

# 無磁界超伝導層(Meisner)機構(付録:銅酸化物母体 CuO<sub>2</sub>spin 配置筆者推定)。2024/9/27,30

## 内部磁界 H=0.⇒ 0=curlH=j≠0,内部電流有の超矛盾?!!。

素人筆者は上記課題を **Cooper 対電流トンネル模型**で克服。現在超電導は実用化してるが材料設計開発は難儀模様、秩序動作下(無抵抗電流)の無磁界=反強磁性が設計基礎なのだろう<電流層外周表皮近傍は有磁界>。

2024/9/30;補足と追加:

(1)浅学無知綱渡り説明でしたが、電子でも電子穴でも接明は負変です。

「高温超伝導体の電子-ホール対称性の発見」2001

<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20010221/index.html>

銅酸化物は絶縁体

[https://www.okayama-u.ac.jp/user/akimitsu/achievements/study\\_sc\\_type\\_copper.html](https://www.okayama-u.ac.jp/user/akimitsu/achievements/study_sc_type_copper.html)

必ず母物質 CuO<sub>2</sub>面を持つ反強磁性絶縁体であり、キャリアドーピングにより超伝導発現に至るなどです

超電導開発主体は P 型=hole 伝導。、絶縁体が電流を流すには軌道電子移動必須、穴バブルができると底に他の軌道電子が移動、これを反復。

(2)磁気 moment の意味<spin-spin,spin-電流相互作用の基礎>

磁気モーメント:  $\mu_0(\pi a^2 I)/2\pi r^3 = \mu_0 \mu / 2\pi r^3$ ,

[https://eman-physics.net/electromag/magnetic\\_moment.html](https://eman-physics.net/electromag/magnetic_moment.html)

⚡: a≪r 近似使用;電子 spin を想定した円環電流(半径 a→0)の作る磁界.

$B_x = (\mu_0 I \pi a^2 / 4\pi r^3)(3xz/r^2)$ .....z=0,x=0 で消える,x=z. →(3xz/r<sup>2</sup>)=3/2

$B_y = 0$ .

$B_z = (\mu_0 I \pi a^2 / 4\pi r^3)(-1+3z^2/r^2)$ .....z=r.....Z 方向が主役化

(3)最大関心事の一つ Tc 高温安定性=格子揺動に強い電子雲安定製(低エネ状態)。

超電導=Cooper 対電流反強磁性要素の熱にこ割れない秩序配列=超電導状態は一つの巨視的波動関数の実現=安定製、

博士学位論文 銅酸化物(RE,Ca)(Ba,Sr)<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>6</sub> (RE

東北大学機関リポジトリ TOUR

(i) Cu-O(頂)距離が長いほど高 Tc. ....伝導機能主役の 3d 軌道エネの高位化

(ii) Cu-O(面)距離が約 1.92 Å で高 Tc.....波動関数重なり具合最適

(iii) O(面)-Cu-O(面)角度が 180°に近いほど高 Tc.....直線σ結合 CuO(3d-2p)

⚡: 個々の物質の電子軌道理解が必須。.....現場切迫感がないと身につかない。

⚡: 専門家の Cooper 対議論では混乱が多い模様だ。

⚡: 原子軌道一本には逆 spin 電子二個が入る,,,,,この電子間に斥力負安定製が働いたならば

軌道安定製喪失、そういう話はない(量子化学)、両者は spin 間引力で Bose 粒子化.....

素粒子論での力の媒介粒子=gauge 粒子=質量 0 の Bose 粒子正体は粒子反粒子の双極子

..

[0]: 入口.

実用化近づく超電導送電、強みは？

<https://www.nikkei.com/article/DGXZQODL126LC0S2A110C2000000/>

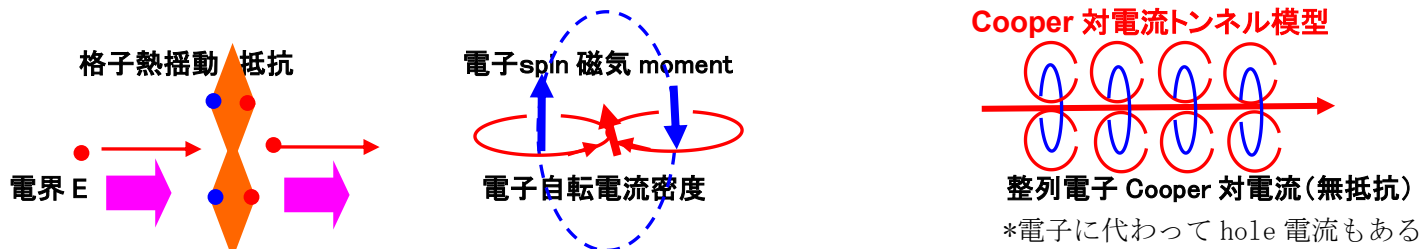
鉄道総研によると送電線1本が長さ1キロメートル以上なら、送電ロスが減るメリットが冷却コストを上回り。複数の鉄道会社が採用に関心を示し。日本は昭和電線が超電導用送電線を手掛けるなど素材が強み。将来は再生エネ発電分野へ応用が期待され、電力・通信会社に広がる可能性もありそうです。

(1)電磁場式要約:

<http://www.maroon.dti.ne.jp/koten-kairo/works/transistor/Section2/momentum2.html>

$\text{curl}\mathbf{H}=\mathbf{j}+\partial_t\mathbf{D}\dots\dots\dots \square\mathbf{A}=-\mu\mathbf{j}, \Rightarrow \square\mathbf{H}=-\text{curl}\mathbf{j}$  \*  $\square \equiv \sum_{\mu=0}^3(\partial/\partial x_{\mu})^2 \equiv \partial_{\mu}\partial_{\mu}\dots\dots x_{\mu} \equiv (\text{ict},\mathbf{x},)$   
 $\text{curl}\mathbf{E}=-\partial_t\mathbf{B}\dots\dots\dots \square\phi=-\rho/\epsilon, \Rightarrow \square\mathbf{E}=\text{grad}(\rho/\epsilon)$  波動方程演算子  
 $\text{div}\mathbf{D}=\rho \dots \text{div}\mathbf{B}=0$

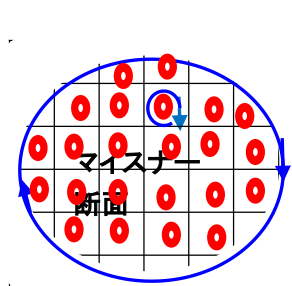
(2)通常電流(電界 drift 電流) vs 超電導(spin 駆動)電流<< Cooper 対電流トンネル模型>>



(3)マイスナー効果=超伝導体内部磁界O(M 断面)から推定される spin 配置の一般論。

次直流静磁界電流の Maxwell 方程式は電磁場第一原理、これに全てがあるだろう。

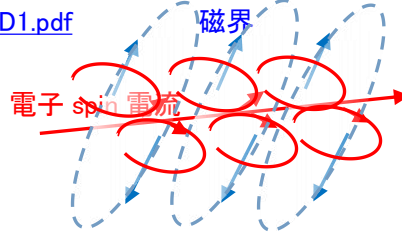
$\text{curl}\mathbf{H}=\mathbf{j}, \Rightarrow \oint\mathbf{dS}\cdot\mathbf{j}=\oint\mathbf{dS}\cdot\text{curl}\mathbf{H}=\oint\mathbf{ds}\cdot\mathbf{H}$



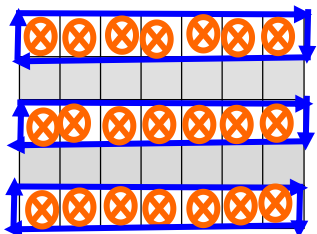
円周縁以外は逆向き磁界間で相殺、  
 網目一個は全一回転方向-円周磁界、面垂直に  
 ● 電流線 がドサーと並ぶ。だから上記の原理 spin 配置になる結晶分子設計が仕事になる

<http://www.777true.net/QED1.pdf>

P5 参照、



(4)磁界間相殺<反強磁性体 Meisner 断面模型>



結晶配列設計により、spin 列方向が  
 層毎に交番<反強磁性体>、  
 層電流は紙面垂直、  
 同方向電流は引力、磁界循環空白域はちぢむ?。  
**磁界は循環で安定化**する

磁性の担い手(磁性の源)/Source of Magnetism

<http://www.kk-actus.jp/source>

(5)化学最重要 Coulomb 力は素粒子起源<量子電磁力学始め>:

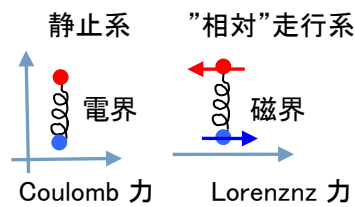
非自由場 Schroedinger-Dirac 方程式<4元運動量 p<sub>μ</sub> 不変量に起源>:

$0=\mathbf{p}_{\mu}\mathbf{p}_{\mu}+m^2c^2\equiv[-i\gamma_{\mu}\mathbf{p}_{\mu}+mc][i\gamma_{\nu}\mathbf{p}_{\nu}+mc]=0$

Dirac 行列:  $\gamma_{\mu}\gamma_{\nu}+\gamma_{\nu}\gamma_{\mu}=2\delta_{\mu\nu}, \rightarrow[-i\hbar\gamma_{\mu}\partial_{\mu}+mc]\psi(\mathbf{r})=0$

$\rightarrow[-i\hbar\gamma_{\mu}(\partial_{\mu}+gA_{\mu})+mc]\psi(\mathbf{r})=0\dots\dots\text{gauge 場 } A_{\mu} \text{ 共変微分}$

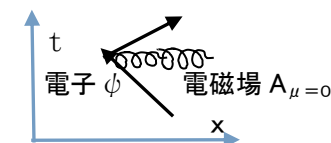
\*一般 gauge 変換不変原理<統一場理論>から発生



$\mathbf{H}_i=i\hbar g\gamma_0\psi(\mathbf{r})^*\gamma_{\mu}A_{\mu}(\mathbf{r})\psi(\mathbf{r})\dots$  量子電磁力学(QED)一般相互作用。

$\psi(\mathbf{r})=\psi(\mathbf{r};\pm\mathbf{e},\pm\mathbf{s});\dots$  spinor. +e:陽電子解

\*引力起源は±電子陽電子の真空偏極連鎖系間<対消滅力>で発生、

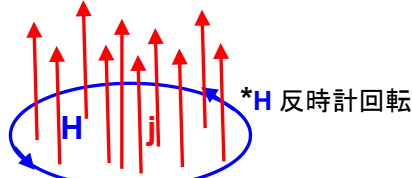


# [1]: Meisner 効果 (電流空間無磁界) で電流密度一様定数。

中心電流層引力形成(内部電磁界0)⇒表皮周辺磁界(磁界≠0)

超電導 Meisner 効果(電流空間無磁界)で電流密度は一様定数、電流進行 Bloch 波は自由電子波動関数、

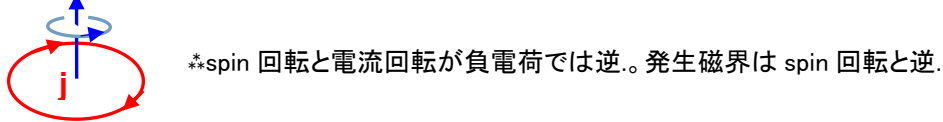
(1) Maxwell 静磁場式:  
 $\text{curl} \mathbf{H} = \mathbf{j} \Leftrightarrow \oint \mathbf{ds} \cdot \mathbf{H} = \iint \mathbf{dS} \cdot \mathbf{j}$



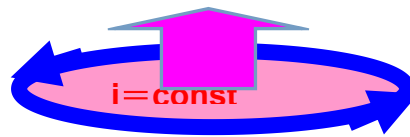
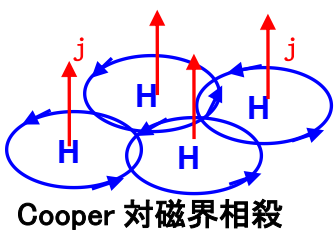
(2) Lorentz 力:  
 $\mathbf{f} = e\mathbf{v} \times \mathbf{B} = \mathbf{l} \times \mathbf{B} \dots \dots \dots \langle \mathbf{f} = e\mathbf{E} \dots \dots \dots \text{静電場力の相対論版} \rangle$



(3) 電子負電荷 spin 回転電流密度と磁界<軸性ベクトル上向きは右ネジ回転>:



## (4) Cooper 対磁気大域相殺 (反強磁性) vs 辺境非相殺強磁性



円周強磁性は内部で相殺した多数小円環磁界が円周上で再生した勘定になる→☹:

$$\text{☹} : I_{SC} = \iint \mathbf{dS} \cdot \mathbf{j}_{SC} = \iint \mathbf{dS} \cdot \text{curl} \mathbf{H} = \mu^{-1} \oint \mathbf{ds} \cdot \mathbf{B}_{SM}$$

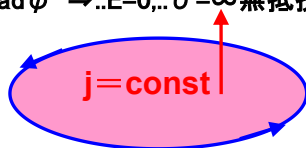
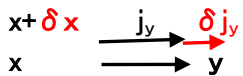
超伝導層断面表皮周囲は強磁性体  $\mathbf{B}_{SM}$  になるが、なりえるは  $\text{CuO}_2$  だと  $\text{Cu}(4s^1)$  軌道の不對電子磁気 moment 密度、超伝導電流  $I_{SC}$  密度最大値は飽和特性があり、この密度が無関係とは考えにくい。

## Meisner 無磁界機構.

i :  $\mathbf{H} = 0$  の Meisner 空間内部の電子密度は一様定数

<超伝導内部<≠辺境周辺>には磁界 H も、電界 E も何もない、...楽しいな、楽しいな、...には抵抗も何もない>。

$\square \mathbf{H} = -\text{curl} \mathbf{j} \Rightarrow \mathbf{H} = 0, \text{curl} \mathbf{j} = 0 \Rightarrow \mathbf{j} = \sigma \mathbf{E} = -\sigma \text{grad} \phi \Rightarrow \mathbf{E} = 0, \sigma = \infty$  無抵抗直流電流密度の空間傾斜 0 < Ohm 法則特異点! >.



## ii 内部磁界 $\mathbf{H} = 0 \Rightarrow$ 内部電流 $\text{curl} \mathbf{H} = \mathbf{j} \neq 0$ の超矛盾? !!。

一つの典型例がある。

超高压下で全元素は最密充填=金属化するが物性物理定理(?)...結晶物理は格子静電 potential  $\phi$  が支配、

$\square \phi = -\rho / \epsilon, \Rightarrow \square \mathbf{E} = \text{grad}(\rho / \epsilon) \rightarrow 0$ 、最密充填極限では電荷密度傾斜が無にちかづく

$\mathbf{E} \rightarrow 0, \rho = \text{div}(\epsilon \mathbf{E}) \rightarrow 0 \dots \dots \dots$  電荷暗黒穴定理.....\*一部電子は Fermi 順位を超えて元素外に蒸発。

\*地震電磁気学予知 : 震源滑走開始で震源超高压が緩和、電荷暗黒穴が白穴になり。地表に逃亡して居た大量電子群が再度震源岩石元素に回帰する。地表の静電変動は電離層電子密度変動となる。

## $\square \mathbf{H} = \text{curl} \mathbf{j} \Rightarrow$ 電流密度空間一様化が起こると右辺0、結果差左辺 $\mathbf{H} = 0 \Rightarrow$ Meisner 現象

☹: 電流密度空間一様化 = 格子周期一様性により電流トンネルの C 対電子分布は一様化。

☹: 3KA 実現とかの大超伝導電流が伝導層表皮近傍のみに集中、中心は0は考えにくい

(5) 一電子電流波動関数  $\psi(\mathbf{r}) \dots$  構成素材次第で電流は電子 hole = 電子の逆流にもなる。

$|\psi(\mathbf{r}, \sigma)|^2 = \text{定数}, \sigma = \text{spin 変数}.$

$\psi(\mathbf{r}, \sigma) = A(\sigma) \exp(\mathbf{kr}) : \dots \dots \dots$  Bloch 函数<変調波項  $u(\mathbf{kr}) = 1$ >.

平均場  $V_{AVR}(\mathbf{r}, \sigma)$  の一電子 Hamiltonian. <(4) i 超伝導内部<≠辺境周辺>には磁界 H も、電界 E も何もない>

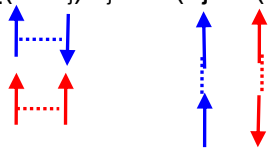
$\mathbf{H}(\mathbf{r}, \sigma) = \mathbf{p}^2/2 + V_{AVR}(\mathbf{r}, \sigma) \rightarrow V_{AVR}(\mathbf{r}, \sigma) = \text{const} < 0 \dots \dots \dots$  物体外部へ電子蒸発は出来ないから壁はある。

\*Coulomb 力格子揺動は低温抑圧で電流無抵抗、電流凝縮整列性で電子間相互作用は対称性一様なのだろう?。

(6): spin-spin 相互作用 <物理学公式集、共立出版、1970>

$$H_{SS} = 4\mu_B^2 \sum_{i>j} \{ (\mathbf{s}_i \cdot \mathbf{s}_j) / r_{ij}^3 - 3(\mathbf{r}_{ij} \cdot \mathbf{s}_i)(\mathbf{r}_{ij} \cdot \mathbf{s}_j) / r_{ij}^5 - (8\pi/3)(\mathbf{s}_i \cdot \mathbf{s}_j) \delta(r_{ij}) \}$$

\*青は負エネ  
\*赤は正エネ



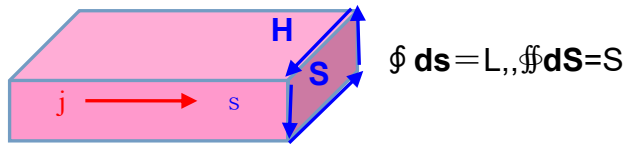
$\delta$  = 体積分で 1.

一般磁気 dipole 間の相互作用 potential.  

$$U(\mathbf{r}_{ij}) = \mu/4\pi \sum_{i>j} \{ (\boldsymbol{\mu}_i \cdot \boldsymbol{\mu}_j) / r_{ij}^3 - 3(\mathbf{r}_{ij} \cdot \boldsymbol{\mu}_i)(\mathbf{r}_{ij} \cdot \boldsymbol{\mu}_j) / r_{ij}^5 \}$$
<https://www.mns.kyutech.ac.jp/~okamoto/education/electromagnetism/ele-mag-dipole-moment090701a.pdf>  
 電子間 Coulomb 斥力は距離逆二乗増大、逆向き spin 電子間磁気moment 引力は距離逆 3 乗増大、超電導マイスナ空間断面は並行大電流密度間引力でちじまり、一様安定化に向かう。

(7):: 周辺境界条件:

超伝導層は全面的に無磁界(Meisner 断面)でなく、  
 表皮深度減衰磁界(非 Meisner 断面)を持つ <通常の第二種超伝導体>。



$$\oint \mathbf{ds} \cdot \mathbf{H} = \oint \mathbf{dS} \cdot \mathbf{j} = S j = I = H L \rightarrow H = S j / L$$

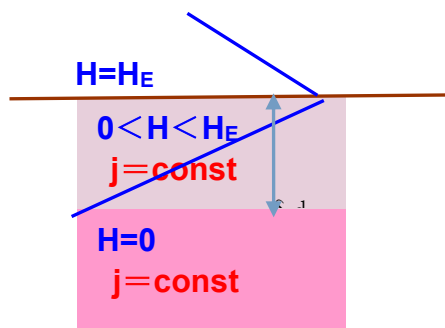
$$j = \text{curl} H = dH/dr = H / \delta d = S j / L \delta d$$

$$1 = S / L \delta d \rightarrow \delta d = S / L \dots \text{表皮磁界深度}$$

- \* S: 伝導層断面積
- \* L: 断面周長

\* 第一種超伝導体 =  $\delta d = 0$ .

磁界力学結合0で永久磁石空中浮遊が起きない。



実物は非常に  $\delta d \sim$  薄い模様です;

p5: 超伝導層 [GdBCO]  $2 \mu\text{m}$  / [EuBCO+BHO]  $2.5 \mu\text{m}$

レアアース系 高温超電導線材のご紹介

<https://www.fujikura.co.jp/products/newbusiness/superconductors/01/superconductor.pdf>

高温超電導ケーブル: 現在2種類の線材が実用化

[https://www.ceramic.or.jp/museum/contents/pdf/2023\\_04\\_20.pdf](https://www.ceramic.or.jp/museum/contents/pdf/2023_04_20.pdf)

銀合金テープ中に Bi, Sr, Ca, Cu, O 酸化物体がフィラメントとして埋め込まれた Bi 系超電導線  
 金属基板テープ上に, RE(希土類元素), Ba, Cu, O からなる薄膜が形成された RE 系超電導線.

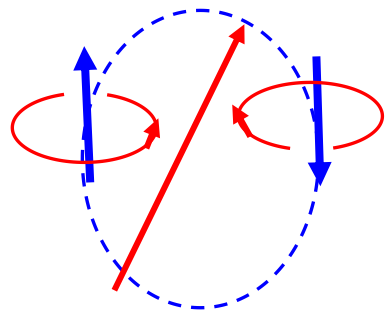
超伝導のふしぎ, 東京大学物性研究所 家泰弘

<https://iye.issp.u-tokyo.ac.jp/iye/supercond.pdf>

表皮磁界深度の解説

## [2]: Cooper 対電流トンネル模型の力学安定性.

総じて引力に働く同方向トンネル電流(2+1)本は 1 本追加で一層負エネルギー強化で安定化。



近傍間回転電荷の Coulomb 力は回転電流の Lorentz 力になつて事に留意<誤解多し>、  
 例えば CuO2 の Cooper 対電子は軌道電子だから当然 Fermi 順位以下、そこにさらに負エネ。  
 spin-spin 相互作用は円環電流間力学で本件ではさらに直線電流加味の計算。

[1](6): spin-spin 相互作用 <物理学公式集、共立出版、1970>

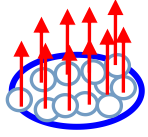
$$H_{SS} = 4\mu_B^2 \sum_{i>j} \{ (\mathbf{s}_i \cdot \mathbf{s}_j) / r_{ij}^3 - 3(\mathbf{r}_{ij} \cdot \mathbf{s}_i)(\mathbf{r}_{ij} \cdot \mathbf{s}_j) / r_{ij}^5 - (8\pi/3)(\mathbf{s}_i \cdot \mathbf{s}_j) \delta(r_{ij}) \}$$

## 結論要約.

(1) Meissner 効果で超伝導層では磁界0ながら電流密度がある、 $0 \neq j = \text{curl} H = 0$  で矛盾.

(2) Cooper 対電流トンネル模型.

小円環磁界で内部磁界相殺で面積  $S$  を埋め尽くす  $\Rightarrow$  Cooper 対円環磁界 with 超伝導電流密度

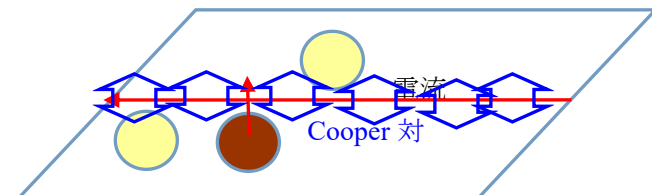


電流方向垂直面内に円環磁界面〈 $\pm$ spin 整列方向性〉がある

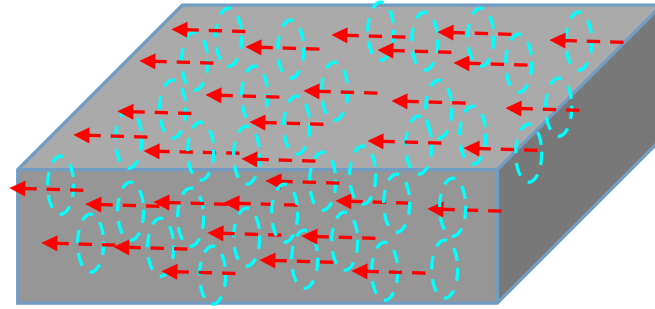
以下は付録 1〈この議論は筆者脆弱に警戒〉:

(3) 2次元平面格子  $\text{CuO}_2$  の最外殻分子軌道には 11 組の Cooper 対候補がある。電流注入前は整列性が無いだろう？。

(4) 電流注入前に  $\text{Cu}(4s1)$  不対電子一個が反強磁性整列性がある。



模式図原子配置



分子軌道電子雲粗実態図

〈格子結晶の電子雲は空洞的部分あれど広域連続〉

\* 電子雲=素粒子電子に連続軌道なし、同時に空間多点存在確率がある。

超伝導体の特徴!!

[https://www.okayama-u.ac.jp/user/akimitsu/achievements/study\\_sc\\_chara.html](https://www.okayama-u.ac.jp/user/akimitsu/achievements/study_sc_chara.html)

Cooper 対は電子格子相互作用??、Cooper 対トンネル効果=一体波動関数



# 付録 1: 二次元平面格子 CuO<sub>2</sub> の 筆者推定 Cooper 対 spin 配置.

銅酸化物 CuO<sub>2</sub> の軌道電子配置要約:

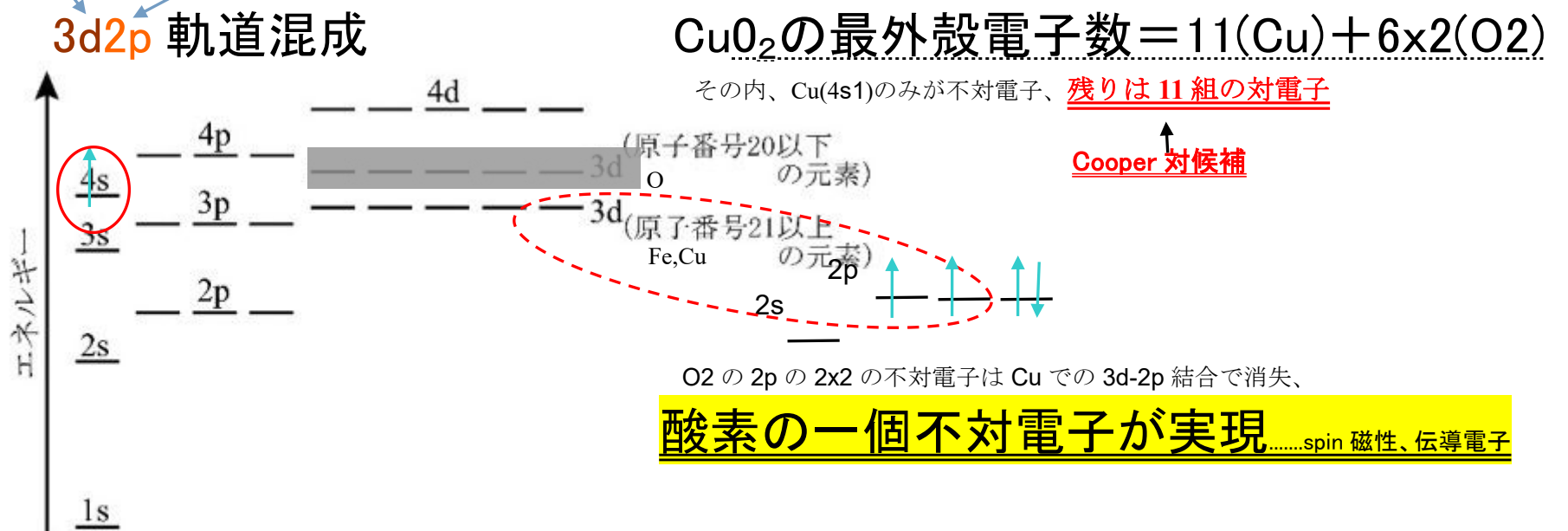


図 3 多電子原子の原子軌道のエネルギーの順番

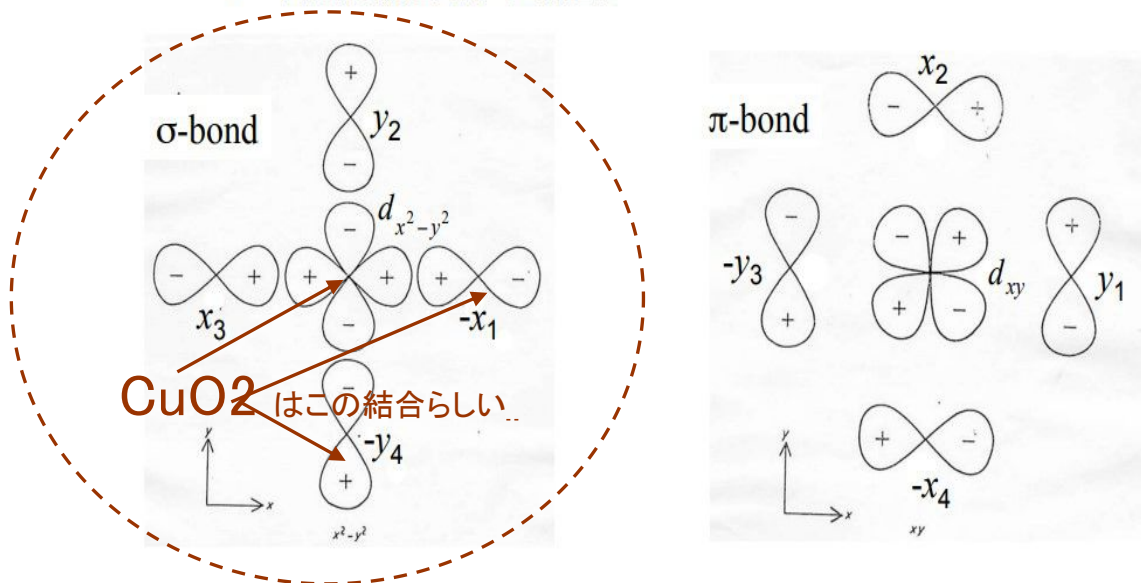
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/kakyoshi/71/4/71\\_164/\\_pdf-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/kakyoshi/71/4/71_164/_pdf-char/ja)

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/kakyoshi/71/4/71\\_164/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/kakyoshi/71/4/71_164/_pdf/-char/ja)

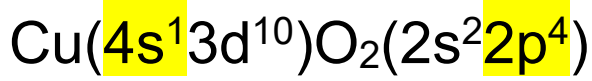
## 酸化物: 共有結合性 (covalency)

殆どのイオン結晶中では磁性イオンは陰イオンを介して結ばれている。  
交換相互作用のベースとなる軌道 (スピンの乗っている軌道)

→ d-p 混成軌道 (分子軌道)



[https://ocw.kyoto-u.ac.jp/wp-content/uploads/2010/04/2010\\_mukikouzouron1\\_5.pdf](https://ocw.kyoto-u.ac.jp/wp-content/uploads/2010/04/2010_mukikouzouron1_5.pdf)



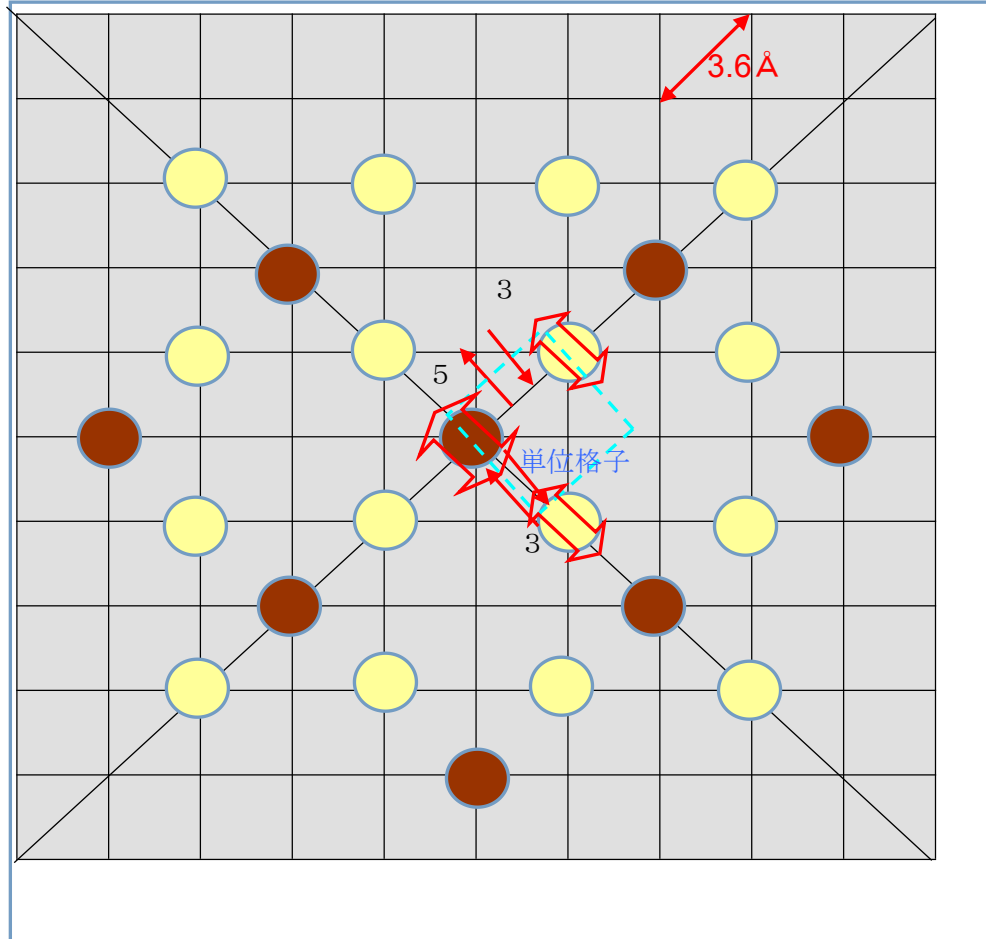
高温超伝導のやさしい理解 - 東北大学応用物理

<https://www.apph.tohoku.ac.jp/low-temp-lab/materia.pdf>

**銅 spin 間の超交換相互作用**

母物質で見られる**反強磁性相関**の特性は色濃く残っている (1, 2)

二次元平面格子 CuO<sub>2</sub> の筆者推定 Cooper 対 spin 配置<<Cooper 対電流トンネル模型>>.



**電流密度推計:**

銅酸化物格子間隔から伝導電子密度  
a(CuO<sub>2</sub>)=3.6 Å

<https://www.tosoh.co.jp/technology/assets/91-099.pdf>

$N = 1m / 3.6 \text{ \AA} (10^{-10}m) = 2.8 \times 10^9$

$N^3(\text{Cu}; 4s^1 \text{ 電子}) = 2.14 \times 10^{28} / 1m^3$

$e = 1.6 \times 10^{-19}C$

$Q = N^3 e = 3.4 \times 10^9 C / 1m^3$

$V_F(\text{Cu}) = 1600 \text{ km/s} \dots \dots \dots \text{電流速度??}$

**3kA** の超電導線総計断面積 **S** :

$V_F(\text{Cu}) = 1600 \text{ km/s}$

$3kA = Q V_F S \Rightarrow S = 5.5 \times 10^{-13} m^2$

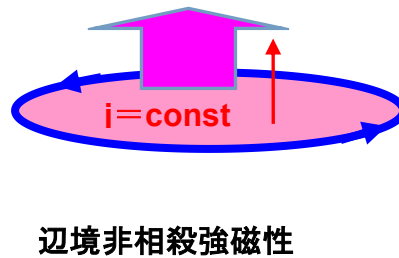
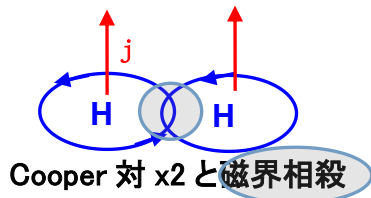
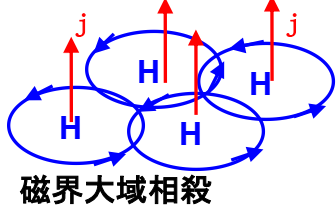
$V(\text{Cu}) = 1.6 \text{ mm/s}$

$3kA = Q V S \Rightarrow S = 5.5 \times 10^{-4} m^2 ???$

**大域 Meisner 断面合成推定:**

[1](4)Cooper 対で**磁界大域相殺**(反強磁性)**vs** **辺境非相殺強磁性**

**Cooper 対電流トンネル模型**



**反強磁性**の Cooper 対は酸素-銅間上の共有結合電子(11 組)、対 spin が形成する円周磁界の中を Cu(4s<sup>1</sup>)等の電子電流が通る。以下に見る如く逆向き spin 間には**引力(負エネルギー)**が逆 3 乗則で働きます。磁界相殺は磁界の共有結合(引力負エネ) O<sub>2</sub> 共有結合電子 2x2=4 個は Cu(3d<sup>10</sup>)から供給される。

電子雲の見方<一個の準自由? 電子は同時に無制限複数スリットを通過可能! >>

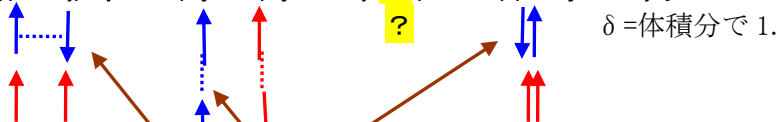
**☠ : Meisner 現象機構 :**

銅酸化物格子間隔 a(CuO<sub>2</sub>)=3.6 Å、水素の Bohr 半径 0.5 Å。結構格子間隔は広い!!、そこで模式図=磁界大域相殺の如く電流断面を Cooper 対 x2 と磁界相殺でうめつくせるか? !!!

iii : spin-spin 相互作用<物理学公式集、共立出版、1970>

$H_{SS} = 4\mu_B^2 \sum_{i>j} \{ (\mathbf{s}_i \cdot \mathbf{s}_j) / r_{ij}^3 - 3(\mathbf{r}_{ij} \cdot \mathbf{s}_i)(\mathbf{r}_{ij} \cdot \mathbf{s}_j) / r_{ij}^5 - (8\pi/3)(\mathbf{s}_i \cdot \mathbf{s}_j) \delta(r_{ij}) \}$

青は負エネ  
赤は正エネ



根拠弱だが超伝導流寄与 Cooper 対は CuO<sub>2</sub> 最外殻軌道上の 11 組対電子、これらは最小サイズ,最大数,最広域の反強磁性体要素、残る 1 個不對電子(Cu4s<sup>1</sup>)は**広域の反強磁性直整列要素**、電流注入前の Cooper 対は直整列が無いだろう。

参考資料:

### 高温超電導ケーブル

[https://www.ceramic.or.jp/museum/contents/pdf/2023\\_04\\_20.pdf](https://www.ceramic.or.jp/museum/contents/pdf/2023_04_20.pdf)

国	プロジェクト	実証系統	線材	長[m]	電圧・電流
日本	横浜プロジェクト	東電旭変電所	Bi	240	AC66kV-3kA
日本	戸塚プロジェクト	工場内	REBCO	200	AC6kV-3kA
日本	石狩プロジェクト	太陽光データセンタ	Bi	500	DC10kV-5kA
米国	LIPAプロジェクト	送電線	Bi/RE	600	AC138kV-2.4kA
米国	REGプロジェクト	変電所間	REBCO	600	AC12kV-3kA
ドイツ	Ampacity	配電線	Bi	1000	AC10kV-2.3kA
ロシア	DCケーブル	変電所間	Bi	2500	DC20kV 2.5kA
中国	上海プロジェクト	配電線	REBCO	1150	AC35kV 2.2kA
韓国	GENIプロジェクト	変電所間	REBCO	500	AC23kV-1.25kA

30年を経た今日でも、銅酸化物超伝導体におけるそのメカニズムは明らかになっていません。

[https://www.riken.jp/press/2016/20160527\\_3/index.html](https://www.riken.jp/press/2016/20160527_3/index.html)

銅酸化物高温超伝導体を示す、反強磁性と高温超伝導が共存する性質を解明しました

<https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/news2.html?pid=11098>

## 三次元立体格子 <筆者無知>

### 超伝導の歴史

[https://www.phys.chs.nihon-u.ac.jp/takahashi/information/members/B4\\_imagawa.pdf](https://www.phys.chs.nihon-u.ac.jp/takahashi/information/members/B4_imagawa.pdf)

銅酸化物超伝導体の結晶構造はペロブスカイト構造を基礎とし、名前の由来でもある銅(Cu)と酸素(O)からなるCuO<sub>2</sub>面を結晶中に必ず持っている。そしてこのCuO<sub>2</sub>面とキャリアを供給する役目を果たしているブロック層(LSCOでは[La, Sr]<sub>2</sub>O<sub>2</sub>層)と呼ばれる原子層が交互に積み重なった積層ペロブスカイト構造をしている

銅酸化物超伝導体は反強磁性絶縁体の母物質にキャリアをドーピングすることで超伝導を発現、エレクトロンドープの場合もキャリアのドーピング量により反強磁性から超伝導、常金属というように性質が変化していく。

### 高温超伝導

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E9%AB%98%E6%B8%A9%E8%B6%85%E4%BC%9D%E5%B0%8E>

## YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> (T<sub>c</sub>~93 K) ; Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>10</sub> (T<sub>c</sub>~109 K)

銅酸化物高温超伝導体は全てペロブスカイト構造を基礎とした結晶構造。これら銅酸化物高温超伝導体の構造には以下のような特徴がある。

2次元正方格子 CuO<sub>2</sub>面がシート状に広がっている。

多くの物質では、このシートの上にはランタノイド等による電気伝導をブロックする層があり、

CuO<sub>2</sub>面とブロック層が交互に積層する構造をとっている。ブロック層が存在しない無限層と呼ばれるものもある。

ランタノイド: <sup>57</sup>La [Xe]4f<sup>0</sup>5d<sup>1</sup>6s<sup>2</sup>。すなわちキセノン配置の外側に、4fを空で残したまま、5d, 6s軌道に電子が入る。

<https://info.ouj.ac.jp/~hamada/TextLib/kk/chap14/Text/Cs901402.html>

### 東北大

<https://web.tohoku.ac.jp/y Miyazaki-lab/naiyou/naiyou3.htm#:~:text=%E7%8F%BE%E5%9C%A8%E3%81%BE%E3%81%A7%E3%81%AB%E7%9F%A5%E3%82%89%E3%82%8C,%E4%BD%9C%E3%82%8B%E3%81%93%E3%81%A8%E3%81%8C%E3%81%A7%E3%81%8D%E3%81%BE%E3%81%99%E3%80%82>

最近、高温超伝導を示す強相関電子系の酸化物半導体が相次いで発見されました。現在までに知られている酸化物高温超伝導体の結晶構造は全てペロブスカイト型で、3d遷移金属と酸素が作る八面体がシート状に並んだ層を持っています。転移温度が100Kを越えるような高温超伝導体は、この金属酸化物層にキャリアを一定量ドーピングすることによって経験的に作ることができます。

### 物性研

<https://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/news2.html?pid=19450#:~:text=%E9%8A%85%E9%85%B8%E5%8C%96%E7%89%A9%E9%AB%98%E6%B8%A9%E8%B6%85%E4%BC%9D%E5%B0%8E%E4%BD%93%E3%81%A7%E3%81%AF%E3%80%81CuO2,%E8%B6%85%E4%BC%9D%E5%B0%8E%E3%81%8C%E7%99%BA%E7%8F%BE%E3%81>

銅酸化物高温超伝導体では、CuO<sub>2</sub>面が上下2枚の電荷供給層によって挟まれた構造となる。この電荷供給層に酸素アニールや元素置換を施すことで、電荷(ホールや電子)がCuO<sub>2</sub>面に供給され、電子濃度が変化することで、超伝導が発現する。



## 製法技術

### エピタキシャル成長

[https://www.ushio.co.jp/jp/technology/glossary/glossary\\_a/Epitaxial\\_growth.html#:~:text=%E3%82%A8%E3%83%94%E3%82%BF%E3%82%AD%E3%82%B7%E3%83%A3%E3%83%AB%E6%88%90%E9%95%B7%E3%81%A8%E3%81%AF%E3%80%81%E5%8D%8A%E5%B0%8E%E4%BD%93%E8%A3%BD%E9%80%A0,%E3%81%AE%E7%B](https://www.ushio.co.jp/jp/technology/glossary/glossary_a/Epitaxial_growth.html#:~:text=%E3%82%A8%E3%83%94%E3%82%BF%E3%82%AD%E3%82%B7%E3%83%A3%E3%83%AB%E6%88%90%E9%95%B7%E3%81%A8%E3%81%AF%E3%80%81%E5%8D%8A%E5%B0%8E%E4%BD%93%E8%A3%BD%E9%80%A0,%E3%81%AE%E7%B)

エピタキシャル成長とは、半導体製造の薄膜結晶成長技術のひとつで、半導体の単結晶の基板の上に、新しく単結晶の薄膜を成長させること。

基板結晶の上に基板結晶と同じ格子定数を持つ結晶を成長させる場合をホモエピタキシャル成長と呼び、格子定数が一致しているため、最も欠陥の少ない良質の結晶が得られる。代表的な例として、シリコンのエピタキシャルウエーハがある。一方、基板結晶と格子定数が異なる、あるいは結晶方位や材質が異なる結晶を成長させる場合をヘテロエピタキシャル成長と呼ぶ。この場合、両者の格子定数などの差がわずかであれば良質な結晶が得られるが、差が大きいと格子不整合によりミスフィット転位と呼ばれる欠陥を生じる。そのため、基板結晶とエピタキシャル結晶層の間にバッファ層と呼ばれる中間層を導入して、ミスフィット転位を入りにくくする工夫がなされることもある。

※エピタキシャル成長の方法には、気相中の成分を基板結晶表面に堆積させる気相エピタキシャル成長（VPE：Vapor Phase EpitaxyまたはCVD：Chemical Vapor Deposition）と、過飽和溶液から基板結晶表面に結晶成分を析出させる液相エピタキシャル成長（LPE：Liquid Phase Epitaxy）、基板結晶表面に堆積する材料を電子ビーム照射などにより加熱して、基板結晶と同じ結晶構造に変える固相エピタキシャル成長（SPE：Solid Phase Epitaxy）がある。また、超高真空（ $10^{-8}$ ～ $10^{-9}$ Pa）中で目的の結晶を構成する元素あるいは元素を含む材料を加熱蒸発させ、加熱された基板結晶の上に結晶を堆積させる分子線エピタキシャル成長（MBE：Molecular Beam Epitaxy）もある。

### 素子作製技術

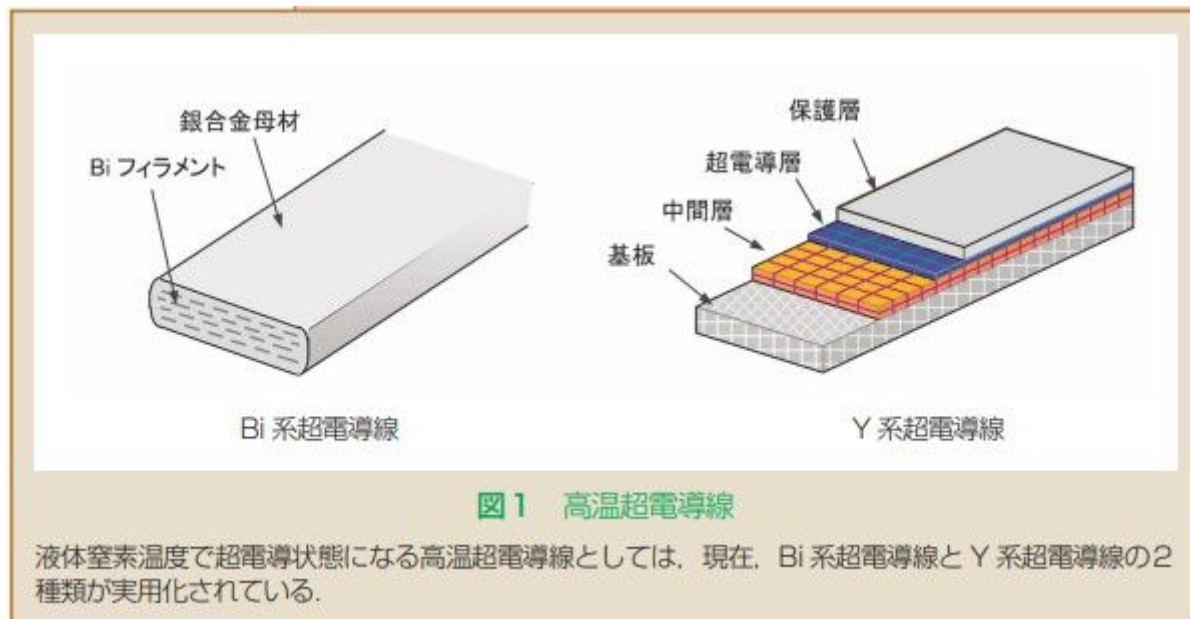
<https://sustec.jp/device.html>

#### エキシマレーザー蒸着法による高温超電導薄膜

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/lsj1973/20/5/20\\_5\\_355/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/lsj1973/20/5/20_5_355/_pdf)

### 高温超電導電力ケーブル

[https://www.ceramic.or.jp/museum/contents/contents/pdf/2007\\_8\\_06.pdf](https://www.ceramic.or.jp/museum/contents/contents/pdf/2007_8_06.pdf)



### 超伝導体の基礎と基盤技術

[https://www.ieice-hbkb.org/files/09/09gun\\_02hen\\_01.pdf](https://www.ieice-hbkb.org/files/09/09gun_02hen_01.pdf)

現在では、電子間引力の媒介に、フォノンだけではなく、電荷や価数のゆらぎ、スピンのゆらぎなども議論されている。電子対の状態もスピン1重項で相対軌道運動が等方的なs波対だけではなく、d波対やスピン3重項のp波対なども見出されている。

付録学習備忘録:

## 分子軌道法<厳密計算は別途あるが簡単推計で見積れることは重要>

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%88%86%E5%AD%90%E8%BB%8C%E9%81%93%E6%B3%95>

分子中の一電子波動関数である「分子軌道」を求めるシュレーディンガー方程式は、非常に単純な分子、例えば水素分子イオン(H<sub>2</sub><sup>+</sup>)では回転楕円体座標を使って厳密に解くことができる。しかしながら、通常は分子軌道を求めるのは困難であるため、分子軌道波動関

は、既知の n 個の**原子軌道関数**<全部使用すれば**完全直交基底**>の線形結合(重ね合わせ)で表せると仮定する[2]。

$$\psi^{MO}_j = \sum C_{jk} \chi^{AO}_k$$

## Huckel MO 法:

H =  $\sum_j h_j$  ::::: 1 電子 Hamiltonian.

$h_j = p_j^2/2m + \sum_k V_{jk}$  (電子 j 原子 k) +  $v_j$  (平均場)

$$h_j \psi = \epsilon \psi \sim \psi^{MO}_j = \sum C_{jk} \chi_k \Rightarrow 1 = \sum C_{p*} C_q S_{pq} \dots S_{pq} = \langle \chi_p | \chi_q \rangle: \text{未定係数法 } \lambda \text{ での拘束条件.}$$

$$\epsilon = \langle \psi | h | \psi \rangle = \langle \sum C_p \chi_p | h | \sum C_q \chi_q \rangle = \sum C_p^* C_q \langle \chi_p | h | \chi_q \rangle = \sum C_p^* C_q H_{pq}$$

{C<sub>p</sub>} 決定未定係数変分法の適用:  $\epsilon = \sum C_p^* C_q [H_{pq} + \lambda S_{pq}]$ 。

$$\text{連立式: } 0 = \partial \epsilon / \partial C_{p*} = \sum_q [H_{pq} + \lambda S_{pq}] C_q \Rightarrow 0 = \det | H_{pq} - \epsilon S_{pq} |$$

S 重なり積分 =  $\langle \chi_p | \chi_q \rangle$ ,  $\alpha$  Coulomb 積分 =  $H_{pp} = \langle \chi_p | h | \chi_p \rangle$ ,  $\beta$  共鳴積分 =  $H_{pq} = \langle \chi_p | h | \chi_q \rangle$ ,

## 量子力学 I / 平均場近似

<https://dora.bk.tsukuba.ac.jp/~takeuchi/?%E9%87%8F%E5%AD%90%E5%8A%9B%E5%AD%A6%E2%85%A0/%E5%B9%B3%E5%9D%87%E5%A0%B4%E8%BF%91%E4%BC%BC>

後記:

超電導は学会を超越して企業多数が開発研究、内部秘諾企業もあれば PR 懸命企業も、本件は本命需要の材料設計理論を与える議論にないが未解決の Cooper 対電流トンネル模型はその基礎にあるだろう。

本来税金研究者の組織 = **日本物理学会** が正常にあれば今の筆者破産状態は在りえなかった、

量子確率過程論、素粒子論完成では**米国素粒子実験施設 12000 億円**を無用にしてる。常温核融合理論、地震電磁気学基礎、経済回路網論、流体力学カオス原因解明と実用分野でも貢献したはずですが、学会黙殺横暴で物理では一切収入なしです。

<http://www.777true.net/phys-hidden.pdf>

<http://www.777true.net/Math-Physical-Science-Library-List-in-777true.net.pdf>

<http://www.777true.net/Jyokoku-Riyuusho-EX-20240503.pdf>

近時筆者は破産家無しですが、どうしても完成したいのがこれです。

**Tesla 螺旋回路(TC)の簡易解析法 自発磁界 Lorentz 力が自走起電圧発生。**

[http://www.777true.net/Tesla%E3%83%BCCKT\\_the-Simple-Analysis.pdf](http://www.777true.net/Tesla%E3%83%BCCKT_the-Simple-Analysis.pdf)

賛同いただければ支援お願いします、政府文部省行政?、過去は裏切り一途、今日当選の石破さんが今後どうかですが