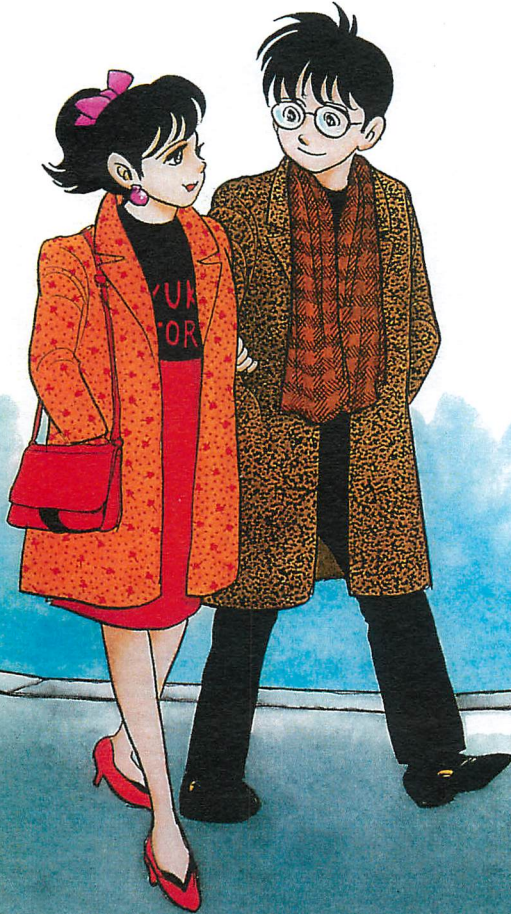
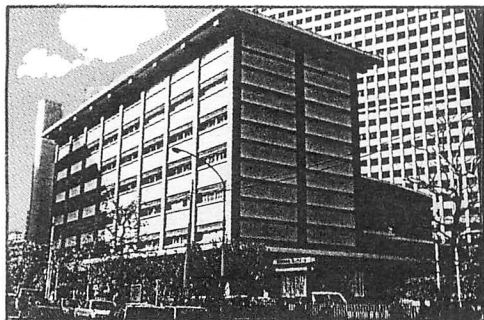


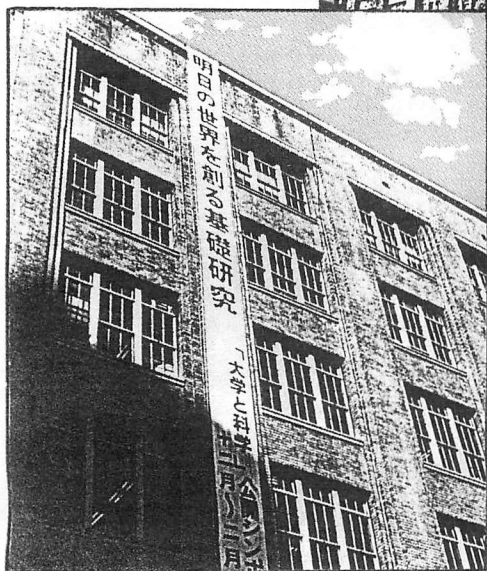
## 第5章

# 超電導の理論いろいろ

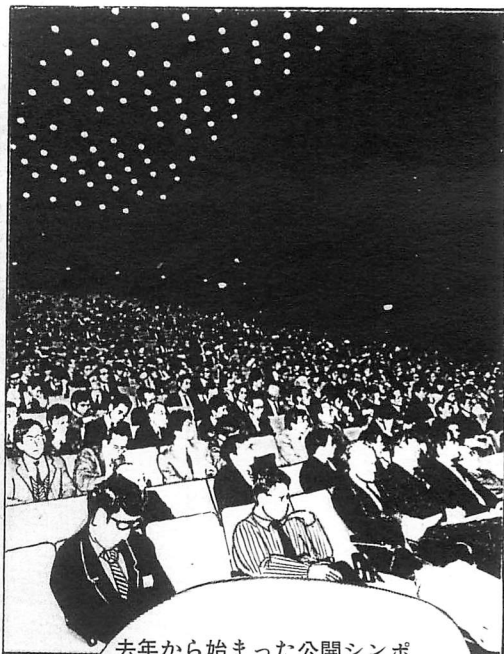
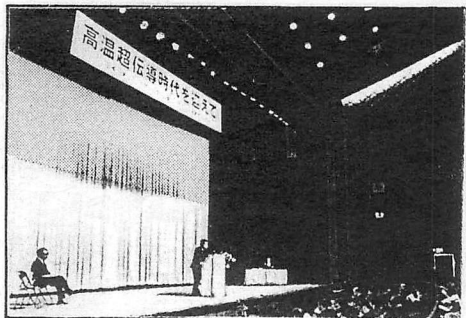
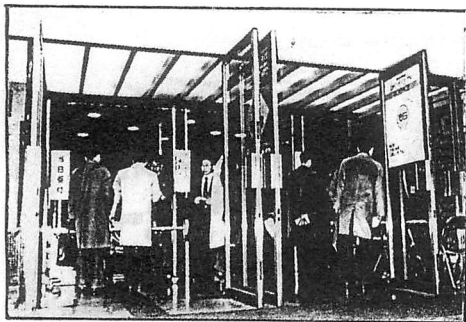




東京. 虎ノ門  
1988. 1.8……







……すっご〜い人  
超電導は相変わらず  
人気があるのねえ!!

去年から始まった公開シンポ  
ジウムなんだよ……学術研究の  
成果を一般の人にも知ってもらおう  
という狙いで開いているんだ  
——実験と理論に関する研究者が  
集まっているのに無料で聞ける  
ってあたりがいいよね……!

チューさんも  
田上教授も  
出席してる……

世界のソウソウたる  
メンバーが  
勢揃いした！

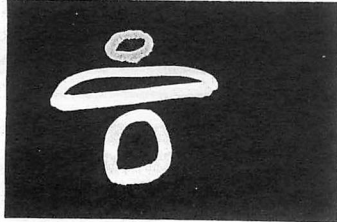
オールスター  
キャスト……!!

お正月映画じゃ  
ないツツーの!!



予稿集

## 高温超伝導時代を迎えて



昭和63年1月8日 虎ノ門ホール  
第2回「大学と科学」公開シンポジウム

【主編】東京大学大学院理学系研究科 物理学専攻 長倉三郎  
【編集】東京大学 理学部 物理学系 長倉三郎  
【協力】東京大学 理学部 物理学系 長倉三郎  
【協力】東京大学 理学部 物理学系 長倉三郎  
【協力】東京大学 理学部 物理学系 長倉三郎

“高温超伝導時代を迎えて”という  
セッションを企画し 本日開催する  
ことになりました 今後の科学技術の  
革進的な発展 あるいは社会経済の  
発展に対して  
計り知れない影響を与える分野  
として 期待されているわけで  
ございます……

長倉三郎 岡崎国立  
共同研究機構長



文部省は昭和59年から3年間にわたって——

超電導研究に対して“特定研究”の形で援助してきたんだ

……そのころ ほかにも援助している国なんてなかった!

よしよし

そうだったの

ふうん

そんな基盤があったから 日本は超電導の先進国になれたんだ!

ゆるっやん、文化に対する日本政府の対応は!

……亡くなった日本大学教授の安河内さんと並んで日本の超電導で先見の明があった人だよ……!!

長いこと東大物性研究所で研究してたんだって……!

——次は田上教授よ!

六本木の下真中にある研究所……

中嶋貞

中嶋貞雄  
東海大学教授

……その意味で単にテクノロジーへの応用という面だけでなくサイエンティフィックな意味から言いかけても新しい問題が提起されているわけでございます

……新超電導体が従来の超電導に比べて違う所は

キャリアコンセントレーションが非常に少ない——

普通の金属の超電導体に比べ100倍も1000倍も少ないということが特徴になっています

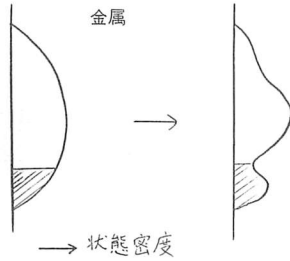
東



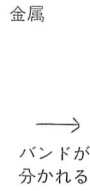


\*第0世代の超電導物質。これを研究しているのは、田中昭二、チュー氏らわずがだった。

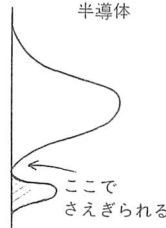
エネルギーバンドが次のように変化する



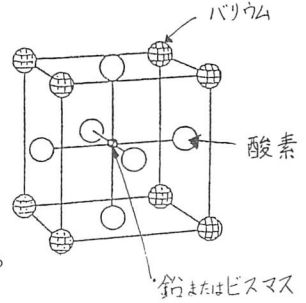
ビスマスが少ないとき



ビスマスを増やすとへこみができる



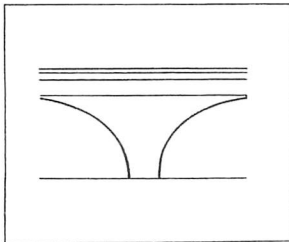
ビスマスが35パーセントを越えようと半導体になる



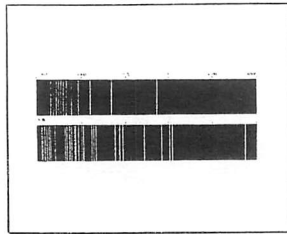
我々が馴染み深い世界っていうのは1センチとか1メートルの世界だろう この世界のことはニュートン力学という従来の学問が説明するんだ でもオングストロームレベルのミクロの世界のことはニュートン力学ではうまく説明がつかなかったんだ ニュートン力学では対象を全て連続するものとして扱っているけど量子力学では飛び飛びの状態として扱うんだ……！



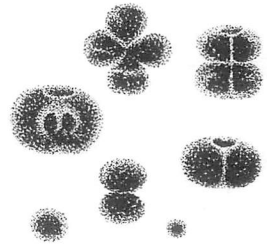
だからなんで  
トビトビ……!?



エネルギー準位 (飛び飛びの値  
しか許されない)



原子のスペクトル (飛び飛びの線になる)



水素原子 (いろいろな形が飛び飛び  
のエネルギー準位に対応)

量子力学では——  
電子は飛び飛びの  
決まった席に  
すわっていてね

それは……難しい  
光の実験からわかったんだ  
けど——ミクロの世界は  
しょせん飛び飛びで……  
としか言えないね!

一列一列を「エネル  
ギー準位」って言うん  
だよな……

似たような飛び飛びが  
結晶の中の電子にもあって  
電気が流れてるってことは  
さっきも説明してるだろう?

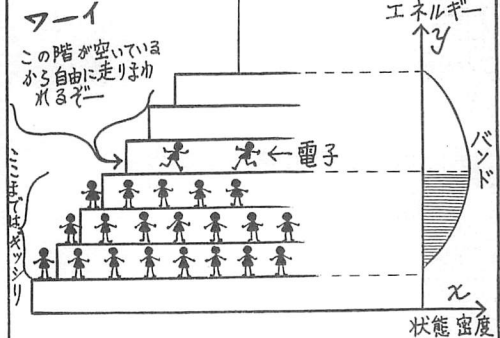
じゃ……  
グラフを書いて  
説明するか!

$x$  軸が状態密度  $y$  軸がエネルギー  
電子のすわる席は下の  
方から詰まっていく……

……自由電子が  
原子から離れて  
動く……?

その時の電子は  
飛び飛びのバンド  
構造——という形を  
とるっていうこと!

わっかん  
ニャ~~~~イ!!



……で 一番上の席のことを  
フェルミ準位っていうんだ  
その状態を金属 絶縁体  
半導体の順に示すと——

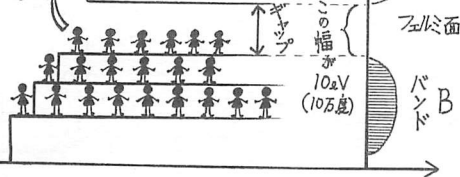


—こんなふうになって……

バンドの中に電子がいっぱい詰まってしまうと動けなくなるわけ……

絶縁体

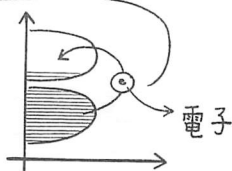
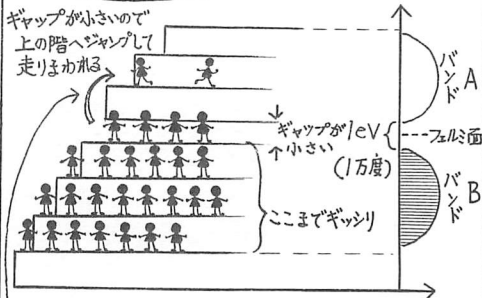
上の階は空いて、上へ上へ自由に走れる。でもギャップが大きすぎて上がれない。



……でも半導体っていうのはいくら電気的な性質もっているでしょ 絶縁体と一緒に——ということはないわね？

満員の野球場……みたい！

半導体



半導体の場合はこの間隔が狭いんだ エネルギーにして 1エレクトロンボルト っていうから温度に換算すれば 1万度の幅があるんだ……もし そのエネルギーを加えれば 電子は上のバンドに上がれ……上がってしまえば 電子が自由に動けるってわけだ……！

これが わずかにバリウムを加えると 半導体的な性質が一気に破れて超電導体に転移します……

—ランタン バリウム 銅 酸化物 (La-Ba-Cu-O)

にも半導体の相が存在するわけ ですよ バリウムを含まないピュアなランタン 2 銅 4 はどうも半導体であるということになっています

キャリアはだんだん増えてきて ほぼ加えたバリウムの濃度に 等しくなる——バンド計算ですと 確実に金属なんだけれども これを見てみると半導体的なふるまいをしているようにも見えます……

……金属になるはずのものが半導体になっているのね……!?

そう

——だから セラミックスという  
今までは半導体や絶縁体としか  
考えられていなかった物質が 新しい  
超電導体になったんだ

だから……今までの物性物理の  
分け方がなくなり  
新しい物質観がつけられる  
可能性があるんだ……!

……今まで我々 物性屋が  
扱っていた物質と全然違う  
という感じがいたします……

つまり ある面で見れば  
絶縁体のようにも見える 高温  
超電導になるので金属でもある……  
と同時に磁性体のすぐそばにある  
だいたい 磁性と超電導は両立  
しないはずなんですけれど……

こういうものを総括してつくる高温  
超電導の理論は非常に難しいん  
じゃないか——ですから理論のいろんな  
方々にご同情申しあげているわけでして  
……しかし 高温超電導の理論が完成  
した時には おそらく新しいコンセプトが  
固体物理に導入されるだろうと思います

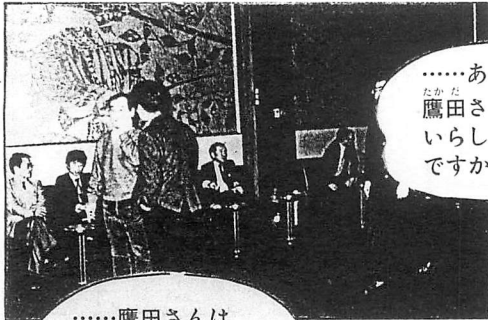
ひとつの革命を引き  
起こすのではないかと  
思います……

——同情される  
理論屋サンも  
大変ねえ……!

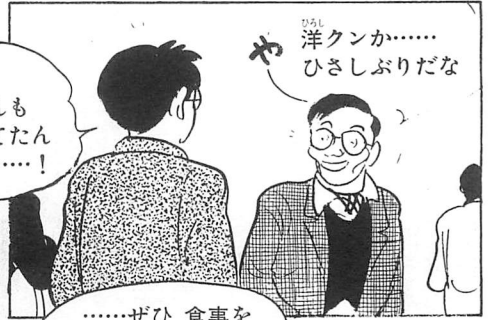
これで午前の  
セッションは  
終わりだ……

……特殊な物質と  
いうことだけは  
確かだね……!

アタマがいっぱい  
になったら お腹  
がカラッポ~~~~  
なんか食べに  
いこ……!!



……あ  
たか たか  
鷹田さんも  
いらしてたん  
ですか……！



や  
ひし 洋クンか……  
ひさし ぶりだな



……鷹田さんは  
物性研の助教授  
でね 若手ナンバー  
ワンの理論家なんだ

……こっちは ひまこ 順子  
雑誌の編集者で  
……えーと 今日には取材に  
つきあってるわけで



……ぜひ 食事を  
ご一緒に……

ちょっと質問——いえ  
取材をさせて  
いただきますけど……



……実は去年の6月に  
パークレーで超電導のワーク  
ショップがありましたね  
“超電導の新しい機構”  
というタイトルでした……

……タダで出席  
できるんですか？

ええ  
——ちょうど 超電導  
フィーバーの最中だったから  
ヨットハーバーのわきの  
一軒だけ離れたホテルで  
開かれたんです……





ヨットハーバーと超電導か……

さすがアメリカ!

——そこで どんないことが話題になったんですか?

……世界中から多くの研究者が参加しましてね 日本からも12人——そして いろんな理論が出ました 私の考えでは このワークショップ以後 とくに新しいアイデアが出たとは思えませんね

酸素が欠けてくると超電導になるとか?

**い** そんな報告も出されました 理論面からは RVB理論\*が話題の中心でしたね……

そう……なんらかの引力を持たないとね 電子同士が……

——今までの超電導理論であるBCS理論では電子と格子の作用だと考えてきたんです……

ひょっとしてフォノンっていうヤツ!?

——格子のように並んでいるイオンの揺らぎがフォノン……でも超電導メカニズムはフォノン機構ではないわけですよね?

——互いにはじき合う電子がなぜくっついて超電導になるのか……わからないんですけど

——考えられるのは……

酸素の16をそれより重い同位体の18で置き換えても同位体効果がなく 格子の揺らぎに変化が見られないことから フォノンが関与していないと見られています……

じゃ なにか と言えば——

- ①バンド内分極効果を利用するエキシトン機構
- ②バンド内電荷分極効果を利用するプラズモン機構
- ③スピンなどの磁氣的揺らぎの効果を利用する反強磁性スピン揺動機構(RVB)が考えられるわけですが……

\*Resonating Valence Bond 理論。



光学的実験でエキシトンに対応する吸収係数のピークが現れてエキシトンを支持する研究者を喜ばせたんですが

——それが その後の単結晶の実験では消えちゃったのさ……このまえ話しただろ？



プラズモンは？



超電導になるには——  
いろんな機構が助けに  
なっていると思われませんが 私はプラズモンが重要だと考えています

——臨界温度( $T_c$ )の  
計算です 90K(ケルビン)  
級とか30Kとか  
いうヤツです……

——そうだ  
鷹田さんは電子ガス  
モデルというのを  
使って スゴい計算を  
したんだ……！

東京大学

物性研究所 生産技術研究所

計算って？

……それが スゴい式  
なんだ 順子なら  
いっぺんでクエンチ  
してしまうよ……!!



……10年ほど前  
鷹田はマスターの1年生だった……。  
教授「キミ、バカも休み休みにせんかい。マクミランは神様だよ！」  
鷹田「ですが……。ボクの計算の結果とマクミランの公式\*とは合わないんです」

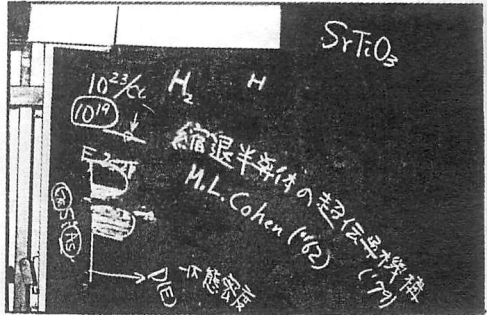
教授「そりゃ、キミの計算ミスだよ！」

鷹田「答えが合わないのは、ひょっとしたらマクミランの公式に問題があるんじゃないかと思って……」

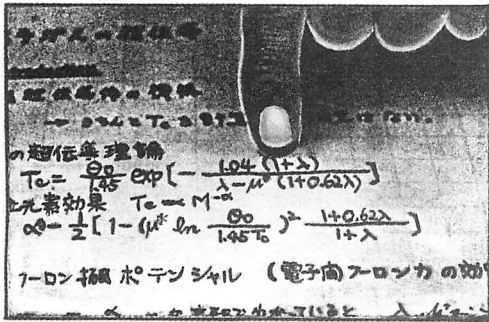
教授「キミの経験が足りないんだ！」

鷹田「そうかもしれませんが、マクミランの公式はボクには、かなりずさんな式のように思えるんです。なにか一人よがりなようで……」

教授「複雑なギャップ方程式をまじめに解くやつなんていないよ。簡単なマクミランの公式があるんだから、これにオンブにダッコだ……」

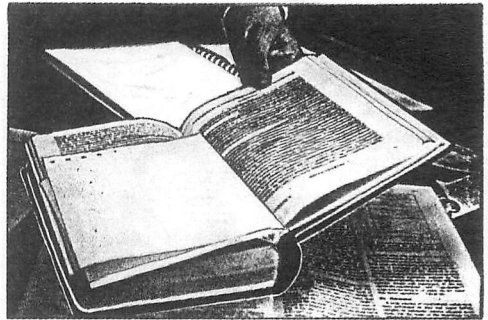


鷹田「電子間の力はどうやって選ばれるかが決まっていなくて、ミュースター( $\mu^x$ )がほかに比べて合理的かどうかだけで説明するなんて……。おかしいですよ。ミュースターで全部が説明できるんでしょうか？ ボクはフォノンの定数を変えてもそんなにTcが変わらなかったんです。フォノンを入れなくても超電導になるんです。ギャップ方程式を解いたら、その答えがマクミランの公式で出した答えと違っているんですから……。マクミランの公式に合わせようとしても合わないことが多いんじゃないやありませんか？」



教授「そりゃ……。すぐには合わないもんだよ。キミの計算のほうがまちがっているんだよ」

鷹田「と、今まではボクも考えたこともあります。でも、マクミランのほうがまちがっているんじゃないかって今では確信もっています！」



「……ミュースターをパラメータじゃなく実際に計算した結果だからまちがいない」  
それから2年後、論文を書き、京都で開かれた半導体国際会議で発表した。  
「マクミランの公式は……」

……マクミランの公式を使うと 臨界温度はせいぜい30 Kが限界なんです……



\*マクミランが1967年の論文で発表した公式。Tc(臨界温度)の計算が出ている。



麻田さんの計算はそれより高かった  
だからセラミックス超電導体が現れる  
ずうっと前から高温超電導体の  
可能性を理論面から示唆していた  
……ということだね

ズゴ〜

ひとつひとつ  
常識を破って  
いったんだ!

……普通 電子間には  
2つの電子があったら  
 $e^2/r$ というクーロン斥力が  
働きます ところが――

――電子ガスはクーロン  
相互作用だけからは  
絶対に超電導に  
ならないと書いて  
あったんですがね……

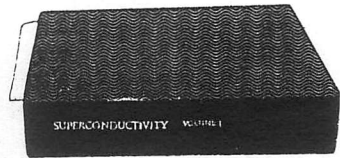
チタン酸ストロン  
チウムというペロブス  
カイト構造の物質です

麻田さんは もともと  
“縮退半導体”といって  
絶対零度では全然  
金属でなかったものが

不純物を入れると金属に  
なる物質を研究していてね  
金属のほうが電子が多いから  
当然 超電導は金属で起こると  
考えられていて あまり研究する  
人がいなかった分野なんだ

超電導はなんらかの意味で  
引力がないといけない だから  
斥力だけのものがいくら集まっても  
超電導になるはずがないと  
考えられていたんです でもボクは  
電子が本当に数が増えてくると  
必ずしもそうじゃないと  
考えたんです

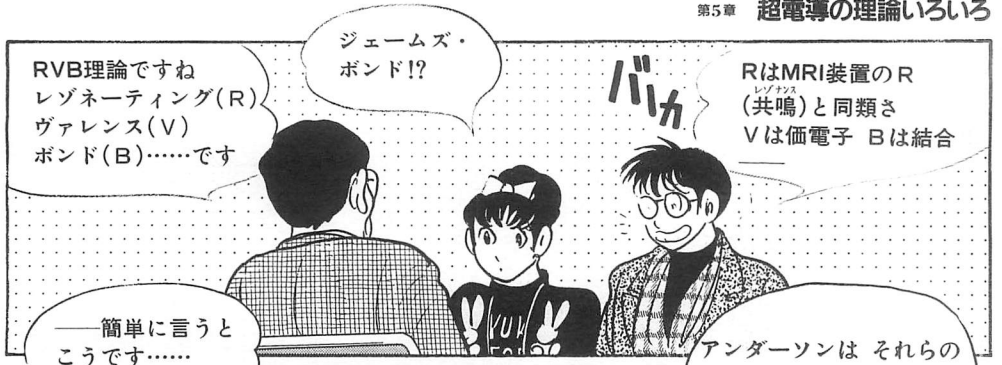
当時――パークスという人が編集  
した超電導の本がバイブルに  
なっていたんです これを読めば  
超電導のことがすべてわかる  
とされていた本なんです  
これには――



――もともと絶縁体  
ですが 不純物を入れ  
ると金属的になります  
電子が1ccあたり $10^{19}$   
つまり金属の  
 $10^{22}$ とか $10^{23}$ に  
比べ少ないところで なぜ  
超電導になるのか わからな  
かったんです……!

とこ??  
アンダーソンという  
有名な人が 別の  
考えを提唱して  
いますね?

\*結晶構造の一つで、今回の高温超電導物質 (La-Ba-Cu-Oなど) はこの構造。ペロブスカイトは灰チタン石のこと。



RVB理論ですわ  
レズネーティング(R)  
ヴァレンス(V)  
ボンド(B)……です

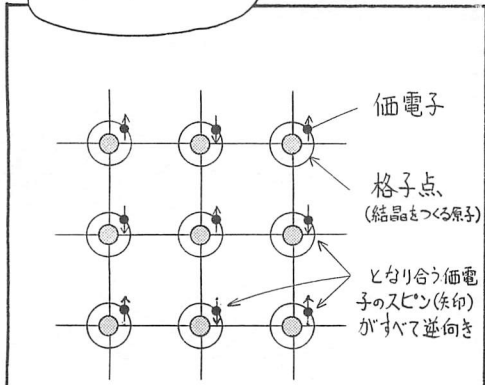
ジェームズ・  
ボンド!?

バカ

RはMRI装置のR  
レズネーティング  
(共鳴)と同類さ  
Vは価電子 Bは結合

——簡単に言うと  
こうです……

アンダーソンは それらの  
電子は はりついていないで  
絶えず相手を替えて  
浮気しながらペアを作って  
いるというのでしたね



思考回路が  
絶縁しよう!

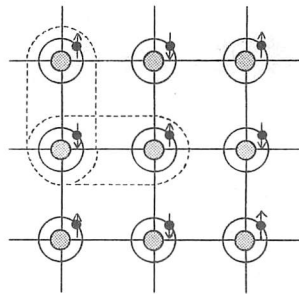


絶えず相手を  
替えていることを  
レズネーティング  
共鳴する(Resonate)

2個ずつペアになる  
ことを結合(Bond)  
というんです!!

……磁性の理論で  
ハバードモデルという  
のがありました

電子は全部 結晶格子に  
はりついていて動けない  
——つまり絶縁体です



女の子に  
手が早い

やっほ

ジェームズ・  
ボンドだ

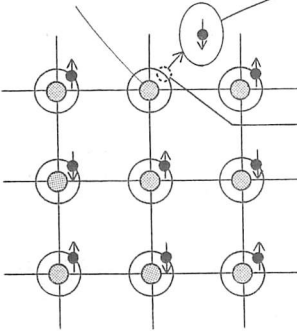
……でなぜ  
それが超電導に?

たとえば——この中の電子が  
1個抜けているとします  
すると抜け穴が残る……

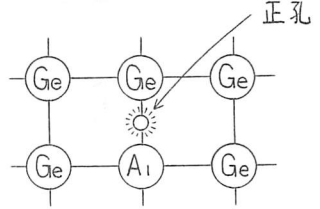
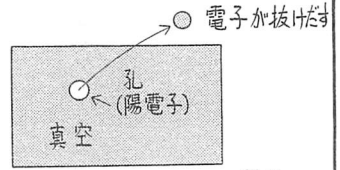
その「抜け穴」が  
超電導を起こすとい  
うんです……!

電荷(-e)  
スピン下向き  
の電子が抜ける。

付(+e)



抜けたあとには  
スピンゼロの穴が  
残る。  
穴は粒子のように  
見える。



……抜け穴といえば  
物理学では真空に空いた穴  
(陽電子)とか半導体の正孔  
が有名ですよえ

……いまの場合は それが  
ボーズ粒子だというのが  
ポイントなんだよ 順子

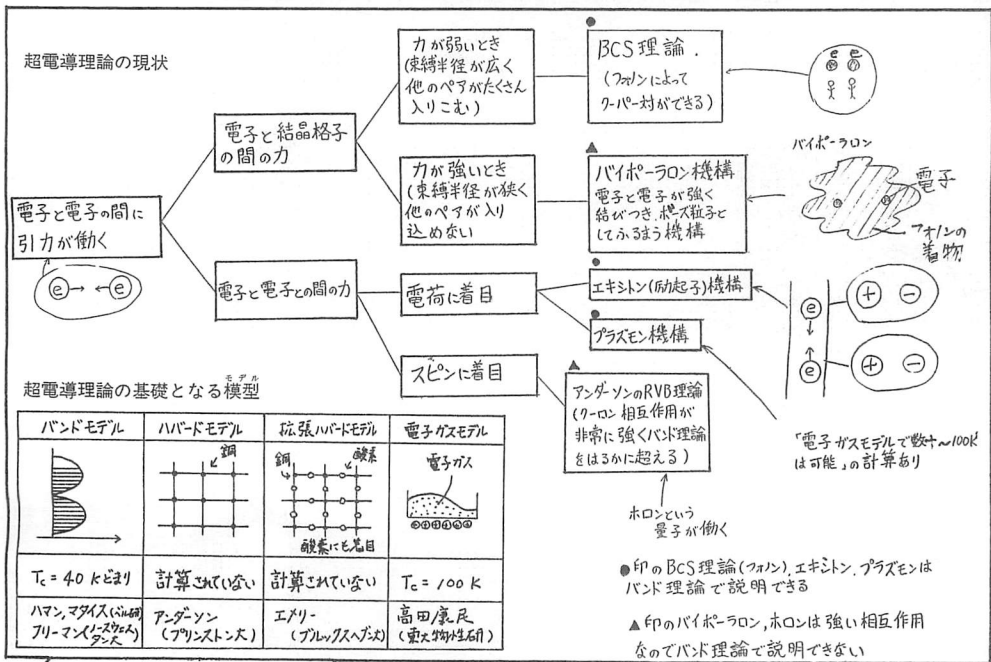
ボーズ!?

——スピンの0とか  
1や2などの整数で表  
される粒子のことが  
電子(スピン $\frac{1}{2}$ )などは  
フェルミ粒子……

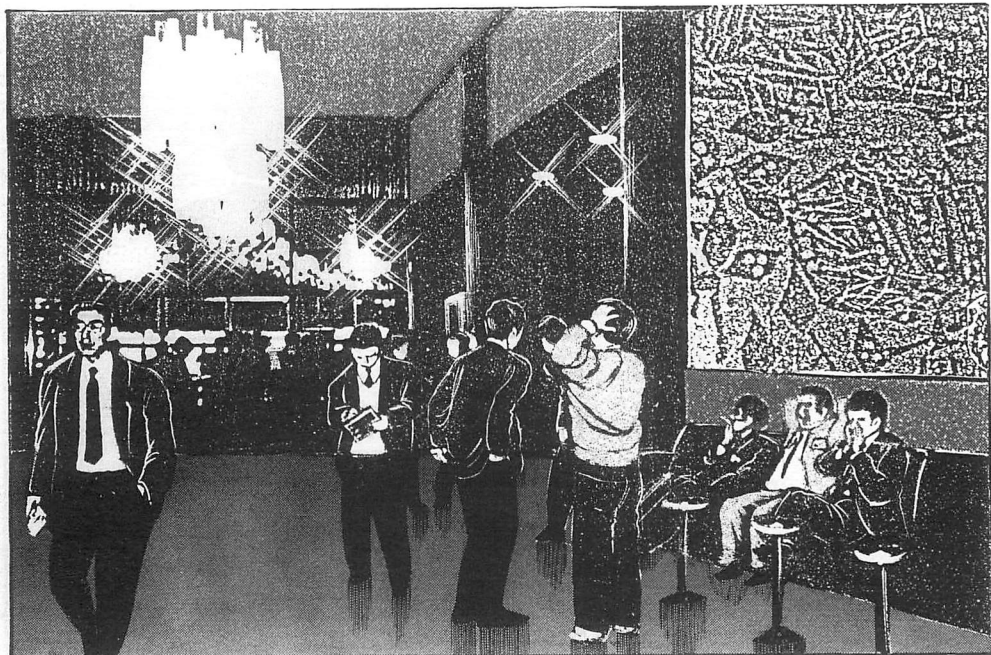
……大変よく  
わかりました

……ホントに  
わかったのかね!?

ボーズ粒子であるということは  
フェルミ粒子と違っていくらでも集まれる  
——ボーズ凝縮といいます……  
これが超電導だという考えです!







——新超電導体の登場で  
金属状態とは いったいなんだったのか  
という固体物理の根本問題が  
改めて姿を現しました……

学問的には これほど  
刺激的なものはないと  
考えている次第です……

福山秀敏  
東京大学教授

福 東京大

……午後には講演する  
福山教授は私と同じ  
物性研で研究して  
いる人なんです——

超電導研究では  
世界的な理論家  
なのですが けっこう  
おもしろい先生  
でしてね

——今年は1988年でオンネスが  
超電導を発見した1911年から  
数えて ちょうど77年めでしょう  
無事に「喜寿」を迎えたわけだから  
これからもガンバローなんて……



……しかし それなのに——  
実験の結果を重視して 最大公約数的な理論を大切にしているタイプの理論家で 非常にわかりやすい話をしてくれる

……ボクなんかは  
実験の結果はあまり気にしないで  
理論を考えていくというタイプ  
なのですがね……

……理論家にも  
優等生タイプと  
やんちゃポーズが  
いるってことね!

……110~120Kでも超電導になる物質が存在するという証拠が次々に見つかっています 高温超電導の実現の可能性は きわめて高いと考えています……

C・W・チュー  
ヒューストン  
大学教授

……チュー教授は昨日  
来日して このシンポが  
終わったら すぐ帰るんだって

チュー  
大学教授

……忙しいのねえ!

さっきの話の同位体効果の実験をしたバトログさんだ  
……ニューヨークは寒いから 暖かい東京にサマーバケーションにやってきた  
……と言ってるそうだよ

B・バトログ  
AT&Tベル  
研究所研究員

B  
AT&Tベル  
研究所  
バトログ

ハハハ……  
ユーモアがあるウ!

……銅を鉄やニッケルで置き換える実験を通じ——超電導の電流はペロブスカイト構造の一次元的な鎖を構成する層ではなく……

……二次元的な平面を構成する面に流れることがわかりました……

藤田敏三  
広島大学教授

広島

……臨界温度は  
いったいどこまで  
いくのかしら……!?

わからないけど  
超電導がバンド理論で  
説明できるかどうかが

問題になるで  
しょうね……

どうやったら?

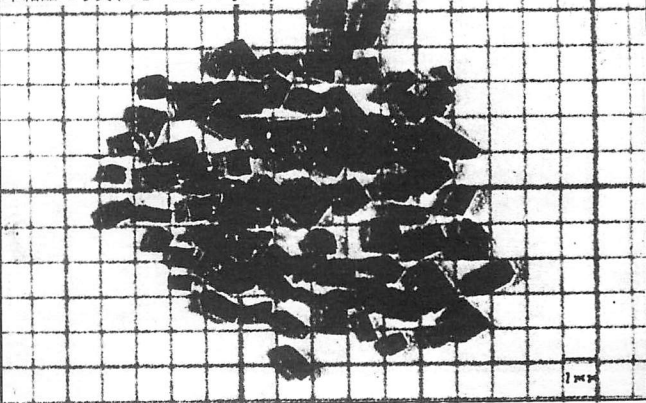
佐藤正俊  
岡崎国立共同  
研究機構  
助教授

良い材料でよく  
考えられた実験から  
答えが得られると  
思いますよ……!

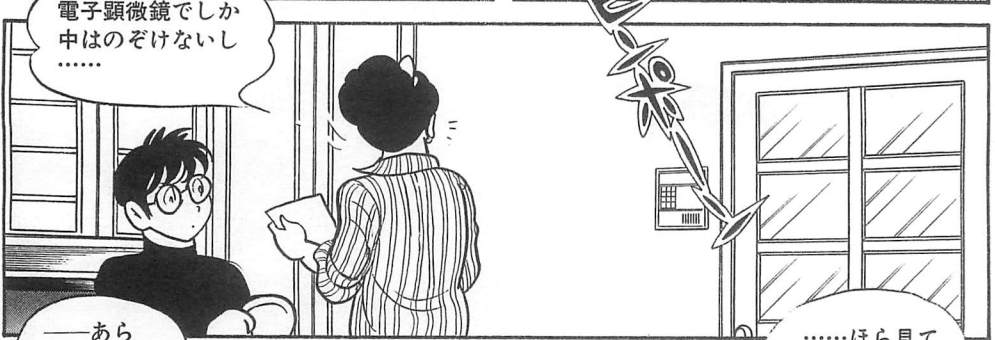
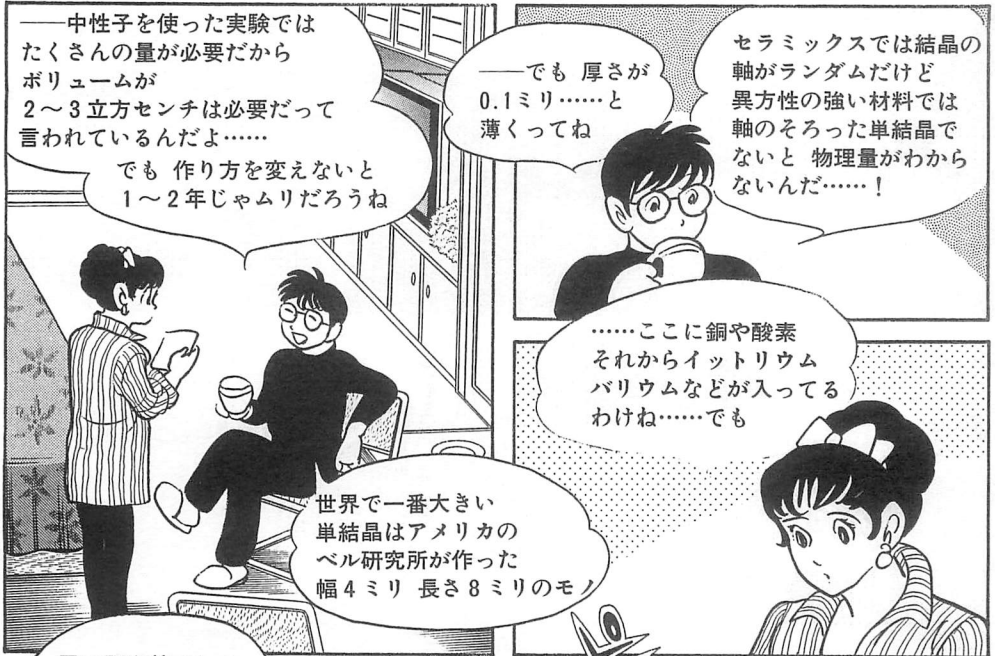
——やっぱり  
単結晶 シングル  
クリスタル……  
ですね!

……シングル  
クリスタルって  
——単結晶の  
ことかア……!

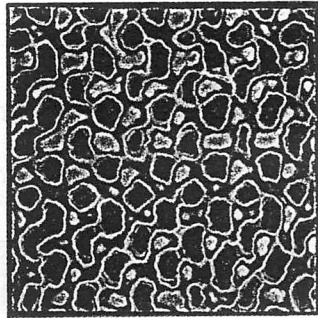
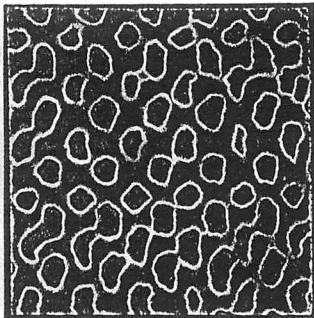
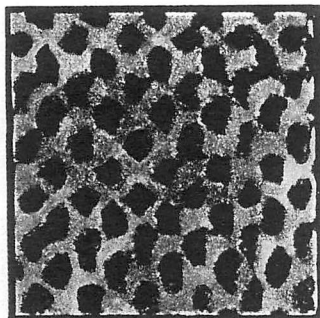
単結晶の写真 ( $\text{Ba}_2\text{YCu}_3\text{O}_{7-y}$ )



提供 = NTT

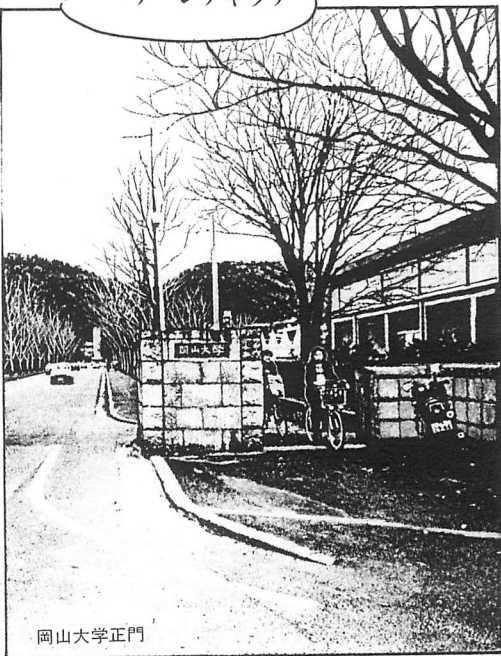






岡山大学の<sup>かわはたちかお</sup>川端親雄  
助教授がやってるの!

……ナンチャッテ

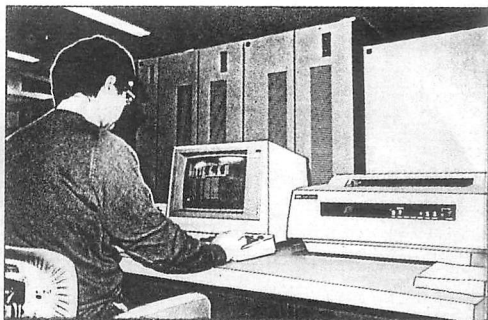


スーパーコンピュータ SX-1

最大性能	
マシンサイクル	4.4
ペタワード演算/イロライン	20k/バイト
スカラーレジスタ	128個
キャッシュメモリ	64k/バイト
主記憶装置	最大128M/バイト
主記憶転送速度	2.3G/バイト/秒
制御プロセッサ	4
入出力処理装置	最大32チャンネル 95M/バイト/秒

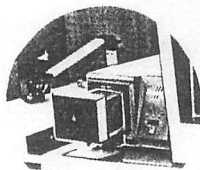
超高速LSI  
半導体集積回路

岡山大学総合情報処理センター  
スーパーコンピューター室

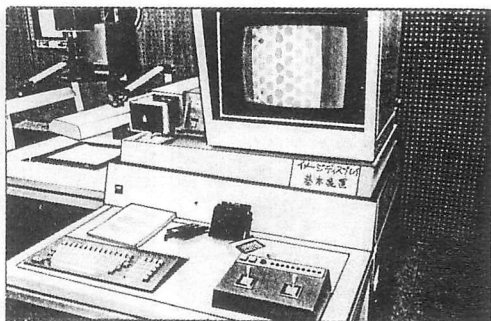


↑総合情報処理センター

操作卓



この部分でポラロイド撮影する↑



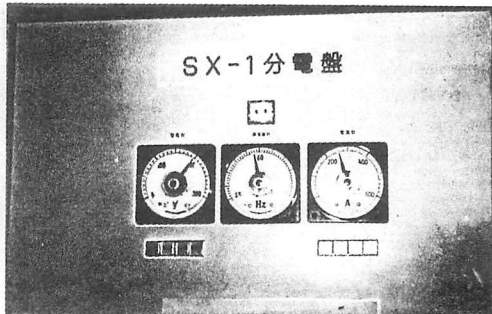
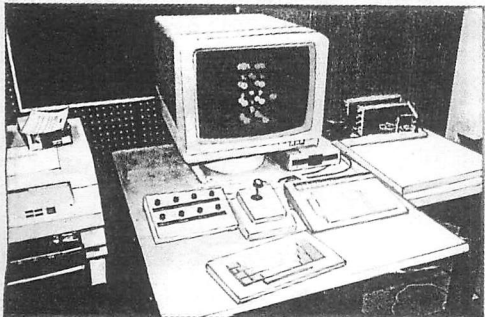
画像処理の装置↑

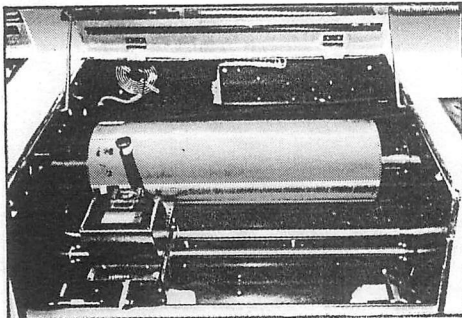


←スーパーコンピューターの内部  
金色のモジュールがびっしり並んでいる。  
これを18度Cの水で冷やす。

コンピューターの電源は200ボルト↓

✓三次元コンピューターグラフィックス装置





←カラードラムスキャン  
このドラムに写真を巻きつけ、情報を読みとる。そして、これを画像情報システムで解析する。

……原子の位置 大きさ  
原子間の距離が  
はっきりわかるでしょう？

↓スムージング10回でノイズをとった顕微鏡写真



バリウムとイットリウムは  
重い元素ですから大きく見える  
んです。そして小さい粒子が  
銅の原子 酸素の欠落は  
白くなっているところですが  
非常に白いところが酸素の  
抜けているところですね

——光が通過して  
いるわけですから

黒色が原子

ポイント

大きな粒と小さな  
粒がありますね！

これは その色で情報が  
入っているんです

色は勝手に先生が  
つけたんですか？

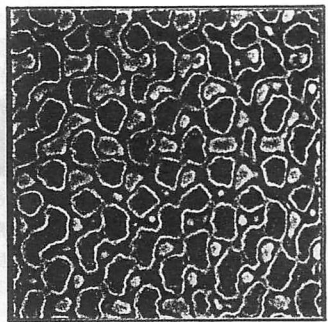
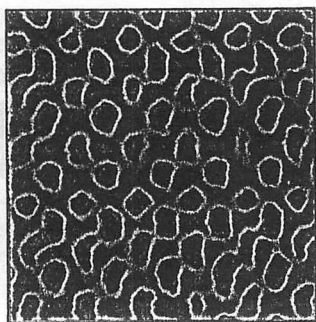
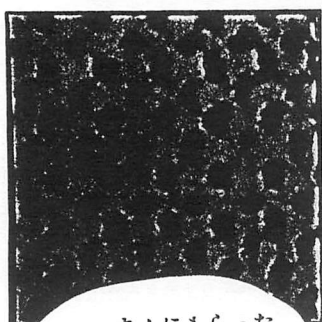
いやいや  
自然色を現像処理  
すれば 明るさの  
段階別に256色に  
分かれるんです……

もっとわかりやすくすれば 超電導もグッと身近になりますわね……！

もう我々は たった1枚の写真から解析するノウハウ技術をもっています

岡山大学  
理化学センター

今後は中性子散乱のデータなど結晶構造に関係したデータを入れていき 現像処理技術と結合していきたいですね



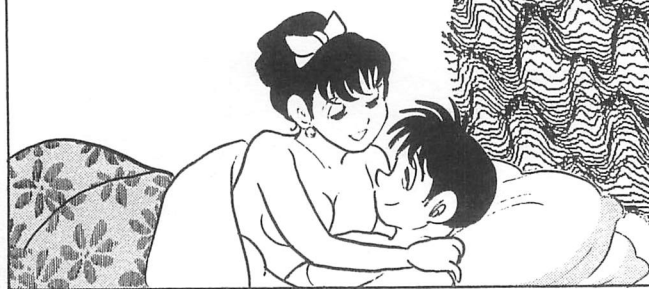
……キムにもらったこの写真——大きく伸ばして額にでも入れとこうかしら

高い山がイットリウム→  
バリウム

小さい山が鉛→  
谷間が酸素→



超電導アートってわけだな……

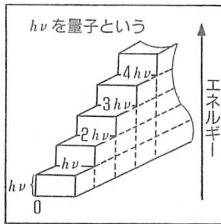


三次元グラフィックス↑



用語 いろいろな粒子の概念を提供する  
**量子**

量でしか計れなかったエネルギー量をひとつの粒として考え、数えられるようにしたのが量子力学。ドイツのプランクは、光のエネルギーが光の振動数 $\nu$ に比例する飛び飛びの大きさの粒になって変化することを発見、単位 $h\nu$ を量子と命名。物質には無数の粒子が存在することを示唆した。フォノン、エキシトン、プラスモン——超電導と関わりのあるこれらはすべて量子だ。



用語 電子はフィギュアスケートのように回る  
**スピン**

電子はマイナスの電気をもつとともにスピンをもち、スピンとは、電子などの素粒子がフィギュアスケートのスピンのような回転をしているときの角運動量のことで、 $h/2\pi$ を単位として表す ( $h$ はプランク定数)。その値は、電子などのフェルミ粒子では $1/2$ の奇数倍つまり半整数で、光子や $\pi$ 中間子などのボース粒子(ボソン)は偶数倍つまり、整数である。ふつう、スピンには上向きと下向きがあり、互いに逆向きの粒子は一緒になりたがる傾向がある。

1925年にウーレンベックとハウトスミットがナトリウムのスペクトルを説明するためにこの考え方を導入し、その後パウリが定式化した。

用語 量子力学の根本的な考え方  
**バンド(帯)**

完全に自由な電子は、任意のエネルギーをもつことができる。ところが、結晶内で、原子に束縛された電子は、飛び飛びの値しかとれない。このときの一つ一つの帯をエネルギーバンド(帯)という。原子の低いエネルギーの準位に対応するエネルギー帯の幅は狭いが、外側にある価電子や、光や電磁波のエネルギーを吸収して励起された電子の準位に相当するものは幅が広い。絶対零度では、電子は低いエネルギー帯から順に満たされるが、一番上のエネルギー帯が一部満たされて電子が流れうる場合を金属(導体)、完全に満たされている電子が流れない場合を絶縁体(誘電体)と言うのである。

用語 放浪の身を楽しむ自由電子  
**自由電子**

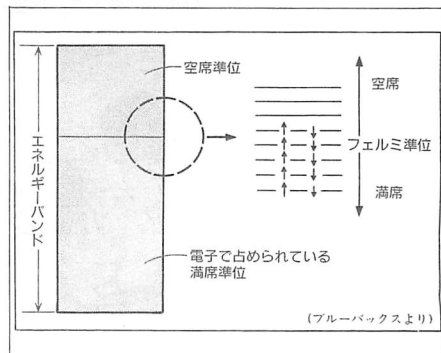
原子の構造を見ると、原子核のまわりを、電気量 $1.602 \times 10^{-19}$ クーロンのマイナスの電気をもつ電子がいくつも回っている。

その電子の中で軌道をはずれて真空中や物質中で自由に動く電子がある。こうした自由に動く電子を自由電子という。固体中の電子も、そのポテンシャルエネルギーを一定とすると自由電子とみなされるのである。

電子の動く速度は、真空中では毎秒10万キロメートルという光速の3分の1ぐらいの速さだが、電線の中ではノロノロと動いている。そして、電子が動くとその向きと反対に電気は流れる。

用語 電子は複雑な軌道をもつ  
**電子の軌道**

原子の中では、いくつもの電子が、たえず原子核の回りの軌道を回転している。この回転は1秒間に $10^{15}$ 回ほど繰り返されている。電子の軌道は、もっとも小さいものが1s軌道と呼ばれ、紫外線を吸収すると、半径が4倍の2p軌道という、より大きな軌道になる。短い波長の紫外線をあてていくと、3p、4p、5p……となっていく。そして、s軌道には2個、p軌道には6個、d軌道には10個の電子が入る。エネルギーの大きな軌道から小さな軌道に移る時には、エネルギーを放出する。ちなみに、sはsharp(鋭い)、pはprincipal(主な)、dはdiffuse(ぼやけた)の頭文字からとったもの。

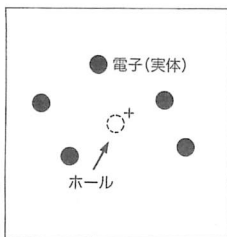


## 用語 電子の世界は定員制 パウリの原理

原子核のまわりには飛び飛びにいくつかの軌道があり、電子はなるべくエネルギーの低い軌道に入りたがる。つまり、下の観客席から順々に詰まっていくようなものだ。しかし、1つの軌道には2個の電子しか入ることができない。しかも、上向きと下向きのスピンならばの条件で。同じ向きのものは入れない。男と女なら2人入れるが、男同士、女同士では入れないようなもの。これがパウリ（スイスの物理学者）の排他原理とよばれるもの。こうして、一番エネルギーの低い軌道から反対向きのスピンをもった電子が2個ずつ排他原理に従って順次高いエネルギーの軌道を埋めていくことになる。

## 用語 電子の抜け殻が動く ホール

正孔ともいう。電子の抜け孔。マイナスの電荷をもつ電子が飛び出してできた穴（空孔）を、反対の電荷をもつ一種の仮想的な粒子、つまりプラスの電子と考えるのだ。電子がいったい詰まったエネルギー準位から1個の電子が飛び出す。抜けた後にはすぐに別の電子が入る……という具合になり、結局、あたかもプラスの電子が動いたようになる。これがホールである。



## 用語 エレクトロニクスに不可欠な物質 半導体

電気の流れる金属と、電気の流れにくい絶縁体との間にあるもの。電気伝導率が中間の物質。金属ほど電子の数が多くはなく、かといって絶縁体ほど少なくもない。この性質を利用して電流の制御などの機能をもたせることができる。負の電荷をもつ粒子が電気を運ぶ時、 $n$ 型半導体といい、正の電荷をもつ粒子（ホール）が電気を運ぶ時、 $p$ 型半導体という。

新超電導体は、半導体でありながら、ある物質を加えていくと半導体的な性質が一気に崩れ、超電導体になる。金属より電子の少ないセラミックスがなぜ超電導体になるのかが現在の研究課題になっている。

## 用語 電子エネルギーのもっとも高い準位 フェルミ準位

準位とは電子が占める軌道にあたる。金属中の電子はパウリの排他原理に従って絶対零度でのエネルギーの低い準位から順次1個ずつ準位を占めていくが、もっとも高い準位のことをフェルミ準位といい、その時のエネルギーをフェルミエネルギーという。フェルミエネルギーは、ふつうの金属では速さ1000キロメートル/秒の電子に相当する。フェルミはイタリアの物理学者。

温度を上げていくと電子は乱雑な運動をしようとするが、特にフェルミ準位に近い準位を占める電子は乱雑な運動を起こし、この結果、電子は乱雑に分布（フェルミ分布）する。

## 用語 重さの異なる原子で実験する 同位体効果

超電導はフォノン（格子のゆらぎによってできる）が引き起こすというBCS理論を引き出したのが、水銀の同位体効果だった。同位体の質量の差が、格子振動にあらわれ、臨界温度などに差が出るのだが、最近、バトログ氏らの実験では、新超電導体の酸素16を質量の重い酸素18で置き換えても、臨界温度の変化が認められなかったことから、高温超電導には格子振動がそれほど働かないことがわかった。同位体効果は、

同位体は、同じ原子の中でも重さ（質量数）が異なる原子のこと。水素、酸素のほか自然界のほとんどの元素には同位体が存在する。同位体の存在する割合は、どんな化合物でも同じである。

## 用語 電気を流さないことで重要な物質 絶縁体

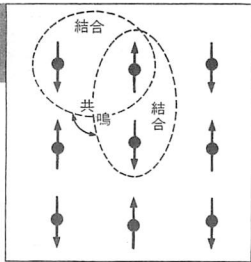
電気を伝えない物質。外から電場を加えると正電荷と負電荷の重心が互いにずれる現象である誘電分極を起こすため、誘電体とも呼ばれる。雲母、磁器、ガラスなどの無機材料やプラスチック、ゴム、紙などの有機材料が絶縁材料としてよく使われる。電線のガイシなどの例がある。また、気体も絶縁性をもっていて、フロンガスなどは絶縁材料として使われている。

しかし、ある限度以上に電圧がかかると、絶縁破壊を起こし、急に絶縁性をなくす。この性質を利用して大きな電流を流すことができ、コンデンサーに使われている。

## 用語 電子スピンのゆらぎが超電導の原因が RVB理論

アンダーソンによって提唱された超電導の新理論。Resonating Valence Bond。電子と格子の相互作用で超電導が起こるとした従来のBCS理論に対して、初めて出された対案がこれ。

RVB理論は電子スピンのゆらぎにポイントを置く。ハバードモデルのように電子が格子の場所にきちんと張りついている場合、隣り合う電子（たがいに反対向きのスピンをもつ）とペア（RVB）をつくりながら、瞬間瞬間で相手を代えながらリズムカルに動いている。スピンのゆらぎである。電子の数が一様の時には電子が流れないが、電子のない“すき間”ができると、フェルミ粒子からスピンをとっ



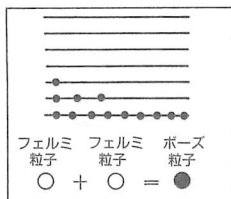
たスピンゼロ・プラスチャージのホールのようなフォノンができて、これがボーズ粒子のように振る舞い、これをきっかけに超電導が起こるとされている。フォノンを動かすのはスピンのゆらぎである。

アンダーソンは有名な超電導の理論家。彼の考えは世界の研究者に広く影響力を与える。RVB理論に対する見解としては、賛成する研究者と異議を唱える研究者とがいて、2つに分かれている。

## 用語 電子はフェルミ粒子 フェルミ粒子、ボーズ粒子

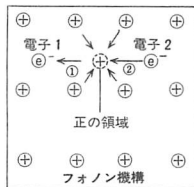
フェルミ統計に従う粒子をフェルミ粒子（フェルミオン）という。電子もフェルミ粒子である。その他、陽子、中性子もフェルミ粒子。フェルミ粒子は、パウリの原理に従う。一方、ボーズ統計に従う粒子をボーズ粒子とい

う（ボゾンとも言われる）。ボーズ粒子は、フェルミ粒子と違ってエネルギー準位にいくつでも入ることができるのが特徴。



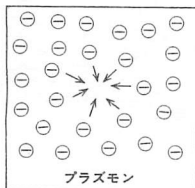
## 用語 BCS理論の仲人役 フォノン

格子のゆがみの振動をあらゆる仮想粒子をフォノン（音子）という。デバイの導入した概念。BCS理論ではフォノンが電子のペアをつくる仲人役と考えられていた。しかし、低い温度でないとフォノンのやりとりは起こらず、限界は40Kぐらいとされる。高温になると格子の揺れが大きくなり、格子のゆがみであるフォノンが埋もれてしまうからだ。したがって、高温超電導体の場合、フォノンの関与が否定された。



## 用語 プラズマ振動がつくる量子 プラズモン

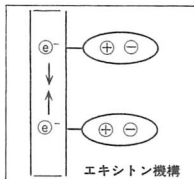
結晶中では電子と正イオンはバランスを保っているが、電子の密度が平均の値より小さくなったりすると、バランスが崩れ部分的に正の電場が生まれる。このためバランスを維持しようと周りから電子が集まる。集まった電子はバランスを越えて今度はそこ



がマイナス的になる……。こうして振動（プラズマ振動）が起こり、波として結晶中を伝わっていく。このエネルギーのかたまりをひとつの量子とみなし、プラズモンと呼ぶ。

## 用語 電気的分極が引力を生み出す エキシトン

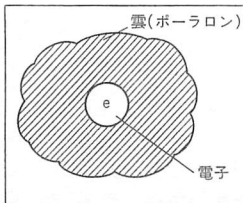
励起子ともいう。電気的に分極しやすい分子のそばを電子が通ると、プラス部分とマイナス部分に分かれるが、このプラス部分を電子が引力と感じて電子同士引き合うという説。スタンフォード大学のリトルや、ギンツブルグらが、このエキシトンがフォノンの代わりに電子のクーラーペアをつくと提唱。エキシトンの効果で、ペアをつくるエネルギーが従来の1万倍もの大きさになるという。この説は、最近やや分が悪い。



用語

## 着物を着たり脱いだりする電子 ポーラロン

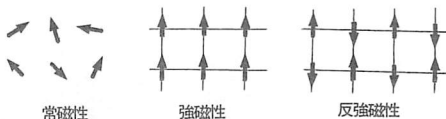
イオン結晶などでは、結晶中を電子が通るとき、強い力が働き、結晶格子を変形させる。このため電子の周りに変形の影響(フォノン)がまとわりつき、電子の質量を重くしていることがある。たとえば、塩化ナトリウムの中の光電子は、自由電子の約2倍になっているといわれる。このフォノンの着物を着た電子をポーラロンという。これがボーズ粒子になり、超電導に関係があるという説がある。



用語

## 反強磁性

各格子点に電子のスピンの向きが逆向きに張り付いている状態が反強磁性体といわれる。電子が張り付いているので電気は通さない。つまり、絶縁体である。アンダーソンはRVB理論の中で、スピンは常に張り付いているわけではなく、ある瞬間に別のスピンとペアを作っているとしたのである。



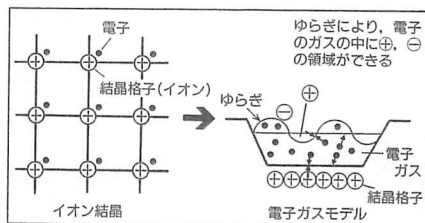
用語

## 長距離の相互作用をとらえるモデル 電子ガスモデル

ハバードモデルが短距離の相互作用を想定しているのに対して、長距離の相互作用を考えるのが電子ガスモデル。長距離の力なので格子点に束縛されずに電子は自由に動き回るといえる。電子が多くなると、ちょうど鍋の中に詰め込まれた電子のようになり、ここで局部的なプラス部分とマイナス部分をつくり、これがゆらぎを引き起こす。

結晶内の電子の振る舞いを調べるには、膨大な数の電子や格子を一つ一つ調べなければならない。しかし、それは不可能なので、電子は電子、格子点は格子点と、ひとまとめにして扱うのが電子ガスモデルだ。

マンガにも登場した東大物性研究所の高田康民助教授は、この電子ガスモデルを使ってTc(臨界温度)の計算を行い、超電導理論の解明にあたっているのである。



用語

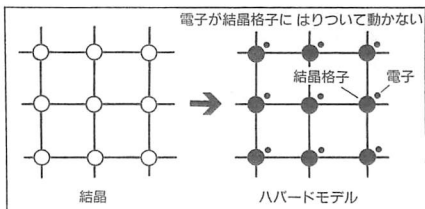
## 超電導メカニズムの基盤をなす模型 ハバードモデル

原子がつくる格子点に1個ずつ電子が張り付いているという模型。1960年代に出てきた模型である。格子があるため電子はけっして自由に動かず、飛び飛びにしか動かない。電子はこの格子点に沿って動く。2つの電子が動いてぶつくとエネルギーは上がるが、ふつう各点の電子は互いにスピンの向きが逆向きになっていて、ぶつかれないようになっている。

従来は、低温では反強磁性体の構造を示し、超電導にはならないと考えられていたが、アンダーソンは、このハバードモデルを使ってRVB理論を考え、超電導の可能性を見ている。

また、ハバードモデルでは、もっとも簡単なモデル

で銅の格子点を考えているが、酸化物超電導体の場合、銅だけでなく酸素にも着目する必要があるとするd-pモデルも登場している。より複雑なモデルになり、拡張ハバードモデルとも言われる。





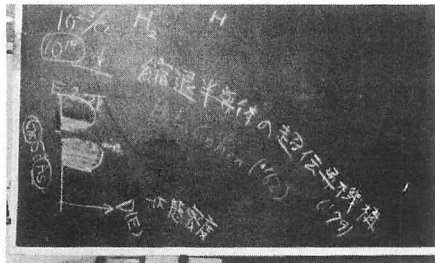
## エピソード 電気を通しにくい物質が超電導に 超電導体と半導体は近い

東京大学物性研究所の高田康民助教は、昭和55年に京都で開かれた半導体国際会議でチタン酸ストロンチウムの示す超電導に関する研究を発表した。

当時は、まだ金属系の超電導体が知られていただけ。

高田助教は、筑波大学の作道恒太郎教授などがやっていた研究に接してチタン酸ストロンチウムと出会い、この物質に対し以前から考えていたTc（臨界温度）の新しい計算方法を応用したのである。

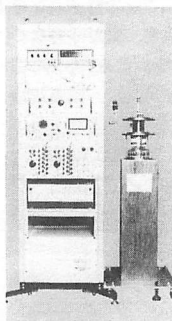
チタン酸ストロンチウムは、縮退半導体といって、絶対零度で絶縁体を示すが、不純物を入れていくと次第に金属的な振る舞いをする。高田助教は、オモシロい、と思って研究を進めていくうちに、縮退半導体は電子の数が金属より少ないのになぜか超電導になることがわかった。銅のように電気をよく流す物質は超電導を起こさない。むしろ、電気を通しにくい物質のほうが超電導になる可能性が高いのである。超電導と半導体は意外に近い距離にある。



半導体から超電導体へ……高田助教の講義。

## エピソード 詳しく臨界温度が測れる 臨界温度測定装置

超電導の実験に欠かせない臨界温度測定装置は、今まで研究者が自分で組み立てていた。超電導マグネットの開発などに実績のある真空冶金では、昭和62年4月に臨界温度測定装置を発売。まず電気抵抗で測って、有望な物質を絞り込み、次はマイスナー効果を使った誘導法で帯磁率を測ることができる。効率よい探査が実現。定価950万円。



これが物の市販品

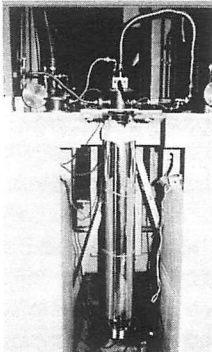
## エピソード 内外で高く評価された実験 元素置換法

「当初は、超電導メカニズムのベースのことさえわか  
らなかつたんですからネ」

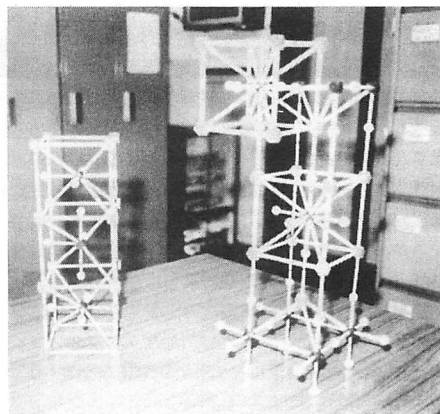
こう語るのは広島大学の藤田敏三教授。Y-Ba-Cu-Oはペロブスカイト構造をしているが、次の2つの特徴的な層からなる。①イットリウム・バリウム間の酸素と銅（銅2）の層、②バリウム・バリウム間の酸素と銅（銅1）の層。①が2次元の平面をしているのに対し、②は1次元の鎖状である。

ところで、両方に電流が流れるかということ、そうではなく、2次元のほうに主に流れることを実験で確認したのが藤田教授である。方法は銅を他の元素で置き換えるというもの。鉄やニッケルで置き換えると、1次元の鎖が切れたり乱れたりする。

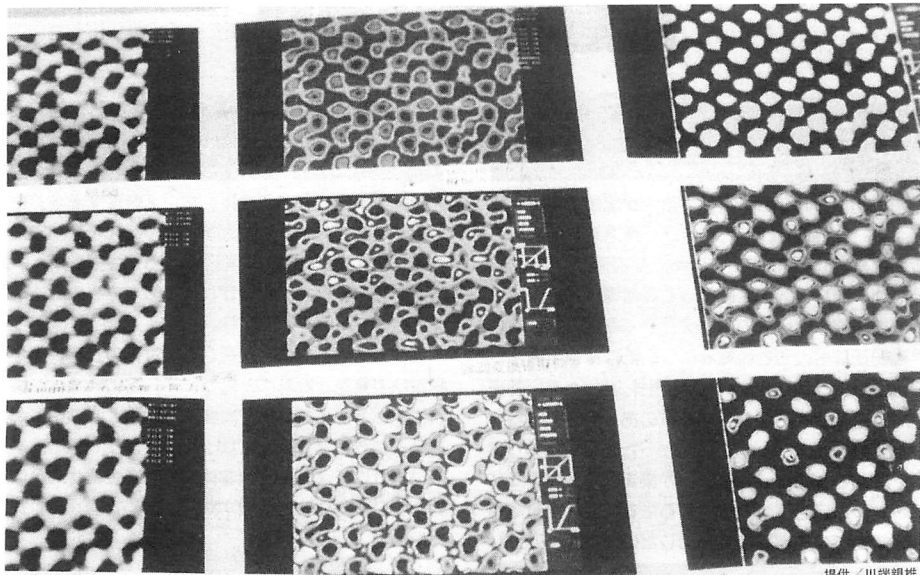
こうした変化に対して、Tc（臨界温度）の変化を見てみるとほとんど変化が感じられない。つまり、1次元の層は超電導にそれほど関係していないことになる。むしろ、2次元に着目すべきということになる。超電導にとって今までは1次元の層が重要と考えられていただけに、この野心的な藤田教授の実験は内外で高く評価されているのである。



藤田教授の実験装置



この模型が超電導の謎を解く？



提供 / 川端親雄

エピソード  
超電導体の結晶構造をさぐる  
スーパーコンピューターで画像解析

酸化物超電導体の原理究明には、酸素の欠け具合が重要なポイント。しかし、従来の電子顕微鏡写真では酸素の欠け具合やイットリウムなどの元素の位置がわかりにくかった。岡山大学の川端親雄助教はスーパーコンピューターで、カラー画像処理を行い、その課題をクリア(上の写真。モノクロで残念)。

確かに、現在の電子顕微鏡の分解能は完全ではなく、2オングストロームほどまでしか撮影ができない。元素の大きさはだいたい1オングストロームなので原子配列を観察するには限界があるのである。

より鮮明にするために、もとの電子顕微鏡写真を

強調したりノイズをとったりするが、ここでフーリエ変換やスムージングという手法を使う。この結果、原子の位置がよりはっきりとしてくるのである。ここ岡山大学総合情報処理センターには日本電気製のスーパーコンピューターSX-1Eがある。これが科学計算を高速(1秒間に2億8500万回)で処理している。発熱が多いので半導体を18度Cの水で冷やしている。画像処理のソフトは電子技術総合研究所が開発した「SPIDER」というパッケージソフト。ランドサットで地下資源を探査するときに使うもの。このプログラムを1週間で作り上げたとか。

エピソード  
世界のトップが一堂に  
「大学と科学」公開シンポジウム

文部省などの後援による「高温超伝導時代を迎えて」というシンポジウムが昭和63年1月8日に開かれた。ほぼ満員の聴衆で、会場の虎ノ門ホールは埋まった。講演者の写真撮影も始めの5分間だけという制限がもうけられた。

このシンポジウムは、「大学と科学」公開シンポジウムの一環として開催されたもの。9時50分からスタート。夕方の5時過ぎに終わるまで6人の研究者がスライドを使いながら、自分の理論や実験について講演した。ヒューストン大学のチュー博士、AT&Tベル研究所のバトログ氏のほか、中嶋貞雄氏、田中昭二氏、福山秀敏氏など日本の超電導研究の第



一人者たちが一堂に会した。

全体の雰囲気は、超電導フィーバーよりも基本的な理論の解明に全力を傾けようという落ち着いたものだった。一般の人に対しても啓蒙になるこのような入場無料のシンポジウムは、これからも期待したいものだ。

入 派 超電導理論の解明にあたる  
**高田康民さん**

昭和25年、兵庫県生まれ。東京大学理学部物理学科卒。アメリカ留学を経て、61年から東京大学物性研究所助教授。超電導と素粒子の関係を追究している。黒板を使い難い数式を駆使して超電導理論を説明する姿は理論家としてのバイタリティを感じさせる。

高田氏はもともと超電導については縮退半導体の研究から入ったので、いわば専門外。論文も長い間無視され続けた。アメリカの権威のある雑誌に投稿してもなかなか返事がもらえなかったと当時を振り返る。たくさんのクーパーペアが集まって超電導になるというBCS理論を包括する形で、酸化物超電導体も説明できる理論を生み出したい、が今後の抱負。

入 派 2次元的な面に超電流が流れると予想した  
**藤田敏三さん**

広島大学教授。昭和13年生まれ。

従来は重要と考えられていた高温超電導体の1次元の鎖状の層について元素の置き換えを行い、超電導にとって2次元の層のほうが重要という指摘をした。また、超電導層のすぐそばに磁気秩序層が存在し、ここは外部磁場や磁性不純物に弱いが、これらの性質を利用して超電導発現機構と磁性の関係を追究している。

陶芸用の電気炉を急遽購入して実験を行っていたが、最近、通常購入すると2000万円はくだらないX線回折装置を購入。作った試料の結晶構造を正確に分析することができると素直に喜んでいる。

入 派 画像処理で超電導体をとらえる岡山医学助教授  
**川端親雄さん**

昭和62年4月に東北大学金属材料研究所の平賀賢二研究室がイットリウム系超電導酸化物の電子顕微鏡写真の撮影に成功したが、その原子配列写真を取り寄せ、画像処理を行う。モノクロ写真では原子配列がはっきりわからない点もあったが、この画像処理によって、たとえば酸素の欠けた状態などが一目でわかるようになった。

また、京都で開催された第18回低温物理学国際会議では、ポスターセッションに飛び入りで発表。「好評でした。2時間ぶっとおして説明しました」

今後は中性子散乱のデータなど結晶構造に関係したデータを入れ、画像処理技術と結合したいという。

入 派 超電導理論の現状に詳しい  
**福山秀敏さん**

東京大学物性研究所教授。東京大学理学部卒。東北大助手、ハーバード大学、ベル研究所勤務を経て、東北大助教授。昭和52年から物性研究所へ。超電導理論の現状を語らせればこの人の右に出る人はいない。昭和17年生まれ。

ビスマス系、タリウム系など新世代の超電導体が相次いで発見されたことについて、福山教授は「層状に並ぶ各元素の相互位置関係によって臨界温度が違うということが確実になった」と言っている。

いずれにせよ、新超電導体の登場で金属状態とは何かという固体物理の根本問題が改めて姿を現したという。



高田康民

福山秀敏

藤田敏三

入 派 超電導基礎研究をリードしてきた  
**中嶋貞雄さん**

東海大学教授。大正12年、静岡県生まれ。旧制一高では田中昭二氏の5年先輩にあたる。東京大学理学部物理学科卒。名古屋大学理学部教授、東京大学物性研究所教授(所長)などをを経て、昭和59年から現職。専攻は物性理論。

日本の超電導基礎研究をリードしてきたひとり。昭和59年から始まった文部省の特定研究で超電導をとりあげた。このときの技術が、その後日本を高温超電導先進国に押し上げる原動力になったと評価されているが、中嶋教授はその推進役。第18回低温物理学国際会議では委員長を務めた。著書に「量子の世界」「量子力学Ⅰ、Ⅱ」「超伝導」など多数。

人新  
実験をベースに新理論を考える  
**佐藤正俊さん**

岡崎国立共同研究機構分子科学研究所助教授。東京大学理学系大学院博士課程修了。昭和62年1月には東北大学金属材料研究所との共同研究で、43Kという当時では最高の臨界温度をもつ高温超電導体を発見した。成分はランタン・ストロンチウム・銅酸化物だが、焼結する温度などの製造方法に工夫を加えている。昭和21年、宮城県生まれ。

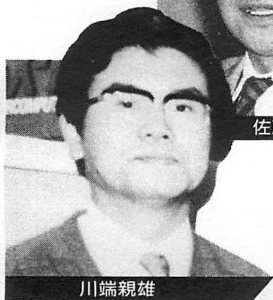
佐藤助教授は実験をベースにした理論説明に力を注ぐ研究者のひとりで、従来のBCS理論でクーパーペアを作る際のメカニズムとして考えられていたフォノンについても見直しを図り、高温超電導体が磁気的な性質をもっていることに着目する。



佐藤正俊



北沢宏一



川端親雄



中嶋貞雄



バトログ

人新  
BCS理論の限界を実証  
**B・バトログ**

AT&Tベル研究所研究員。今までの超電導理論であったBCS理論の限界を実験で証明した。つまり、超電導体の酸素原子のほとんどを少しだけ重い酸素の同位体に置き換えて実験したのである。BCS理論では、超電導のもとが電子の対（クーパーペア）で、それは格子の振動によって作られるとされる。したがって、より重い酸素ならば格子の振動になんらかの影響を与え、臨界温度に変化が生じだろうと見られていたが、バトログの実験では重さが違ってもほとんど臨界温度に変化はなかった。この結果、高温超電導体には格子振動以外に別の仕組みがあると考えられる。

人新  
超電導研究には欠かせない単結晶を作った  
**山路昭彦さん**

NTT光エレクトロニクス研究所材料部の首席研究員。今後の超電導研究には欠かせないとされる単結晶を開発した。昭和16年、宮城県生まれ。

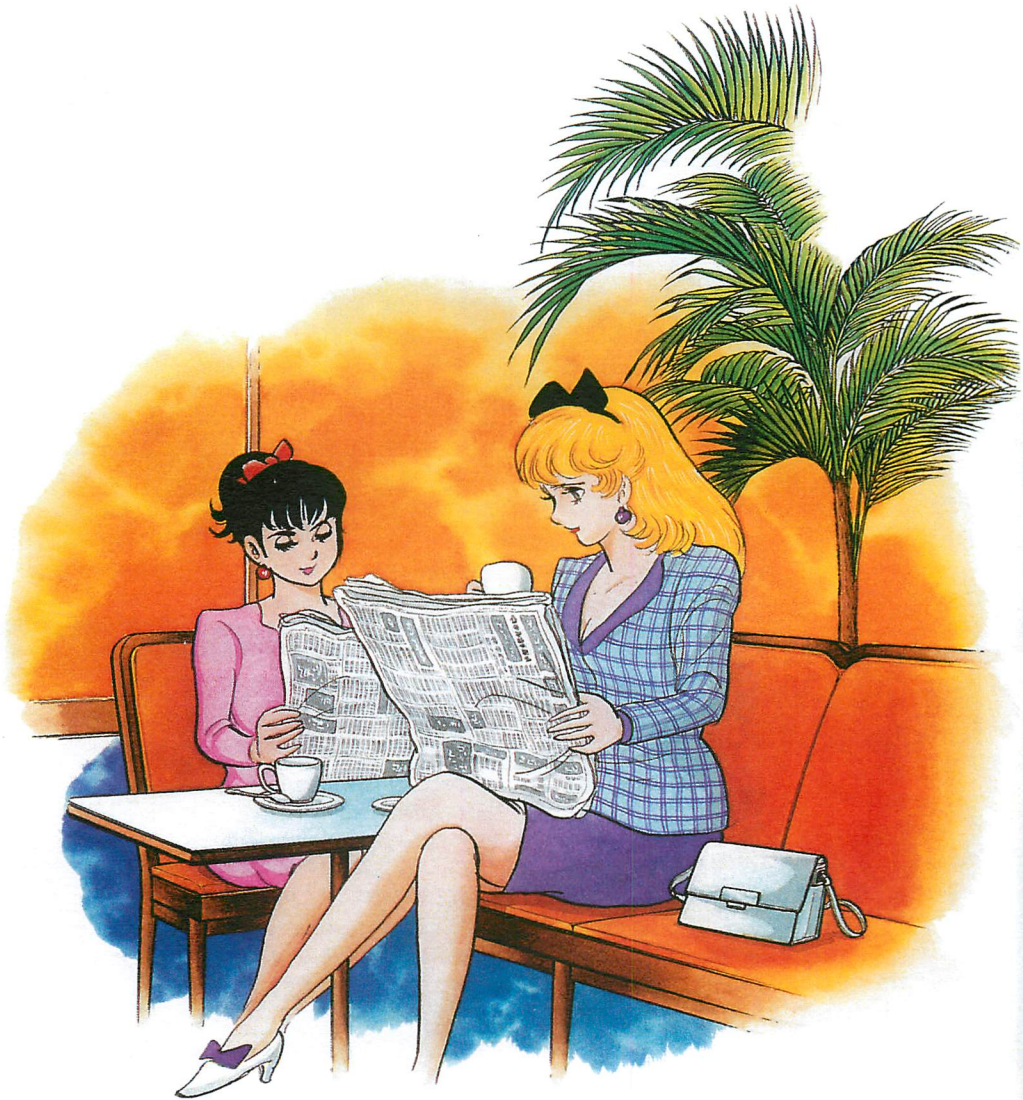
「セラミックスでは、結晶の軸がランダムですが、異方性の強い材料では、軸のそろった単結晶でなければ物理量がわからないからです。世界で一番大きな単結晶は、アメリカのベル研究所が作った幅4ミリ、長さ8ミリのものです。でも、厚さが0.1ミリと薄いのが難点です」

特に、中性子を使った実験ではたくさんの量が必要だから2〜3立方センチメートルは必要だとされている。より大きな単結晶を作るのが山路氏の夢。



## 第6章

# 21世紀は超電導の時代



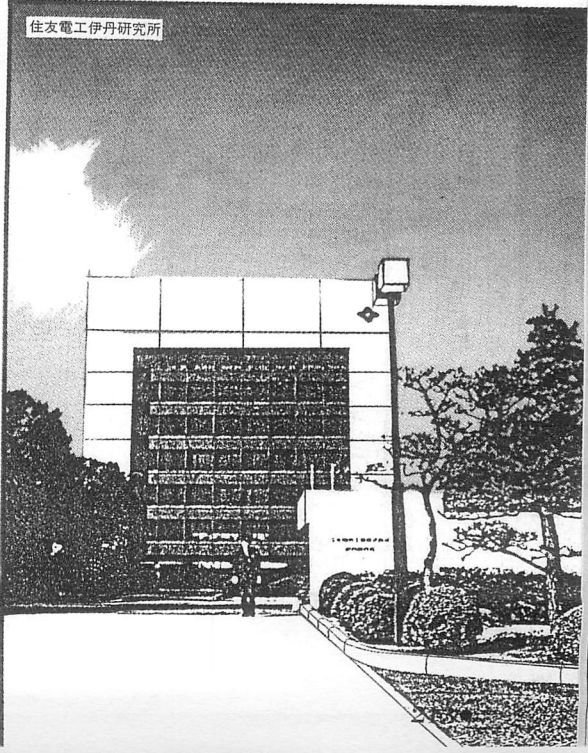
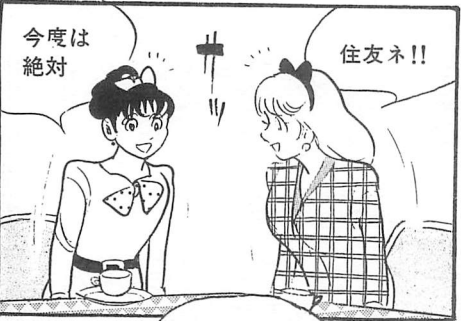
住友電気工業は六日、一平方センチ当たり百五十四万ボルトの大電流を流せるホルミウム系超電導膜を開発したと発表した。これまでの発表されている液体窒素温度（摂氏零下百九十六・七度）での臨界電流密度では世界最高の値。超電導材料をエレクトロニクス素子などに応用する

住友電気 最高の電流密度実現

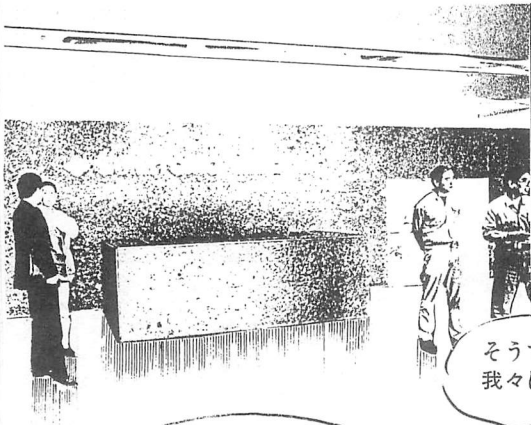
単結晶基板上に高周波スパッタリング（高品質化蒸着技術）法でつくられた膜厚は約0.7ナノメートル（十分の一ミクロン）という。また磁場の影響を受けにくく、超電導の強さを臨界電流密度は液体窒素温度で一平方センチ当たり二百五十四万ボルトに達しており、百五十四万ボルト。これまでは日本電産が昨年七月に発表したタイプと

世界記録だ!!!

おひい



\* 導体1平方センチの断面あたり流れる電流の量

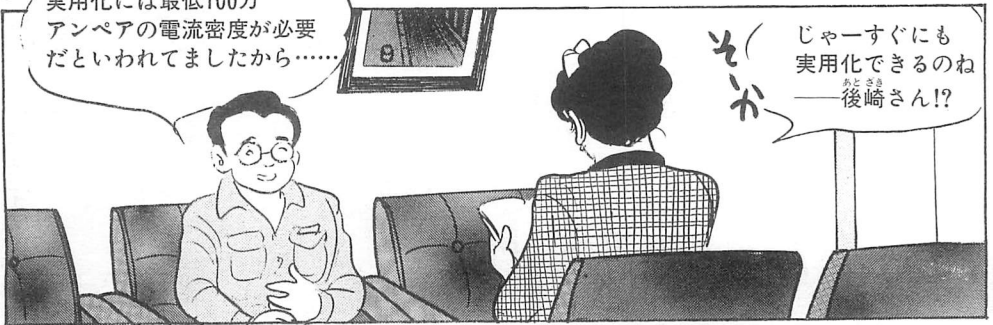


—液体チッ素温度(77.3K)で  
1平方センチメートルあたり  
254万アンペアの電流密度と  
いう世界最高の記録を  
つくったんです……!

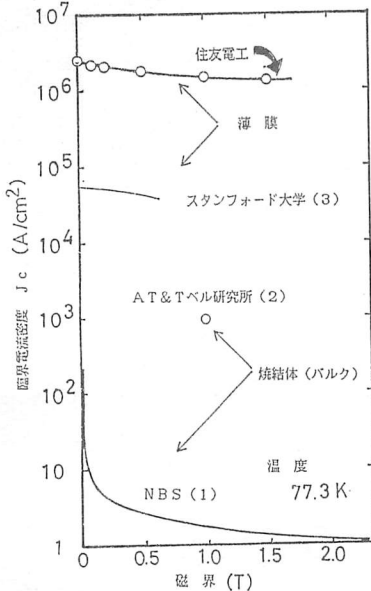
そうです  
我々は——

実用化には最低100万  
アンペアの電流密度が必要  
だといわれてましたから……

じゃーすぐにも  
実用化できるのね  
——後崎さん!?



臨界電流密度の磁界依存性



そーゆーこと

どれだけ電流が  
流れるかは臨界電流の  
問題ですが、我々の  
つくった薄膜\*は——

——しかも  
それだけじゃ  
ないんですよ

——いままでの材料と  
違って磁界にも強いことが  
証明されたんです!

(Y-Ba-Cu-O)  
じゃなくて……?

どんな材料  
なのかしら!?

\*この薄膜は、1テスラの磁場をかけても150万アンペア流せる。従来の粉を焼き固めただけの焼結体は、少しの磁場がかかると電流が急激に落ちてしまった(上のグラフも参照)。

ホルミウム\*とバリウムと銅を  
1:2:3の割合で混ぜて焼くん  
です 手で混ぜたり機械で  
混ぜたり……

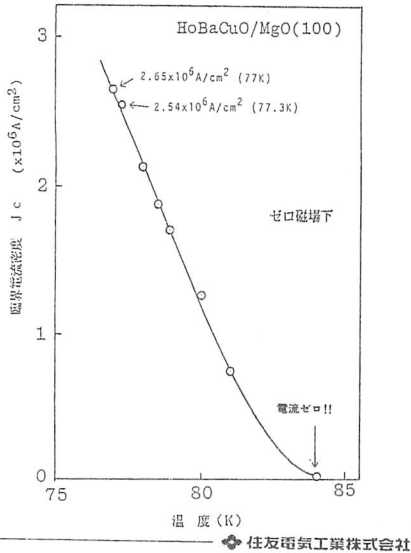
ホルミウム!?

でも——手で混ぜると  
いいかげんなものしか  
できないでしょう?

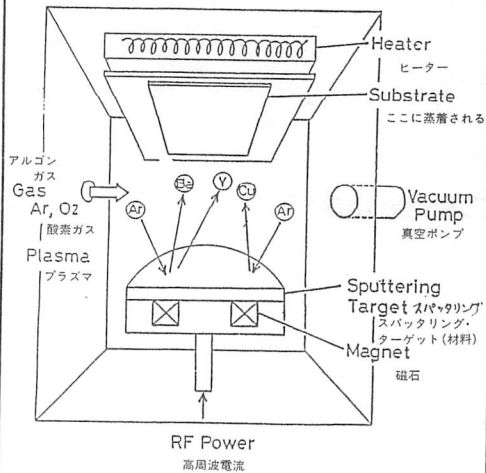
……Ho-Ba-Cu-O

これ自体は素材ですから  
低品質のモノでいいんです  
これを——

臨界電流密度の温度依存性



スパッタリング (蒸着の一種)



——スパッタリングという方法で  
ひとつひとつの原子をきれいに  
基板の上に積みあげていくわけ  
ですから……

この結晶格子をきちんと  
並べたっていうことが  
重要なんですよ……!

……あんなちっちゃな  
格子をよく……  
スパッタリングって!?

スプッター(Sputter)と  
いう英語の意味はペッペッと  
ツバを吐いたり 火花がパチ  
パチと飛び散ること……



薄膜をつくる場合に世間一般でよく使われている方法ですセラミックスの材料 これをターゲットといいます これに高周波をあてて飛び散らし 基板の上に付着させて薄い膜をつくる方法です 圧力とか温度 これに基板の温度 アルゴンガスに加える酸素の量などを制御してつくる

……1センチ×2センチのものです この膜の厚さは0.7ミクロン\*

——髪の毛の太さがだいたい100ミクロンですから……

……ここにちゃんと結晶が並んでるわけ……!?

そーなは

キチンと……!

格子の大きさはタテが11オングストロームで 薄膜の厚さが0.7ミクロンですから  $7000 \div 11$ で……600ぐらいでしょうか

——これが その薄膜です

1つの格子には超電導電流が流れる面が2つありますから面としては約1200あるというわけ

——年明けに住友電工がなにかスゴい発表をするそうだよ!

そーぞー もしかして……

……ほかにアツという秘密があるんじゃないかって……!?

ポーン

ズッ

——じつは去年の7月にNTTが

\*1ミクロン=1万オングストローム

チタン酸ストロンチウム( $\text{SrTiO}_3$ )という物質を基板に使い その上にY-Ba-Cu-Oの膜をつくって180万アンペア……

で我々のほうは——マグネシア(酸化マグネシウム)という物質を基板に使いました

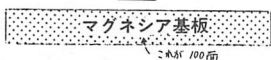
……という世界最高記録を出したことがあるんです……

## 住友電工 vs. NTT

住友電工  
NTT

——基板に〈100〉面を使うと——

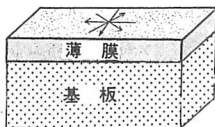
ベール面 (電流が流れる面) 薄膜の格子がタテに並ぶ



マグネシア基板  
値段が安い!  
(1cm<sup>2</sup>で2000円)

<なめから見ると>

ベール面が表面に平行になる。したがって電流は、どちらの方向にも流れる。



スケートなら



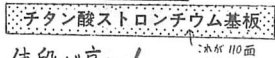
<上から見ると>  
タテ、ヨコ自在に電流が流れる



つまり配線が2次元的に作れる

——基板に〈110〉面を使うと——

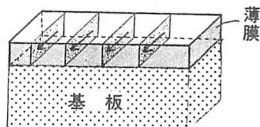
ベール面 薄膜の格子がヨコに並ぶ



チタン酸ストロンチウム基板  
値段が高い!  
(1cm<sup>2</sup>で2万円)

<なめから見ると>

ベール面が表面と直角になり、電流は、一定方向しか流れない。



スケートなら

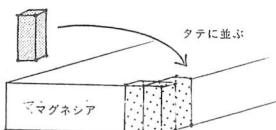


<上から見ると>  
タテ方向には流れるが、ヨコ方向には流れにくい

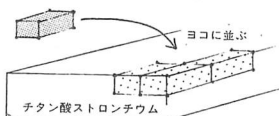


配線が2次元的に作れない。ただし異方向性をいかにした配線なら可。

(住友電工) Ho-Ba-Cu-O



(NTT) Y-Ba-Cu-O



セラミックス超電導体が実用化されるためには、1平方センチあたり、最低100万アンペアの電流が流せる材料が必要だ。昨年、NTTが作った180万アンペアの薄膜は、その条件をクリアしたが、上図のように、電流の流れる面(ベール面)に制約があった。住友電工の作った薄膜は、254万アンペアと、電流密度でNTTの記録を上回ったうえ、電流の方向に制約がない点で、より実用化に近づいたといえる。

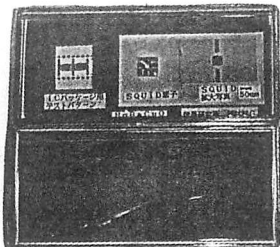
基板にマグネシアの〈100〉面を使った。基板の結晶格子がタテに並んでいるので、上にできる薄膜の結晶格子もタテに並ぶ。

基板にチタン酸ストロンチウムの〈110〉面を使った。基板の結晶格子がヨコになっているので、薄膜の結晶格子もヨコに並ぶ。

その実用化は  
どんな……!?

—たとえばスクイッド  
(SQUID)ですね

電気抵抗が変わることを利用  
して簡単な磁気センサーのよう  
なものが最初に登場するでしょう  
……それから配線 トランジスタと  
トランジスタを結ぶ配線とか  
ICとICをつなぐ配線とか……

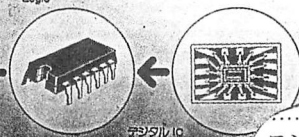
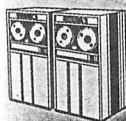


線材もつくれますが  
薄膜は基本的には  
エレクトロニクス分野で  
応用されるでしょう

[[IC]]

●超高速コンピューター  
Super High Speed Computer

記憶素子  
Memory  
演算素子  
Logic



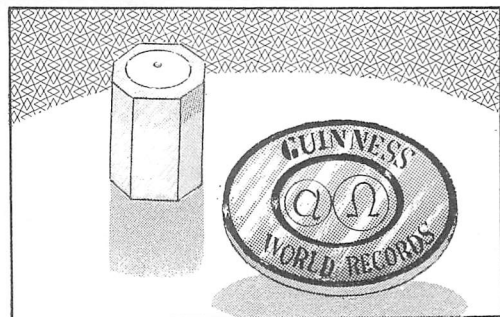
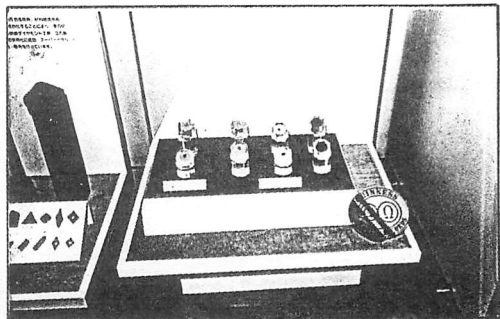
デジタルIC  
Digital IC

……現在の  
コンピューターで  
液体チッ素につけてる  
のがありますから

—その配線にはすぐに使えますね  
実用化の時期は 特殊なもので……  
大学の研究室だけで使ってもらうという  
モノは2～3年後でしょうか……



—これが例の  
世界最大の合成  
ダイヤモンドとギネスの  
認定証ね……!!



……それにしても あんなに  
ギネス ギネスってさわいで  
いたのに キムったら

いったいどこへ  
いったんのかしら!?

……リニアモーターカーは  
北海道と関東が有力候補  
宮崎は

ニワトリ小屋が  
いっぱい……か

——超電導  
トランジスタ!?

……アナタも  
超電導の研究を!?

……私は日立中央  
研究所の井矢田  
という者ですが

——お若いお嬢さん  
なのに超電導に興味が  
おありとは珍しい……!!

どうも……  
すみません!

おありじゃなくて  
おおありで~~~~す!!

話をきかせて  
くださいー!

書類や写真を  
頭に降らせたんだから  
話してくれる義務がアル!

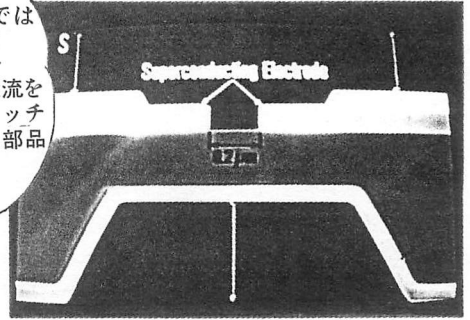
——超電導トランジスタは  
昭和58年に開発したのですが  
スーパーコンピューターが掌に  
乗ってしまうというものですヨ



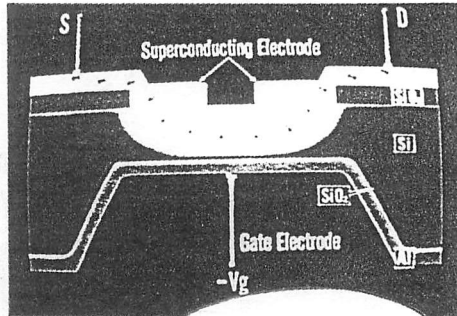
構造はシリコン半導体の  
上に超電導の電極を  
つくっています



いやいや それでは  
トランジスタに  
なりません……  
トランジスタは電流を  
増幅したりスイッチ  
ングしたりする部品  
——ですから



そこから——抵抗ゼロで  
電流が流れるわけね……!?



じゃ……  
どーゆーこと!?

電極の間は0.2  
ミクロンほど離して  
あります——

ここに電圧をかけると  
両方の電極から電子の  
波がしみ出してくるのです

そのしみが重なると  
電気が流れる——と  
いうわけです!

電気が流れればなし  
じゃないのネ  
まるで手品みたい!

インクのしみみたい!

“超電導  
近接効果”と  
いっています

電極の間隔はもっと  
広くならないんですか!?

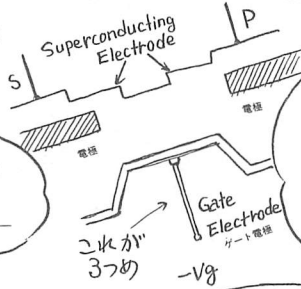
2つだから  
0.2ミクロン!

——そして 裏側の3つめの  
電極が電子の重なり具合を  
調節しているのです 電子を  
粒としてでなく波として利用  
しているのがこのトランジスタの  
特色です……!

——電子は0.1ミクロンぐらいで  
しみ出すからですよ!

……これで本当に  
スーパーコンピューターが  
掌に乗るんですかア!?

スイッチング速度は  
20ピコ\*秒と速く  
なりますしかも——



——消費電力は少なくてすみ 現在の  
トランジスタの10分の1 つまり  
1マイクロワットで動作すると考えられて  
います スーパーコンピューターの世界では  
より速くより小型で消費電力の少ない  
素子が望まれています超電導素子を使  
えばそれができるのです……!!

——セラミックス  
超電導体は応用  
できますか……?

ナルホド……それは  
研究者としても  
楽しみですな!

でも私は……  
講演のほうが多くてねえ  
最近ではテレビの番組まで  
頼まれている始末……

現在のスーパーコンピューターでは  
発生する熱を液体ヘリウムで冷やして  
いるものがあります したがって液体  
窒素温度のセラミックス系超電導体  
でも充分使えるわけですよ……!

テレビ!?

——QTVというテレビ局で  
超電導のクイズ番組をやるんだ  
そうで……その質問項目を頼まれ  
たってわけですよ よかったらアナタも  
参加しませんか——これが案内状……

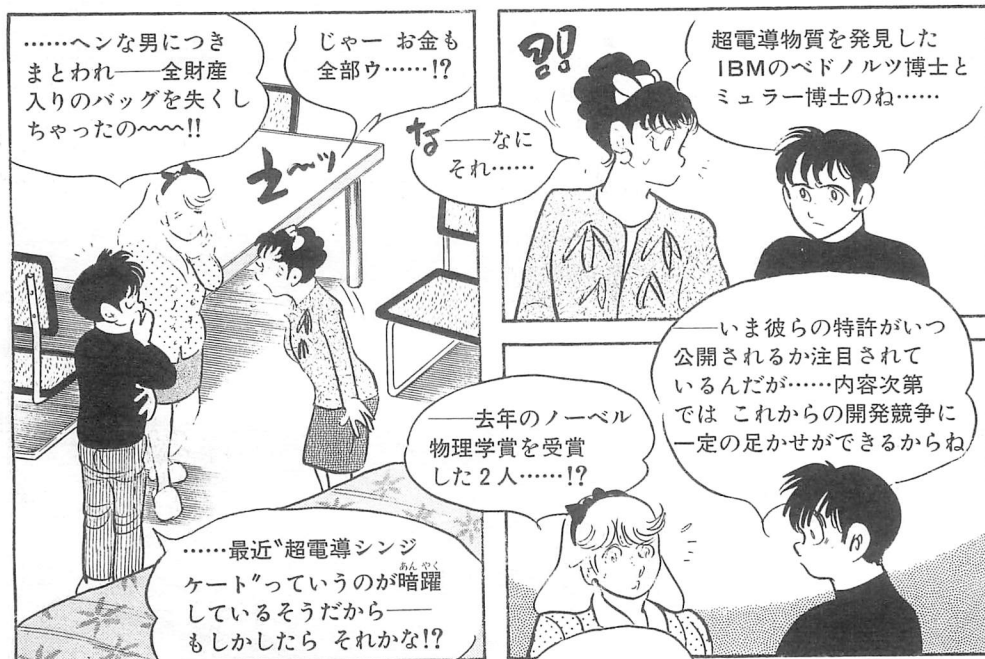
でも——  
難しそう

……井矢田さんが  
問題をこっそり  
教えてくれれば  
べつだけど……!?

それはダメ!

ケチンボ!!





—IBMの情報をキャッチして 商売の種にしている人が世界中にいっぱいいるんだから……

公開特許公報

61 196 730 2400

第 5 部 門  
4171 440 4200

5 3 - 25 503

特 許 12001 - 22000

……最近では日本の特許庁も非常にナーバスになってるそうだし!

—「お嬢さん ちょっとお話をきかせてもらえませんか?」……って

シンジケートの一味と間違われたのかなア?

突然 声をかけられて……それで怖くて必死に逃げ出したんだけど その時バッグ落としたらしいの!

……でも困ったわね お金がないとイギリスに帰れなくなっ……

——これでいこう……!!

……クイズ番組の参加チケット……

——優勝者はヨーロッパ一周旅行

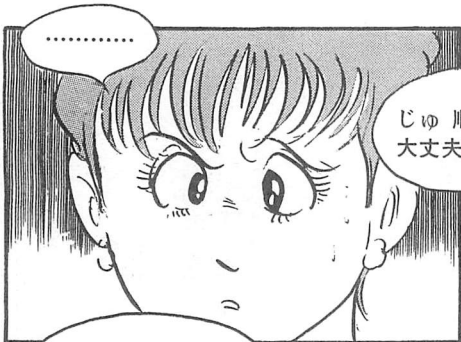
キム——イギリスまで帰れるでしょ!

……優勝すれば でしょ

ない!!

やるっきや





.....

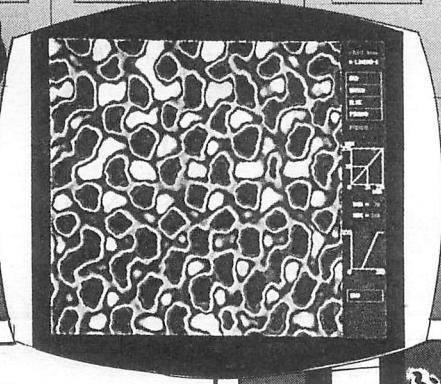
じゅ 順子  
大丈夫かなア!?



いまんとこ——  
最下位だもんネ!

……さア いよいよ  
最後のサイエンス  
コーナーです……!  
  
ちょっと難しいと  
思いますがグワンバッテ  
トライしてください……!!

では第1問……  
「これは ある天体からやって  
きた物質の写真である  
○か×か?」



——×が  
正解です!  
  
どうやら 地球  
でもできるもの  
らしいですね!

——正解は②  
粘土や鉱物を焼き  
固めた  
セラミックスと  
いう物質の仲間です  
レンガなんかも  
そうですね!



- ① 箸
- ② 茶碗
- ③ ご飯

では——「次の品物と  
基本的に同じだと  
いわれていますが  
さて……?」



いよいよ  
「出番!!」

——今日のテーマは  
いま話題の超電導  
です!

①の箸と答えた  
5番の方 どうぞサジを  
投げ出さないように

見ちゃいけない

ち・が・う!!

さて では——「チョウデンドウと  
いえば超伝導と超電導が  
あります 超伝導は主に物理  
関係者が使い超電導は電気  
の関係者が使う……○? ×?」

……では超電導と  
いう現象はいつたい

どんな現象  
なのでしょう  
か……!?

正解は③!?

——あなたにも超電導がつくれます  
という内容で 数万円ほどの装置と  
材料で大胆にも超電導物質をつくり  
記事にしてしまった雑誌の名前は?

- ①電気抵抗がゼロになる
- ②電流がゼロになる
- ③預金残高がゼロになる

- ①「週刊ダイヤモンド」
- ②「アンアン」
- ③「週刊朝日」

——これは  
基本よ……!!

- ①適当な量で簡単に超電導物質になる
- ②厳密に同じ量を測って混ぜる必要がある
- ③1:2:3の量で混ぜる必要がある

——超電導物質をつくるため  
にはイットリウム バリウム 銅を  
ある量で混ぜるのですが——  
さて その量とは?

まっかせなさい!

この間取材  
したばっか!!

—現在までに発見されている  
超電導物質は冷却用に  
ある物質を必要としますが  
それは为什么呢?

- ①味の素
- ②液体チッ素
- ③水

—正解は  
1:2:3で混ぜる  
の③でした!

3番のギャル  
その調子……!!

—正解は②です

で—その液体チッ素を  
買うためにAサンはデパートへ  
走りまわりました。○か×か?

ちなみに—  
乳鉢という容器に  
入れて根気よく  
混ぜるのですが……

ある人によれば—  
「超電導になれ!」の  
呪文を唱えて混ぜると  
リップな超電導ができる  
……とのことです!

—×です  
液体チッ素を買うには  
高圧ガスを扱っている  
燃料店へ行くのです

—カニもレアアースも  
中国ダイ……!

世界の約80パー  
セントを占めている!!

—イットリウムという物質は  
レアアースといわれる元素の  
仲間ですが 一番埋蔵量の  
多いところはどこでしょう?

問10—液体チッ素とは  
いったいどんな状態をして  
いるのでしょうか？

- ①水蒸気が出ている ②血のような赤色をしている ③ゼリー状……

……ガンバレ 順子！

問11—超電導の理論を解明  
すれば必ず手に入るといわ  
れている賞とは……？

- ①沢村賞 ②ピューリッツァ賞  
③ノーベル賞

問13—次の人物の中に超電導の  
研究と関係ない人がいます  
それはだれでしょう？

- ①チュー ②田中昭二  
③利根川進

問12—今までの超電導はBCS理論で  
証明されてきましたがこのBCSはどの  
頭文字をとって名づけられているのでしょうか？

- ①「Band-Couple-Style」の略 ②ボストン シカゴ  
サンフランシスコでそれぞれ発表されたから ③バ  
ーディーン クーパー シュリーファーの3人が考え  
出したところから

問14—日本の超電導開発に  
負けるなど アメリカの産業界に  
ハッパをかけた人は……？

- ①マイケル・ジャクソン ②マドンナ  
③レーガン大統領

問15—さて特許が注目  
されています 2ヵ月間に  
600件もの特許を申請し  
特許庁に「さばききれない！」  
と注意を受けた企業とは？

- ①住友電工 ②NHK ③IBM

問16—セラミックス超電導体でつくった  
線材はある理由で懸念されて  
います それはなぜでしょう？

- ①水に溶けやすい ②熱で溶けやすい  
③もろくて折れやすい

問17—超電導材料でつくった  
電線に人間が手をふれ  
ました もちろん電線には  
たくさんの電流が流れていま  
すでも 人間は感電しません  
○か×か？



—なんと○が正しいのです！

超電導線の電気抵抗はゼロになりますね それに  
対し人間の電気抵抗はゼロ  
ではありませんから 電流は  
抵抗ゼロの超電導線のほうを  
通り 人間のほうへはやってこない  
というわけです……

前ページの答え

- ⑩：①が正解。あるテレビ局が、液体チッ素を撮影しようとしたところ、水蒸気しか写らずに閉口したという話が伝わっています。
- ⑪：③。去年(1987年)のノーベル物理学賞は、新超電導体の発見をした研究者でした。
- ⑫：⑬：⑭——も③
- ⑮：①。年間、その書類だけで積むと180メートルにもなるそうです。
- ⑯：③

では

—ここで 特別  
コーナーです ゲストを  
迎えて超電導の応用例に  
ついて考えてみましょう

まず最初に この  
写真を見てください

開発にあたった三洋電機  
超電導応用技術開発課の  
竹中明さんから どうぞ！

—答えは

—正解は  
②です……

—超電導材料を  
液体チッ素につけると冷えて  
超電導になり 磁石との  
反発力で回転します

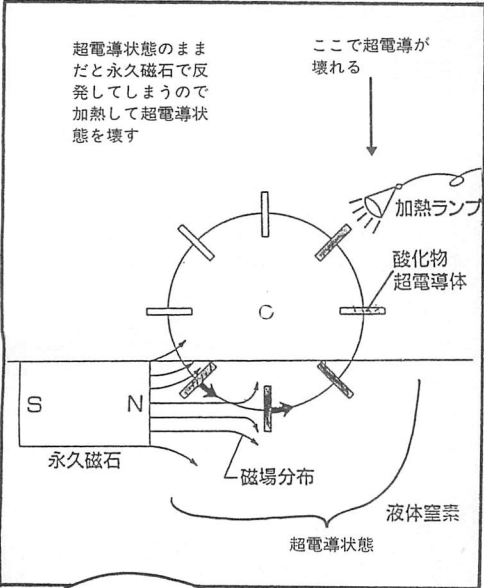
ところが——

—これは三洋電機が開発  
した“超電導モーター”です  
が 加熱ランプの役目はなんでしょう？

- ①光子の圧力で押ししている
- ②超電導状態を壊している
- ③超電導電流を加速している

もどってくる時 反発してはいけないので 加熱ランプで温度を上げ 超電導状態を壊しているのです

使用されている超電導の 臨界温度は80K(マイナス 193度C)液体チッ素中の 温度が77K(マイナス196度C) そして加熱ランプで温められ ている部分は83K(マイナス 190度C)……



わずかプラス マイナス3度の 温度差でON-OFFを繰り返して 回り続けるのです 電力はまったく 使わない省エネルギータイプです 将来的に常温超電導体が発見 されれば水を使ってモーターが できるかもしれません……

このモーターは 去年の10月に 開発されました

——マイスナー効果を用いた超電導モーターとしては 世界で初めてのモノだそうですね

——砂漠の日向と日陰の温度差を利用したポンプ用モーターとか 発電所の温廃水を用いたポンプ用モーター 換気扇 冷蔵庫などの 家庭用電化製品にも応用が 考えられています——

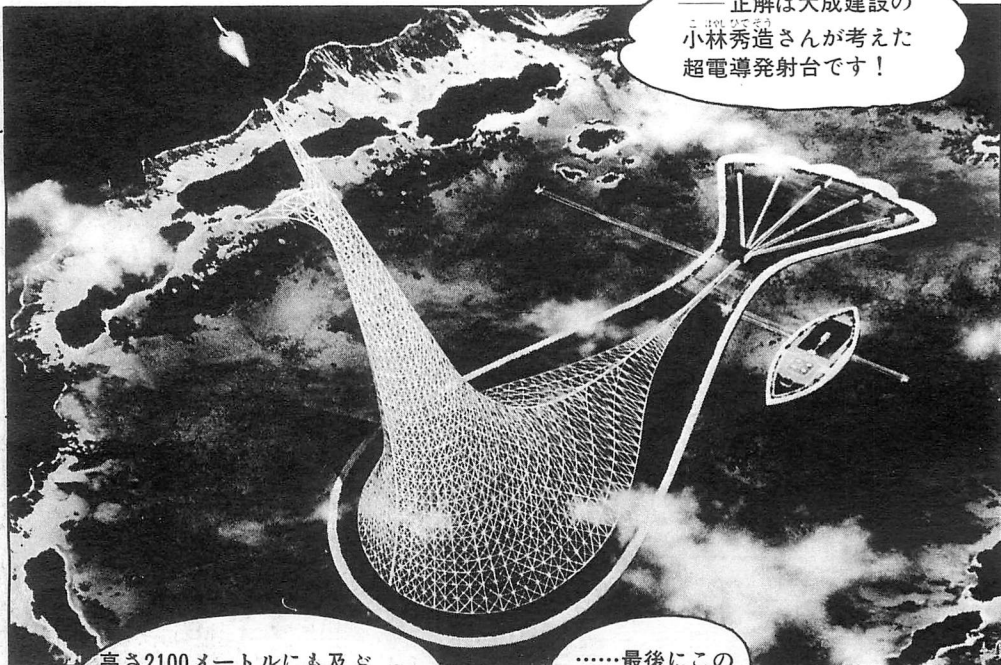
——宇宙空間での 温度差を利用した モーターなどは注目 されており……

どーもありがとう ございました

……今度はこの図です これはなんでしょうか？

- ①超電導スーパーカー
- ②超電導アンテナ
- ③超電導発射台……

——正解は大成建設の  
小林秀造さんが考えた  
超電導発射台です！



高さ2100メートルにも及ぶ —  
巨大な発射台です 発射の  
仕組みは まず太陽電池で  
得た電気を超電導電池に  
蓄え この電気をを使って6つの  
リニアモーターカタパルトを動かし  
シャトルを加速させる  
というものです

……最後にこの  
図です……！



——地下に巨大な超電導  
コイルをつくって そこに  
電流を貯蔵しておこうと  
いう研究です さてなんで  
こんなことを  
するのでしょうか？

- ①電気が冷えないように  
地下に貯蔵し 寒い冬に  
取り出すという狙い
- ②地価高騰のため施設を  
地下につくり 建設費を安く  
すます狙いがある

この発射台を使えばスペース  
シャトルの燃料の4分の1  
約5億円ほどが節約できます

③夜に余った電力を  
貯蔵しておき 需要の  
多い昼間にとり出そうと  
いう狙いである……

——ではここで もう一人  
ゲストをお迎えして 正解と  
解説をお願いいたしましょう

110  
110  
110  
110  
110  
110  
110  
110  
110  
110

高エネルギー物理学  
研究所の新戸見さん  
です……どーぞ!!

……電力需要をまかなうため  
現在は揚水発電といって  
夜間の余った電力で水をくみ上げ  
それを昼間に落として  
発電しています

——したがって  
正解は③です



が……これではエネルギー効率が65~70パーセントとロスが大きいのです

我々「超電導エネルギー貯蔵研究会」としては——

直径5メートル 高さ2.6メートル  
貯蔵エネルギー50メガジュール  
(約14キロワット時)の試験プラントを  
昭和65年までにつくる方針です

このコイルの中には30キロアンペアの電流が抵抗ゼロで流れ続けることになりエネルギー効率も90パーセント以上になります

アメリカでは野球場ほどの大きさの超電導コイルが計画されているとおうかがいしましたが

停電になっても十数万世帯に電気を供給できる230~400メガワット時の貯蔵能力を持っているそうですよ……!

では——  
どうもありがとうございました……!

——超電導テーマも  
いよいよ  
クライマックス!

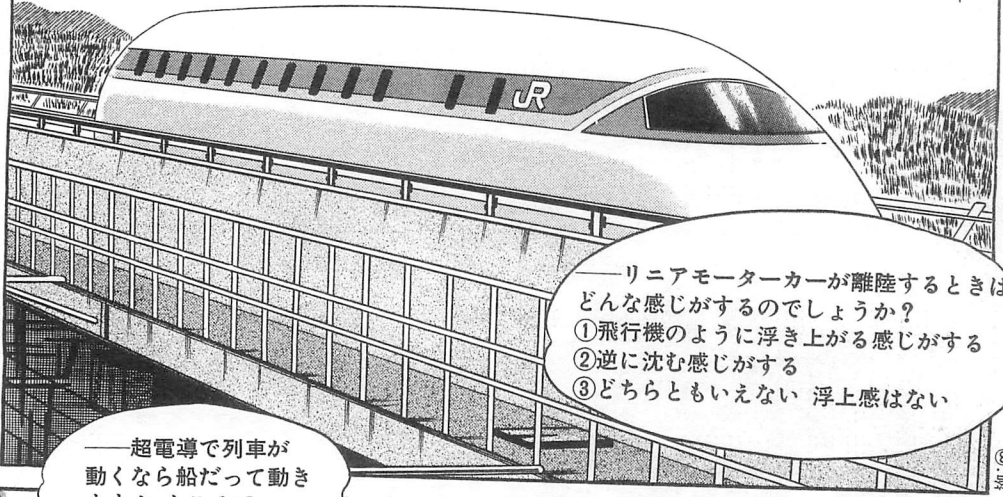
今度は リニア  
モーターカーの  
問題です!

——筑波科学博で登場  
した日本航空の磁気浮上列車  
HSSTは超電導マグネットを  
使った新しい交通機関で  
あった……

○か×か?

リニアモーターカー

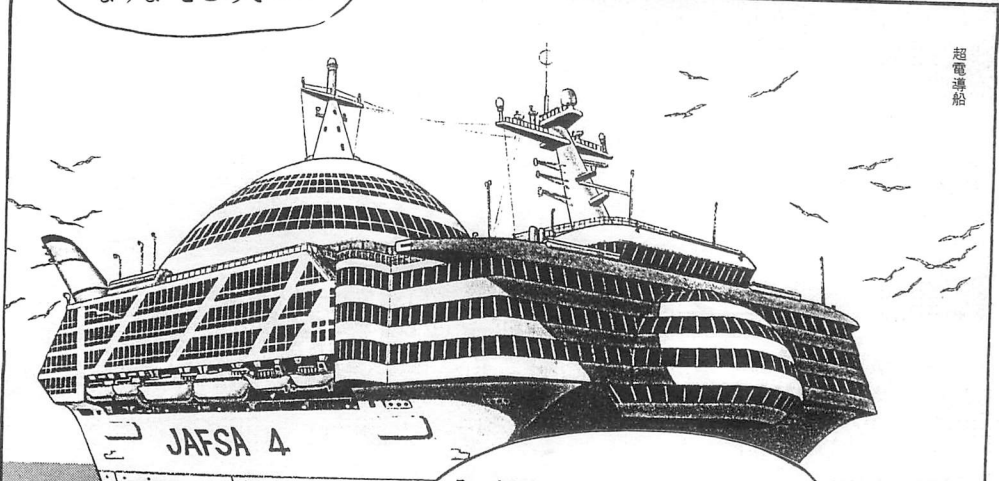
……残念でした  
 超電導マグネットを使っている  
 のは“マグレブ”と呼ばれる  
 JRのリニアモーターカーのほうで  
 これも実用化される  
 予定です……



——リニアモーターカーが離陸するとき  
 どんな感じがするのでしょうか？  
 ①飛行機のように浮き上がる感じがする  
 ②逆に沈む感じがする  
 ③どちらともいえない 浮上感はない

——超電導で列車が  
 動くなら船だって動き  
 ますよ ところで……

超電導船



その推進力は“フレミングの  
 法則”によって説明されますが  
 ふつう身近な形で説明するとき  
 からだ  
 身体の一部を使いますがそれはどこ？  
 ①左手 ②お腹 ③唇

①.海

筑波学園都市の高エネルギー  
研究所は見学したことがありますか？  
……大きなリング状の研究設備が  
あり 新しい素粒子の研究が続けられ  
ていますが そこには超電導マグネットが  
使われています……

どんな役割をしている  
のでしょうか？

- ①電子と電子をくっつけて  
いる
- ②電子を加速させて  
いる
- ③電子を分解  
している……

……正解は②  
超電導マグネットは  
電子と陽電子を加速  
させているのです！

——X線を使って我々の体の  
断層写真を撮影する装置に代わって  
超電導マグネットの強い磁場を  
利用したMRIという医療装置が  
登場しています——

……では ついに  
最後の問題——

そして ものすごいスピードで  
電子と陽電子がぶつかる時に飛び  
散る新しい素粒子を観測する  
研究が続けられている  
というわけです

さて——Aサンは磁気カードを  
胸ポケットに入れたままMRI  
装置にかかろうとしました  
そのときの正しい忠告は  
どれだったのでしょうか？

- ①磁気カードの記憶が消えて  
しまうので装置の近くには  
持っていくな！
- ②磁気カードが爆発するので体を  
ふせろ！
- ③磁気カードはやめてオレンジ  
カードにしろ！



——やったア  
ヨーロッパ旅行だ！

……キム これで  
イギリスまで帰れる  
わよ……！

ア・リ・ガ・ト・ウ！！



……本日 東京大学の  
田上教授の最後の  
講義が3時から  
行われました……



田上教授は話題と  
なった新超電導物質を  
つくり ブームの  
きっかけをつくった方  
で……

……研究者も増えていますが  
室温超電導は もしあるなら  
10年以内に見つかるんじゃないか  
……見つかるのは偶然のチャンス  
ですから その確率は研究者の数に  
比例します……



……将来は有機超電導\*に期待できます しかし合成が非常に難しいわけでありまして

……洋の教授ね

通産省がリーダーシップをとって進める官・民・学の超電導工学研究所の所長さんになるしね……!!

……淋しそうだったでしょう……!?

……理論的に常温超電導の存在が示されている現在身体の中で超電導がおこっていると予測してもおかしくないたとえば脳の中でおこっているかもしれないのです

——私は生体超電導という夢のあるテーマを思いながら第二の人生を楽しく過ごしていこうかと考えています

……生体超電導ねえ……!

よーし こっちもその性体超電導でいきましょう……!!

お・ふ・い・あい

……またア!?

結婚!

いっそのこと——アタシたちも結婚して一緒に暮らさない!?

——だってオレまだ……研究所生活で……

\*有機物超電導。1000 Kでも超電導ができるという理論もある。



……ごめん 順子

——失くしたバッグが  
もどってきたのよ……！  
だから これいらなく  
なったってわけ——

キム……  
……なに!?

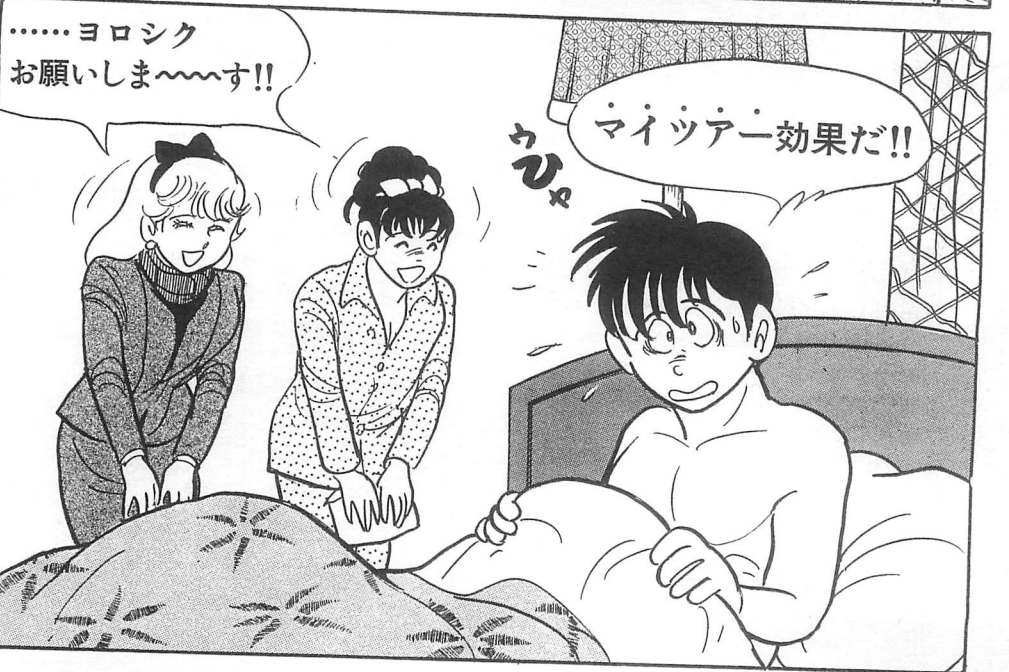


順子 どう  
一緒にヨーロッパ  
旅行しない!?

まどか!?



新婚旅行だ!!



……ヨロシク  
お願いしま〜す!!

マイツァー効果だ!!

うひゃ

THE END

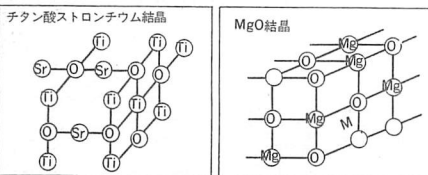
## 用語 薄くしたほうが電流は流れやすい 薄膜

セラミックス系超電導体は、塊（バルク）ではなかなか電流が流れにくい（臨界電流が低い）という欠点をもっているが、基板の上に薄い膜をつくると、高い臨界電流が得られる。実用化はこの薄膜の形によるだろうと言われており、各企業による研究も盛んになっている。

住友電工では、高周波スパッタリング法という製造方法で薄膜をつくった。酸素とアルゴンガスが入った装置内でセラミックス材料を高周波をあてて、飛び散らし、薄膜をつくるのである。圧力、温度、時間などをコントロールするが、それは企業秘密である。

## 用語 手に入りやすい材料 マグネシア

酸化マグネシウムのこと。食塩と同じような簡単な構造をもち、ガラスのように透明で固い。これを薄膜を作る時の基板に使うのだが、チタン酸ストロンチウムなどの材料に比べ、安価だ（約10分の1）。結晶成長の研究ではよく使われるので、手に入りやすいというメリットもある。



## 用語 超電導電流の流れる面 ベーサル面

basal面と書く。「基底面」とか「ベースになっている面」という意味。電流の流れやすい面のこと。薄膜ができる時は、基板のベーサル面にくっつくようにしてできる。

したがって、ページの住友電工の超電導薄膜では、膜面を電流がどちらの方向にも流れることができるように、マグネシアの基板の〈110〉面というタテの面を使い、結晶をタテに積み上げている。この結果、膜面上で配線が自由にできるようになったのである。従来は、電流の流れる量が方向によっていちじるしく異なっていたため、タテヨコ自由に配線することは難しかったのだ。

## エピソード 世界記録の陰に愛妻弁当 驚異の超電導弁当

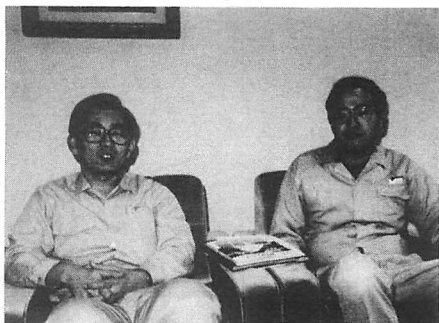
臨界電流254万アンペアという世界記録を出した住友電工の薄膜開発の陰には、「超電導弁当」があった……。開発にあたった糸崎秀夫氏、田中三郎氏の2人は夜遅くまで研究が続くことから、夜食は愛妻弁当にしていたのだ。「そうね、私はトンカツが多かったかな」と糸崎氏が言えば、「私のほうはウナギが入っていたこともありましたね」と田中氏。

住友電工は昭和62年の6月1日に薄膜（Y-Ba-Cu-Oの多結晶）で3万2000アンペアを記録していたが、わずか半年あまりでなんと2けた上の254万アンペアに記録を塗り替えたことになる。この愛妻弁当の威力は意外に大きい!

## 人物 超電導薄膜をつくった電工マン 糸崎秀夫さん

超電導材料の応用技術の開発に余念がない住友電工の基盤技術研究所主任研究員。「すぐにはお金にならない技術開発を手がけています」同時に伊丹研究所電子材料研究部に名籍を置く。昭和25年、京都府生まれ。大阪大学卒。51年に入社したあと、光ファイバーの研究にいそしみ、その後アメリカ・ノースウエスタン大学で材料科学を研究。帰国してからは、伊丹研究所に勤務。

「新しい材料のピスマス系やタリウム系が出てきましたが、薄膜でもイットリウム系に近づきつつあるという感じですね」実際、住友電工は昭和63年の7月に190万アンペアの臨界電流をもつピスマス系の超電導薄膜を開発した。「これからは、応用化を進めるためにデバイスの研究が盛んになっていくでしょう」というのが糸崎氏の最近のコメントだ。



薄膜で世界記録の糸崎さん(左)と田中さん。

## 緑に囲まれ環境ハツクン 日立中央研究所

まるで公園の雰囲気、思わず「ここが日本の研究所?」という声を発すること間違いなしのこの場所は、日立中央研究所。中央線国分寺駅から歩いて7分の距離にあり、武蔵野の面影を色濃く残している。約21万平方メートルの敷地内は森林浴の気分。昭和17年につくられたこの日立中央研究所は、8つある日立の研究所の一つで、約1000人の研究者が

エレクトロニクスの基礎技術の研究開発を行っている。世界で初めて開発した超電導トランジスタもここから生まれた。高温超電導体を利用したデバイスの研究の他、SOR（シンクロトロン放射光）によるX線リソグラフィを使った次世代超LSIの研究、第5世代コンピューターの研究など幅広い研究が進んでいる。



緑に囲まれた日立中央研究所 提供/日立製作所



都内だというのが所に川まである。日本にもこんな立派な企業の研究所があったのだ。

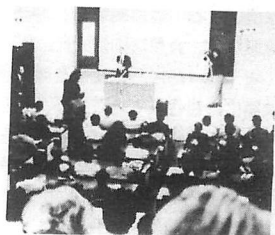
## 日立製作所中央研究所から教壇へ 岩田倫典さん

昭和5年、三重県生まれ。名古屋大学工学部電気学科卒。鹿児島工業短期大学教授などを経て、日立製作所中央研究所技術管理室へ。そして、63年4月からは東京都立工業専門学校で教壇に立ち、電気計測、応用数学を教えている。庶民的な語り口が特徴。著書に『エレクトロニクスはいかにして創られたか』（日刊工業新聞社）、『電子ハイテク用語解説』（工業調査会）などがあ



## 「高温超電導は可能性十分」 田中教授最終講義

高温超電導フィーバーを演出した田中昭二教授は、昭和63年3月で東大を停年退官。その最終講義「高温超電導の開発とその将来」が2月5日、東大工学部第13号館講堂で開かれた。田中教授は、105Kで電気抵抗ゼロを示した金属材料技術研究所のピスマス系超電導体について、「まだまだ高温超電導の可能性があると高く評価した。」と高く評価した。



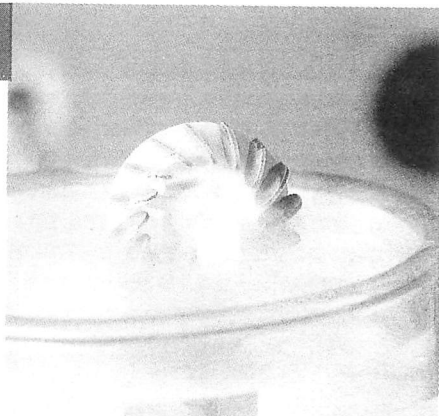


## 入 派 見て楽しい超電導モーターをつくった 武岡明夫さん

三洋電機超電導応用技術開発課長。昭和22年、広島県生まれ。東京工業大学理工学部を卒業後、三洋電機へ。磁性材料研究の一環としてマイスナー効果についても研究している。三洋電機における超電導関係の研究者約30人うちの一人。

マンガにも登場したマイスナー効果利用の超電導モーターについては

手が離れなくて……。でも、10月のエレクトロニクスショーには回転をもっと良くした改良型を展示します。期待してください」とのことだ。また、超電導応用技術開発課では磁気シールド材や、永久電流の貯蔵法の研究にも取り組んでいる。



回転する超電導モーター

提供/三洋電機

## 入 派 エネルギー貯蔵の重要性を訴える 新富孝和さん

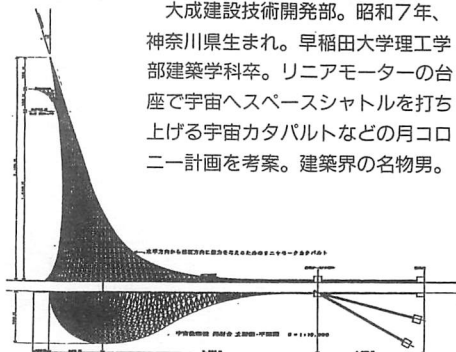
高エネルギー物理学研究所助教授。昭和14年、広島県生まれ。47年から高エネ研に勤務。高エネ研では、加速器「トリスタン」の研究、特に超電導電磁石の開発を行っている。材料は、ニオブチタン。



「磁場10テスラ、直径3メートル、長さ5メートルの電磁石が開発されているんですよ」こうした実績から、62年は超電導エネルギー貯蔵研究会の技術開発委員会委員長を務めていた。

## 入 派 超電導発射台を考案した 小林秀造さん

大成建設技術開発部。昭和7年、神奈川県生まれ。早稲田大学理工学部建築学科卒。リアモーターの台座で宇宙ヘスペースシャトルを打ち上げる宇宙カタパルトなどの月コロニー計画を考案。建築界の名物男。



## 入 派 43社もの企業が参加 超電導エネルギー貯蔵研究会

超電導材料を応用して、エネルギーの貯蔵を可能にする技術を考える研究会。昭和61年5月に発足、当初、28社でスタートした会員企業は、現在、43社になる。日立製作所、東芝、新日鉄、三菱重工、川崎重工、石川島播磨重工、清水建設、大林組、鹿島建設など。会長は向坊隆氏、理事長は梅沢邦臣氏。

年1回(5月)に総会を開くが、研究会の活動が次第に注目されてきている。「現在の電力事情としてはけっして危機的ではありませんが、将来を考えると電力供給の方法としてエネルギー貯蔵が中心になってくるという考え方が注目されています」(超電導エネルギー貯蔵研究会)

動的エネルギーをそのままの形で貯蔵することは人類がまだ経験したことのないものだ。それだけに未来の技術として研究会の成果に期待がかかる。



熱気あふれる研究会場

## ア

RVB理論	193・206
EMT推進	81・102
イオン交換法	173
イットリウム	172
移動磁場	104
糸崎秀夫	238
岩田倫典	239
インディアン方式	142
渦電流	71
内磁場方式	103
永久電流	136
永久電流の貯蔵	137
エキシトン	206
液体窒素	70・174
液体ヘリウム	70・174
MRI	30・136
MHD推進	81・102
MHD発電	30・141
LNG	106
大塚泰一郎	176
オームの法則	35

## カ

海水の電気分解	107
ガウス	136
核融合発電	30・141
カスケード型ヘリウム液化機	106
画像解析	209
カメリン・オンネス	39
川崎重工業	109
川端親雄	210
緩和時間	137
北沢宏一	211
京谷好泰	73

極低温	104	スクイッド	30・139
金属	70	スクルー音	105
金属間化合物	140	スーパーコンピュータ	209
クエンチ	72	スピン	204
クーバー	39	正方晶構造	168・174
クーバー対	7	絶縁体	205
クライオスタット	106	絶対温度	68
クーロンの法則	34	ゼノタイム	172
元素置換法	208	セラミックス	11・70
神戸商船大学	109	外磁場方式	90・103
交流式超電導船	103	ソルベント法	173
小林秀造	240		

## タ

## サ

佐治吉郎	108	第1世代	32
佐藤正俊	211	第一種超電導体	35
酸素欠損三重ペロブスカイト構造	170	「大学と科学」公開シンポジウム	209
JT-60	141	第3世代	33
ジェーン年鑑	105	第18回低温物理学国際会議	37
磁界	34	第0世代	32
磁気共鳴断層撮影装置	30・136	第二種超電導体	35
磁気シールド	104	第2世代	33
磁性流体	102	高田康民	210
磁束ジャンプ	71	武岡明夫	240
磁場	34	武田宏	74
斜方晶構造	168・174	太刀川メソッド	140
自由電子	204	田中研究室	38
シュリーファー	39	田中昭二	38・239
常電導体	35	田中靖三	143
ジョセフソン効果	72	単結晶	170・198
ジョセフソン素子	30・72	チタニウム	105
磁力線	71	チュー(C.W.)	39
進行波	102	超電導エネルギー貯蔵研究会	240
新富孝和	240	超電導ケーブル	137
新日米科学技術協力協定	177	超電導コイル	93
水素原子	137	超電導砕氷船	107
		超電導材料	70

# 索引

超電導送電	30
超電導体	35・280
超電導電磁推進船	30
超電導トランジスタ	30・141・220
超電導発電機	30
超電導マグネット	139
超電導モーター	30・142・229
超電導モーター船	106
超電導モデル都市	73
超微細粒子	177
蝶理機能製品部	176
月コロニー計画	141
テスラ	136
鉄道技術研究所	50
鉄道技術総合研究所	74
電圧	34
電界	34
電気抵抗	34
電子ガスモデル	207
電子の軌道	204
電場	34
電流	34
電力貯蔵コイル	30・138
同位体効果	205
東芝事件	105
特許戦争	37
トバース	138
トリストラン計画	138
トンネル効果	72

## ナ

中嶋貞雄	210
中村繁夫	176
名古屋工業技術試験所	177
ニオブ3スズ	140
ニオブチタン	140

日本イットリウム	177
日本酸素	174
日本造船振興財団筑波研究所	108
ノット	104
ノーベル物理学賞	37

## ハ

パウリの定理	205
薄膜	216・238
バストネサイト	172
バーティーン	39
バトログ (B)	211
ハバードモデル	193・207
反強磁性	207
バンド	184・204
半導体	205・208
BCS理論	36
日立中央研究所	239
ファラデーの法則	35
フェルミ準位	185・205
フェルミ粒子	194・206
フォノン	206

福山秀敏	210
藤木平八郎	107
藤田敏三	210
プラズモン	206
古内明夫	175
フルウチ化学	175
古河オックスフォードテクノロジー	142
古河電工	143
古河電工横浜研究所	143
フレミングの左手の法則	104
ベーサル面	238
ベドノルツ (J.G.)	39
ヘリウム液化装置	109
ペロプスカイト	11・167・170・192

ボース粒子	194・206
ポーラロン	207
ホール	194・205

## マ

マイスナー効果	71
マグネシア	238
マグレブ	74
宮崎実験センター	74
ミュラー (K.A.)	39
モナサイト	172

## ヤ

山路昭彦	211
ヤマト1号	109
有機物	70
ユウロピウム	171
溶媒抽出法	173
横河メディカルシステム	142

## ラ

ライセンス料	108
ラーモアの歳差運動	137
ランタン	171
リニア地下鉄	74
リニアモーターカー	30・68・73
リニアモーターカタパルト	30
量子	204
臨界温度	68
臨界温度測定装置	208
臨界磁場	68
臨界電流	68
レアアース	146・171・173
レアアース鉱山	147
レアメタル	173
ローレンツカ	104

本書は雑誌Quark掲載の記事を再編成したものです(序章: '87年7月号、第1章~第6章: '87年11月号~'88年4月号)。取材に際し、本誌登場の多くの方々には多大なるご協力をいただきました。ここに心より御礼申し上げます。

石ノ森章太郎の超電導講座

1988年9月10日 第1刷発行

著者——石ノ森章太郎

©SHOTARO ISHINOMORI 1988 Printed in Japan



発行者——加藤勝久

発行所——株式会社講談社

東京都文京区音羽2-12-21 〒112

☎東京03-945-1111 (大代表)

装幀——VTS/木下周一

印刷所——凸版印刷株式会社

製本所——国宝社

●——落丁本・乱丁本は、小社雑誌業務部宛にお送り  
ください。送料小社負担にてお取替えます。  
なお、この本についてのお問い合わせは、ク  
ォーク編集部宛にお願いいたします。

ISBN4-06-177601-0(0) (Q)