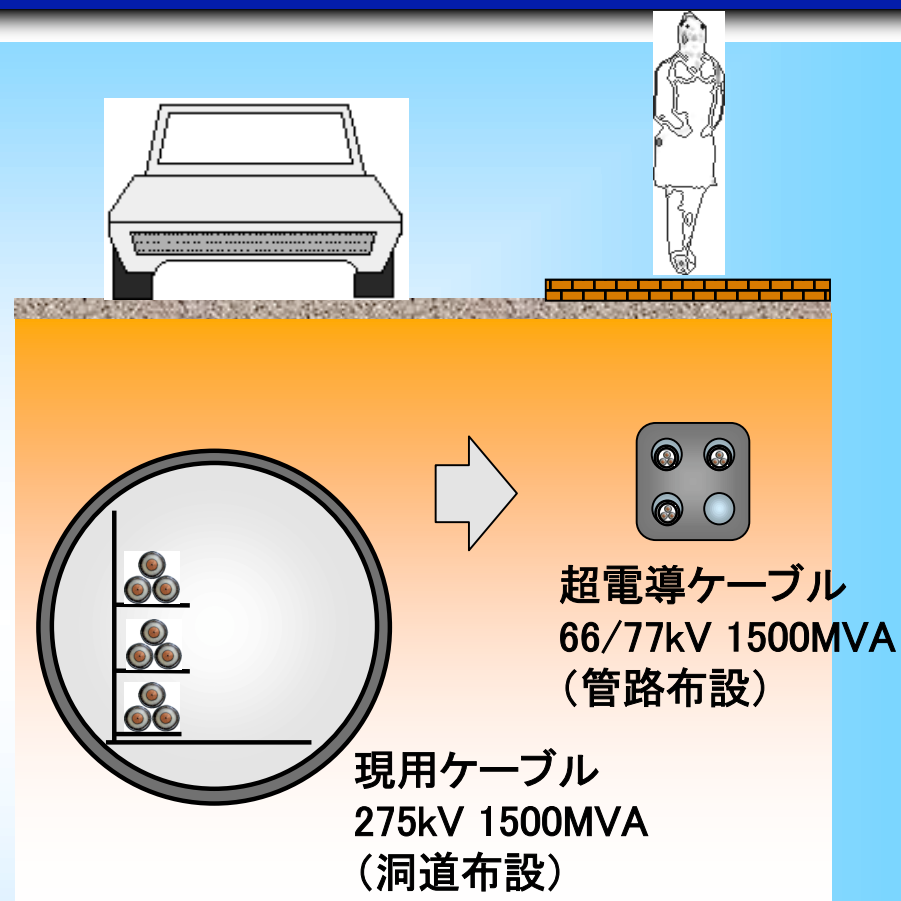
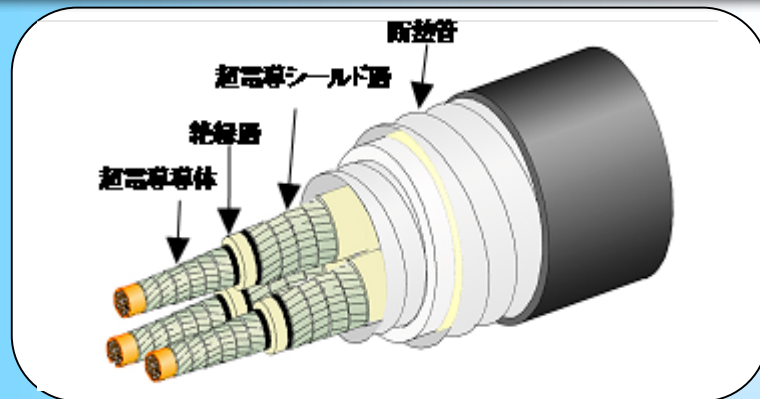
超電導ケーブル

(Superconducting Cable)

超電導ケーブルの特徴

- 従来ケーブルに比べてコンパクトで大容量送電が可能
- 管路布設可能で、土木工事費の削減、工期の飛躍的短縮
- 送電損失の削減よりCO₂排出量抑制

↓
トータルコストの低減



超電導ケーブルを使用することでCO₂削減、コストの低減が可能

現用ケーブルの寿命(30~40年)期の引き換えとして、2020年ごろから市場が立ち上がると予想される。

高温超電導体の線材応用



Fig. 金属基板の外観図.

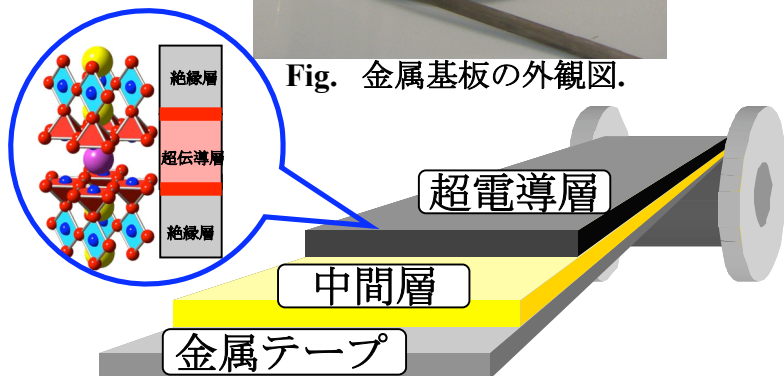


Fig. 高温超電導線材の概略図.



Fig. 高温超電導線材の概観図.

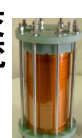
直流
コイル



交流
大電流
導体



交流
コイル



直流
コイル

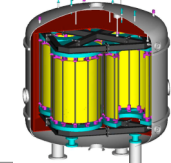


直流
回転機

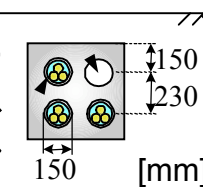


省エネルギー

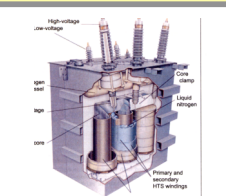
電力貯蔵装置



ケーブル



変圧器

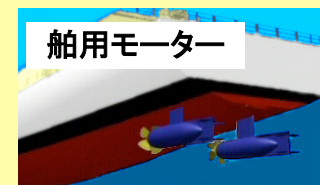


CO₂削減

リニアモーターカー

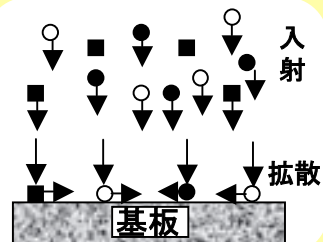
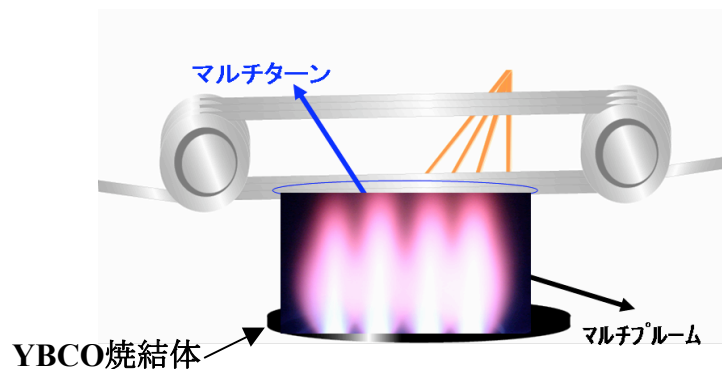


船用モーター



高温超電導線材の作製方法

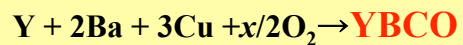
PLD(パルスレーザー蒸着)法



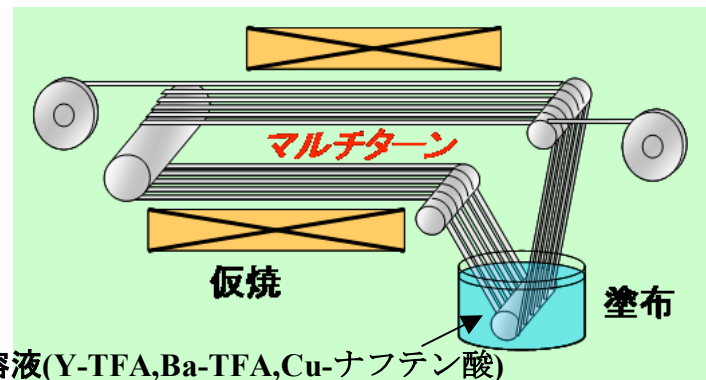
励起原子, 分子, イオン



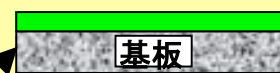
[YBCO formation]



MOD(有機金属酸塩堆積)法



①塗布



Y-TFA, Ba-TFA, Cu-ナフテン酸

②仮焼

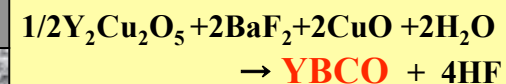


$Y_2Cu_2O_5$, BaF_2 , CuO

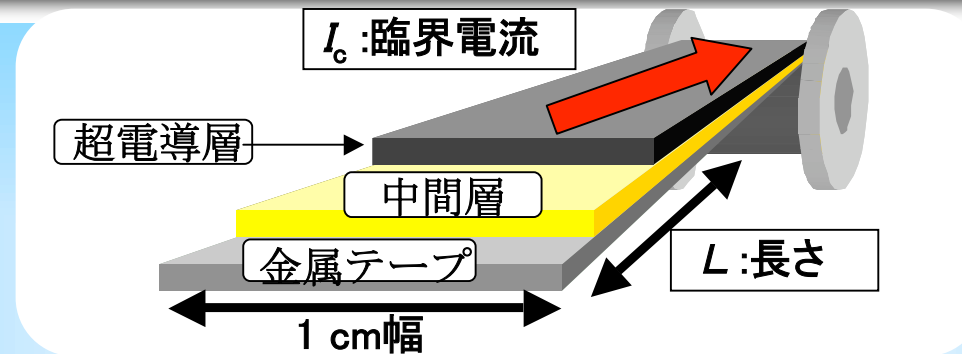
③本焼成(wet雰囲気)



【YBCO formation】



世界のY系線材作製成果



超電導応用基盤技術開発の一環として、(財)国際超電導産業技術研究センター(ISTEC)を通じて、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)から委託を受けて実施し、得られた成果です。

Fujikura	Japan	YBCO (PLD) - GZO (IBAD)	318	202	64077	360 (1.8)
SRL-NCCC	Japan	YBCO (PLD) - GZO (IBAD)	212.6	245	52087	480 (1.2)
SWCC	Japan	YBCO (MOD) - GZO (IBAD)	201	200	40200	370 (2.5)
AMSC	USA	YBCO (MOD) - NiW (RABITS)	350	94	32900	508 (3.6)
EHTS	Europe	YBCO (PLD) - YSZ (IBAD)	253	100	25300	574 (3.6)
Chubu	Japan	YBCO (MOCVD) - GZO (IBAD)	93	203	18879	294 (1.6)
SRL	Japan	YBCO (MOD) - GZO (IBAD)	250	56	14000	735 (3.2)
Sumitomo	Japan	HoBCO (PLD) - NiW (RABITS)	110 (min.)	117	12870	256 (2.1)

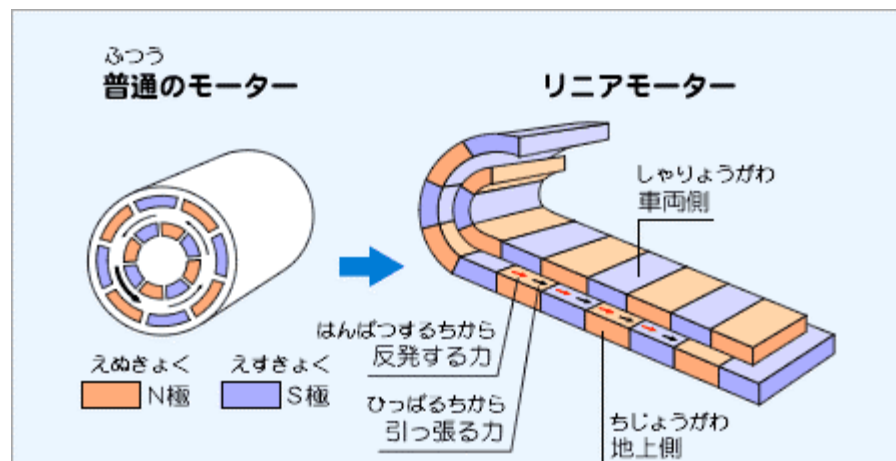
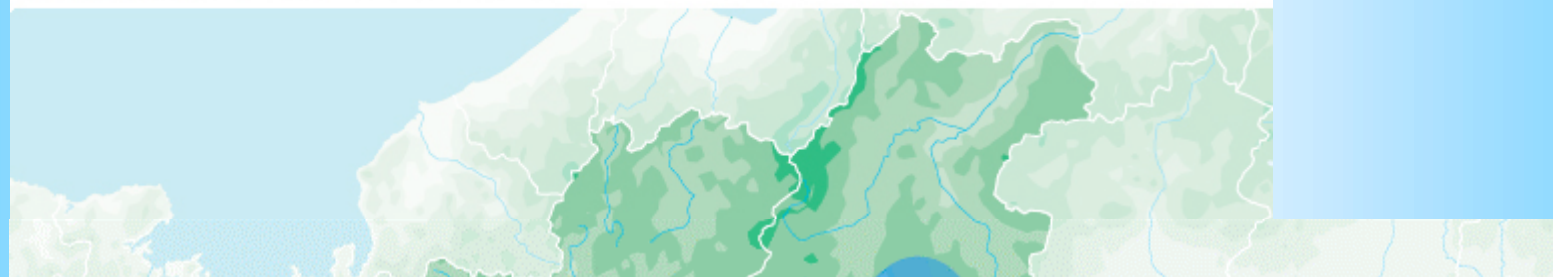
超電導リニアモーターカー

(Linear Motor Car)

LINEAR CHUO EXPRESS

リニア中央エクスプレス建設促進期成同盟会

東京～大阪間を約1時間で結ぶ夢の乗り物 リニアモーターカー。
今それが現実になろうとしています。



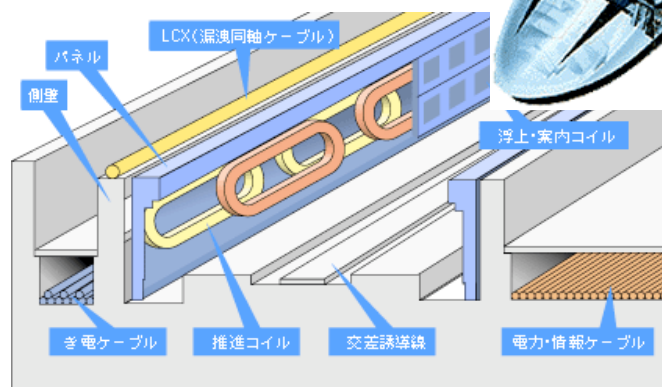
<http://www.pref.yamanashi.jp/linear/kids/shikumi/shikumi1.html>

リニアモーターは、今までの
鉄道車両のモーターを平らに
のばして直線的に動くように
したもので、このリニアモ
ーターを使って動く車両のことを
リニアモーターカーといいま
す。

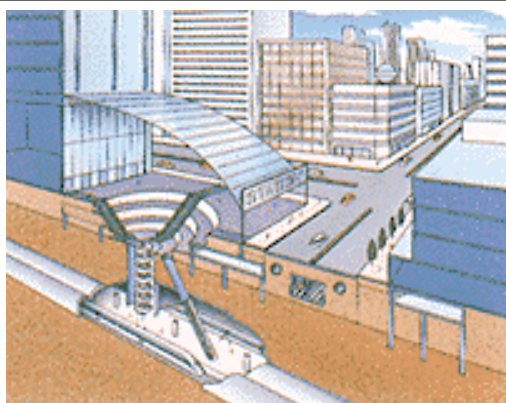
<http://www.linear-chuo-exp-cpf.gr.jp/>

リニアモーターカーの仕組み

21世紀の超高速輸送システムとして期待が高いリニアモーターカーは、超電導磁石を利用した浮上走行で、時速500kmという超高速を可能にします。



ガイドウェイの断面図

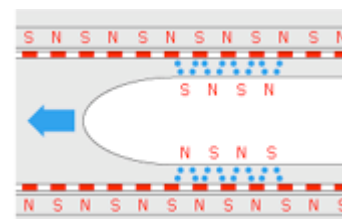


なぜ超電導体を使うの？

超電導状態となったコイル(超電導コイル)に一度電流を流すと、電気抵抗がないため電流はコイルの中を永久に流れ続け、強力な磁界を発生します。リニアモーターカーはこの超電導磁石を搭載し、ガイドウェイに取り付けられた地上コイルとの磁気相互力により、10 cmほど浮上して走行します。

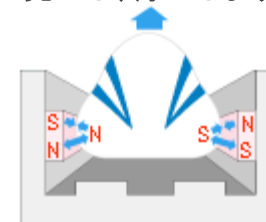
どのようにして進むの？

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、車両の超電導磁石との間で、N極とS極の引き合う力と、N極どうし・S極どうしの反発する力により車両が前進します。



なぜ浮くの？

車両の超電導磁石が高速で通過すると、自動的に地上の浮上・案内コイルに電流が流れ電磁石となり、車両を押し上げる力(反発力)と引き上げる力(吸引力)が発生し、浮上します。

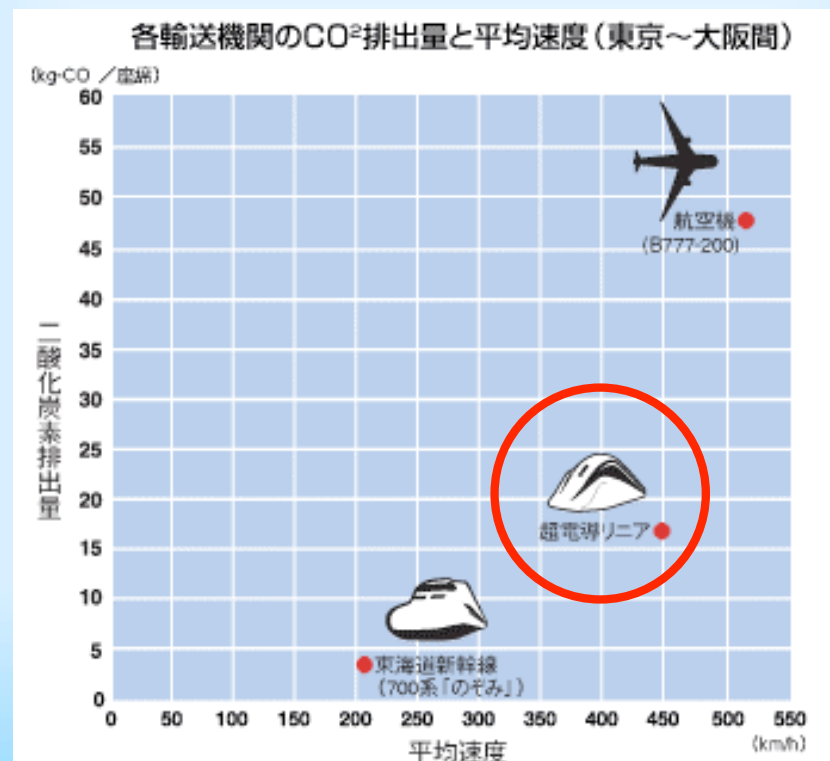


地球温暖化抑制にも貢献するリニアモーターカー

[地球温暖化による21世紀末における気温上昇]

非常に深刻な問題となっている地球温暖化。IPCC(気候変動に関する政府間パネル)第3次報告書では、**2100年**では最悪の場合**5.8℃**気温が上昇し、**88cm海面**が上昇すると予測されています。

また、安倍政権では世界全体のCO₂排出量を2050年までに半減するといった「美しい星50」を提案している。



450 Km/hでの高速で飛行機の1/2以下のCO₂排出量

超電導エネルギー貯蔵装置

(SMES: Superconducting Magnet Energy Storage)

SMESの特徴

超電導エネルギー貯蔵装置(SMES)は超電導コイルに直流電流を流して磁気エネルギーとしてエネルギーを貯蔵するシステムです。

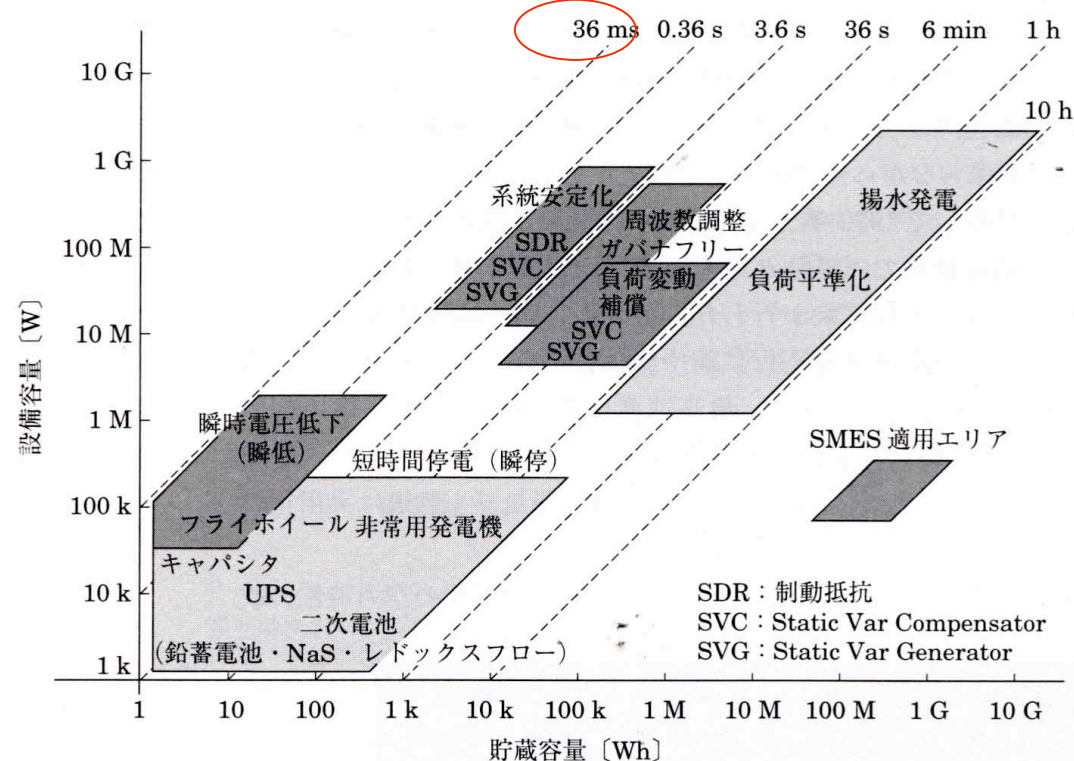
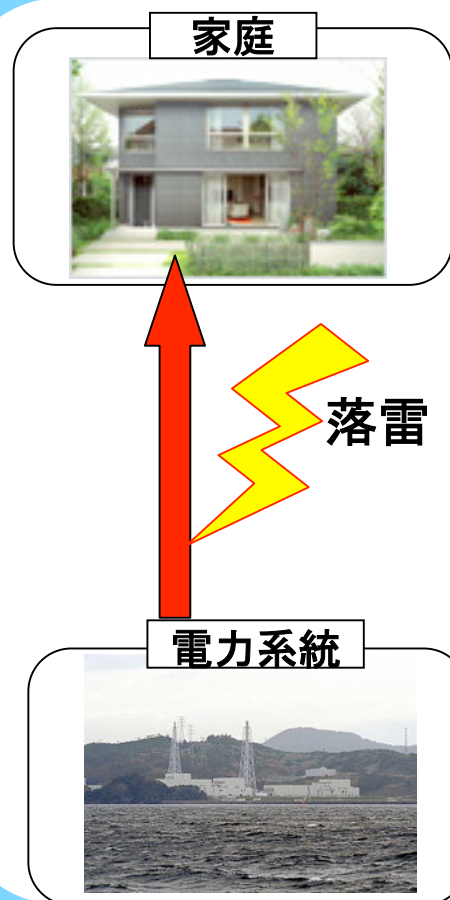
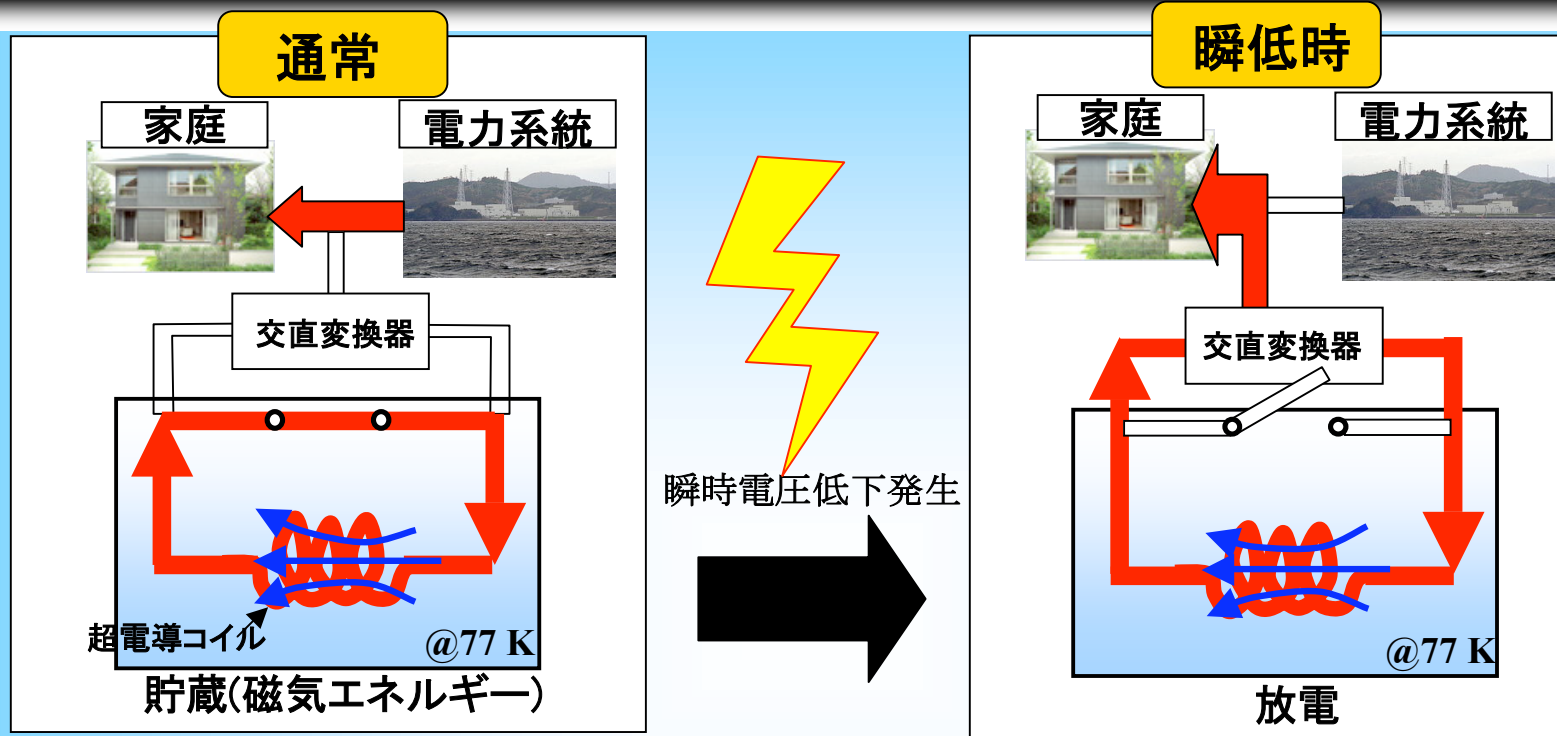


Fig. 各貯蔵装置の設備容量及び貯蔵容量.

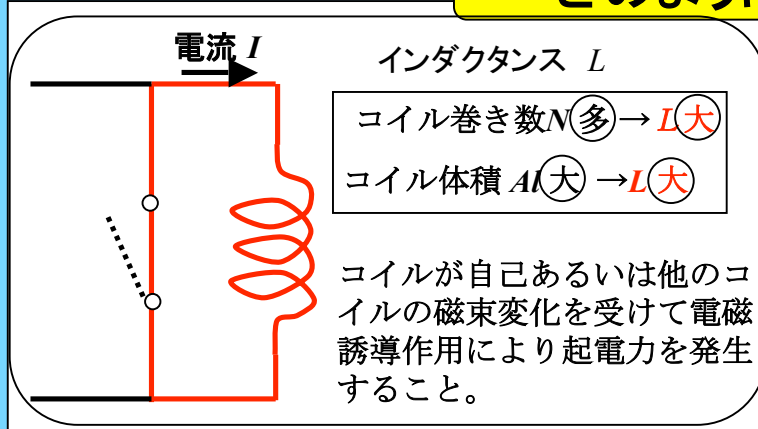
出典: 超電導エネルギー工学、(2006)、オーム社

瞬時電圧低下発生に**1秒以下**で比較的大きな貯蔵エネルギーを放出可能

SMESの仕組み



どのようにして電気を貯蔵するの？



超電導線材で作ったコイルは電気抵抗がゼロであるため、一度電流(I)流すと減衰なく流れ、磁気エネルギーは損失なく貯蔵される。

このときためることが出来るエネルギーは

$$W = \frac{1}{2} L I^2 \quad [\text{kWh}]$$

である。

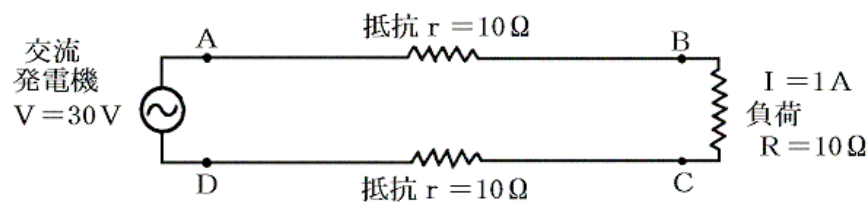
より大きな電気を貯蔵するには大電流の流れる線材を作製すること。また、インダクタンスの大きい(長い線材)マグネットが必要である。

超電導変圧器

(Superconducting Transformer)

変圧器とは

変圧器のない送電



$$r=\rho\frac{l}{S}$$

負荷による消費電力は

$$P=VI=RI^2=10\times 1^2=10\text{ Wとなる。}$$

また送電線による電圧降下は回路を流れる電流が1Aだから

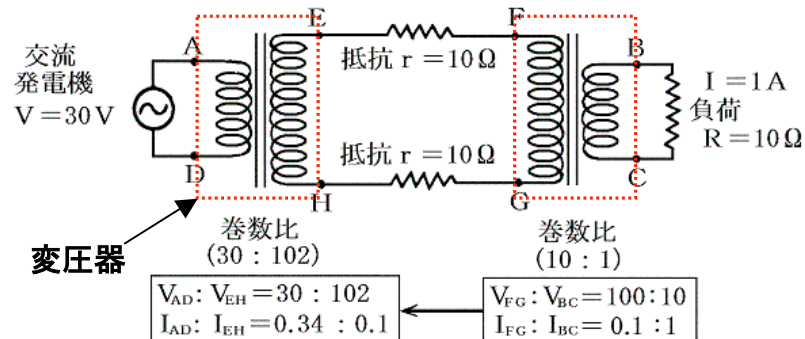
$$V=rI=10\times 1=10\text{ Vとなり、}$$

消費電力は

$$P=VI=rI^2=10\times 1^2=10\text{ Wとなる。}$$

このとき送電線によるエネルギー損失は20 Wであり発電機が送り出す電力30 Wの**67%**となる。

変圧器のある送電



負荷による消費電力は $P=RI^2=10\times 1^2=10\text{W}$ とする。

いま負荷側の変圧器の巻数比例10:1とする。

このときBC間の電圧は $V_{BC}=RI=10\times 1=10\text{V}$ であるが、

$V_{FG}:V_{BC}=10:1$ だから $V_{FG}=100\text{V}$

$I_{FG}:I_{BC}=1:10$ だから $I_{FG}=0.1\text{A}$ となる。

回路を流れる電流が0.1Aだから送電線による消費電力は $P=rI^2=10\times 0.1^2=0.1\text{ W}$ となる。

E-F-G-Hの回路の電圧降下は $1+100+1=102\text{V}$ となる。発電電圧は同じ $V_{AD}=30\text{V}$ だから巻数比30:102の変圧器をつなげば良いことになる。そのとき発電機が送り出す電流は $I_{AD}=0.1\times 102/30=0.34\text{A}$ となる。発電機が送り出す電力は $P=VI=30\times 0.34=10.2\text{W}$ である。送電線によるエネルギー損失は $0.1\times 2=0.2\text{W}$ だから発電機が送り出す電力10.2Wのわずか**2%**となる。

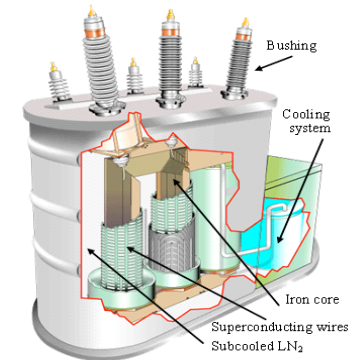
超電導変圧器の特徴

油入変圧器



- ・設置面積 **大**
- ・重量 **重**
- ・冷却に**絶縁油**使用
- ・電気抵抗による損失 **大**

超電導変圧器



N: 巻線ターン数 **多**
S: 鉄心断面積 **小**

- ・設置面積 **2/3**
- ・重量 **1/2**
- ・冷却に**液体窒素**使用
- ・電気抵抗による損失 **小**

超電導変圧器を使用することで高効率、小型・軽量化が図れる