

大阪大学超伝導エレクトロニクス 研究センターへの夢 — 研究展開と新体制 —



青木 亮三*

この紙面はピンク色で「夢はバラ色」という欄ですが、夢にも現実に近い正夢から、見果てぬ夢までいろんな色合いがあります。ここではバラ色の大きな夢を将来に託して語りたくと思います。

A. 研究展開

急速に発展している高温超伝導の研究開発動向の予想は困難ですが例えば図1に(I)(II)(III)の3つの柱に分けて示しております。

(I) 高温超伝導の機構究明と新物質探索。

高温超伝導が銅酸化物のようなセラミックス系にどうして発現したのか、その機構は未だ判っておりません。この物質系は既報¹⁾でも述べましたように誘電性、光学活性、半導体性、磁性などを、僅かの組成の変化によって多彩に兼ね備える点で、物質科学において奥が深く研究者の夢を誘う魅力的な物質系です。この未知の超伝導機構が究明されることにより、更に新しい性質を持って、より高温に到る超伝導物質を探

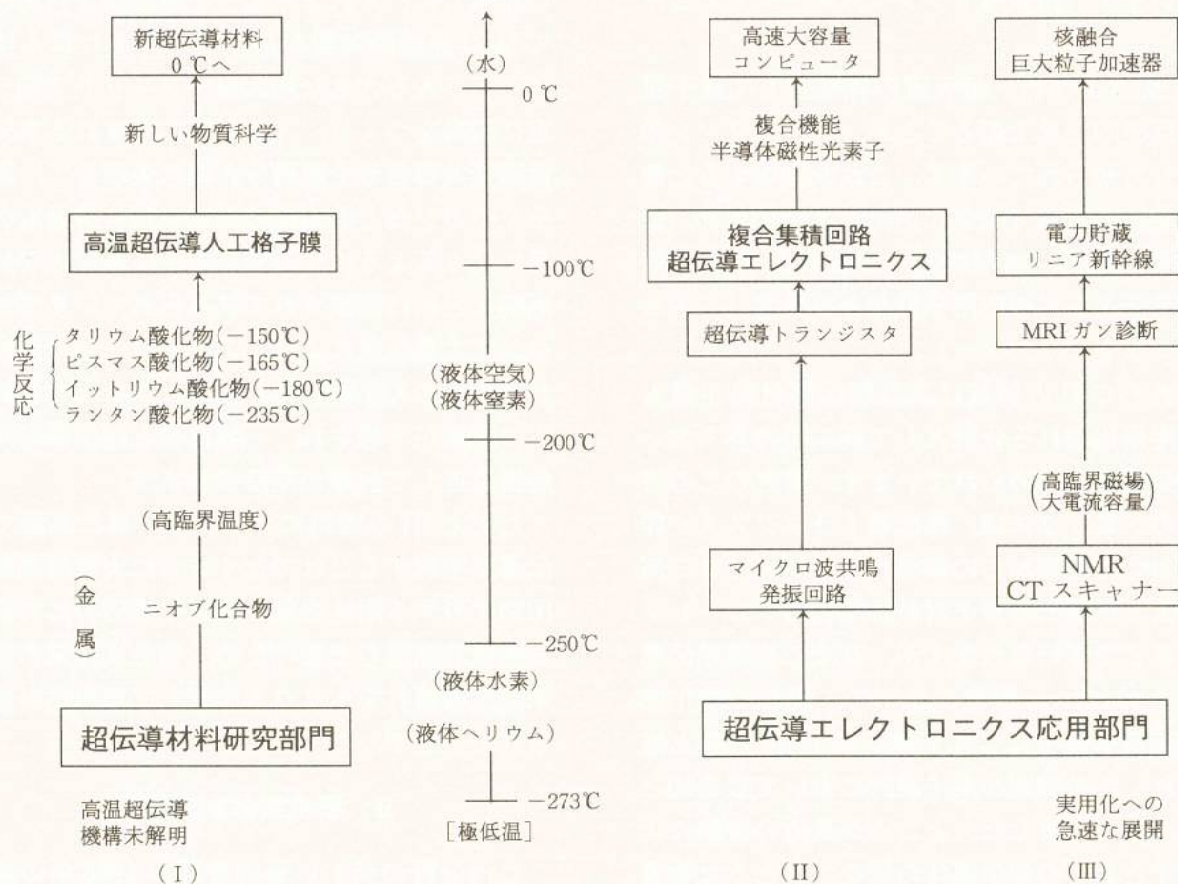


図1 新しい高温超伝導研究開発の動向

* 青木 亮三 (Ryozo AOKI), 大阪大学超伝導エレクトロニクス研究センター, 教授, 理学博士, 超伝導物性

索する指針が得られる可能性があります。この基礎研究の分野は企業などよりは大学の使命と考えられます。例えば、よく訊ねられることで

すが「高温超伝導のしくみは在来のフォノン媒介によるBCSモデルの範囲なのか？それとも新しい励起子媒介によるものか」という問題ですが、最近の我々の研究ではフォノンと電子系励起の結合されたものが関与している可能性があります²⁾。

(II) エレクトロニクス素子への応用³⁾。

i) 超伝導の完全導電性による無損失を利用した高Q値のマイクロ波共振、伝送回路、或いはコンピューター内配線の熱発生を抑えて高集積化と抵抗成分僅少による高速変化を可能にします(超伝導配線コンピューター)

ii) さらに高温超伝導の大きなエネルギーギャップを利用して赤外光やミリ波の検出、混合、増幅制御などに利用することができます。

iii) 或いは超伝導状態に電子注入や光照射、または電界印加などにより、低損失、迅速制御を可能にするトランジスタ素子などが試みられています(超伝導トランジスタコンピューター)。

iv) もう1つの、超伝導の特性として量子現象が巨視的な系で起ることが、ジョセフソン効果として知られています。これを利用すると微小な電圧や電流(磁束)がデジタル化され、情報処理(記憶、論理演算)が在来より数10倍速い素子としての応用分野があります(ジョセフソンコンピューター)。

これらのIIの領域は高温超伝導材料が最も早く実用化される分野として既に国内外で大いに開発研究が進められています。最近のこの方面でのトピックスは、超伝導トランジスタ作製において外部からの制御因子を導入できる部分の広さが超伝導電子対波動関数のコヒーレンス長さ ξ できめられますが、在来の金属超伝導体の ξ が100nm程度に比べて、現在の酸化物高温超伝導体ではこれが僅かに1nm程度と推定され、この問題が素子設計において致命的と考えられていました。ところが最近の実験によりますと2つの超伝導体の間をてきとうな物質を介して1 μ m程度離しても実際に超伝導電流が通じて、充分な外部制御領域が得られる見通しが報告されて、この方面の研究が基礎応用ともに俄に活発になっています⁴⁾。

将来はこの物質系の層状構造を利用して¹⁾超伝導だけでなく半導体機能や磁性、光活性などを備えたnm単位の各原子層を集積した人工格子による複合機能集積回路素子が設計されることでしょう。既に現在の高速大容量計算機(super computer)でも液体窒素冷却によって排熱、熱雑音除去を行っていますが、さらにコンピューターの集積度と高速化が要求されるあと数年後には本格的な超伝導コンピューターが現実化するものと予想されています。

(III) 電力設備および強力磁石への応用

高磁場下でも無損失で大電流を通せる超伝導線材を用いての無損失送電、さらには永久電流モードでの強力安定な電磁石や電力貯蔵への応用が挙げられます。強磁場は磁気浮上列車だけではなく、一般に高速荷電粒子の制御には必須でプラズマ核融合実験装置や巨大な粒子加速器はすでに超伝導マグネット抜きには設計できない段階です。それよりもっと現実的な利用としてMRI癌診断装置があります。それは人体がスッポリ入る大きな超伝導マグネットで均一安定な磁場をつくり、人体各部に含まれる水分の核磁気共鳴信号を断層分布像に表示して、脳梗そくやガンなど各組織の異常を何の苦痛もなく目に見えるようにするものです。既に大学付属病院などには設備されて試みられていますが、やがて大量生産によるコストダウンが可能になれば現在のX線撮影機と同じように市内各病院への配備が予想され、一般社会と超伝導利用の最接点として活躍が期待されます。

ただしIIIの応用においては、単に高温で超伝導が実現するだけでなくさらに大電流高磁場印加に対する耐性容量の要求や電磁力に対抗する機械的強度も必要のため、当分は在来の金属系超伝導線材をヘリウム冷却して実用化が進められています。

B. 研究新体制の構想

この分野の新しい研究展開が1988年の高温超伝導の発見以来、国内外において目まぐるしいまでに進められております。大阪大学においても関連する各学部学科、研究所において新しい研究が優秀な研究者によって始められており