

## ナノカーボン超伝導体に関する調査研究

(一財)高度情報科学技術研究機構 計算科学技術部 研究員 荒木 拓海

我が国の成長力を維持するために新しい科学技術イノベーションが渴望されているが、その中の一つとして超伝導技術の実現には大きな期待がかけられて来ており、長年にわたり国家的な研究開発が続いている。こうした中、銅酸化物超伝導体により超伝導になる転移温度は135K(常圧状態)と従前の10K程度以下に比べ大幅に上昇し、最近では室温超伝導への期待も高い。しかし、現状を鑑みれば世界中の多くの研究にもかかわらず転移温度の上昇は停滞気味である。

一方、ここ10年来、フラーレン、カーボンナノチューブ等のナノ炭素構造において超伝導が数十K近傍において発現することが分かってきた。最近では、カーボンナノチューブの束、チューブ構造内部にダイヤモンド結晶を入れたやや複雑な構造等でも超伝導が発現することが報告されるなど、新しい領域としてナノカーボン構造による超伝導体の研究が盛んになってきている。銅酸化物超伝導体はセラミクスであるため、重く、脆く、衝撃にも弱いことから、微細加工や線材化が難しく、その実用化には長い年月がかかっている。それに比べると、ナノカーボン超伝導体は線状、平面、立体構造など多様な形状構造として超伝導を発現することが期待でき、またカーボンゆえに軽量、柔軟、強靱等の特性を生かすことができるため等、配線、回路などを含めた幅広い応用も期待できる。

しかし、そこには従前の銅酸化物向けの超伝導理論は適用できるものではない。このため、新しい超伝導理論の構築を刺激し、さらにそれに基づく新奇な構造物質の室温超伝導の出現の期待が大きく膨らむ所となっている。このため、世界的には中韓を含めた先進各国のナノカーボン超伝導研究の競争は激しさを増している状況である。

一方、ナノカーボンはここ近年で新産業勃興の動きを早めている。シリコンを炭素で置き換えるオールカーボン電子回路の実現はもはや研究段階から産業化へと歩みを進めている。例えば、パソコンの筐体、飛行機翼、風車の羽などの構造部材は既に実用化済みであり、タッチパネル、キャパシタ、不揮発メモリ、透明導電膜等は実用化に近く、ディスプレイなどは実用化水準に達し、マイクロプロセッサ、パワー半導体などは動作確認段階までに至っている。こうした背景の中で、ナノカーボン超伝導体の実用化、例えば電子配線、回路技術などは、小型、安価、資源制約のない大量生産性等からあたかもシリコン半導体のごとく社会全体へ浸透する可能性があり、従前から研究開発されてきた電線ケーブル、超伝導電力貯蔵、超伝導磁石など重厚な超伝導社会を一変する革新的なイノベーションとなる可能性を秘めている。

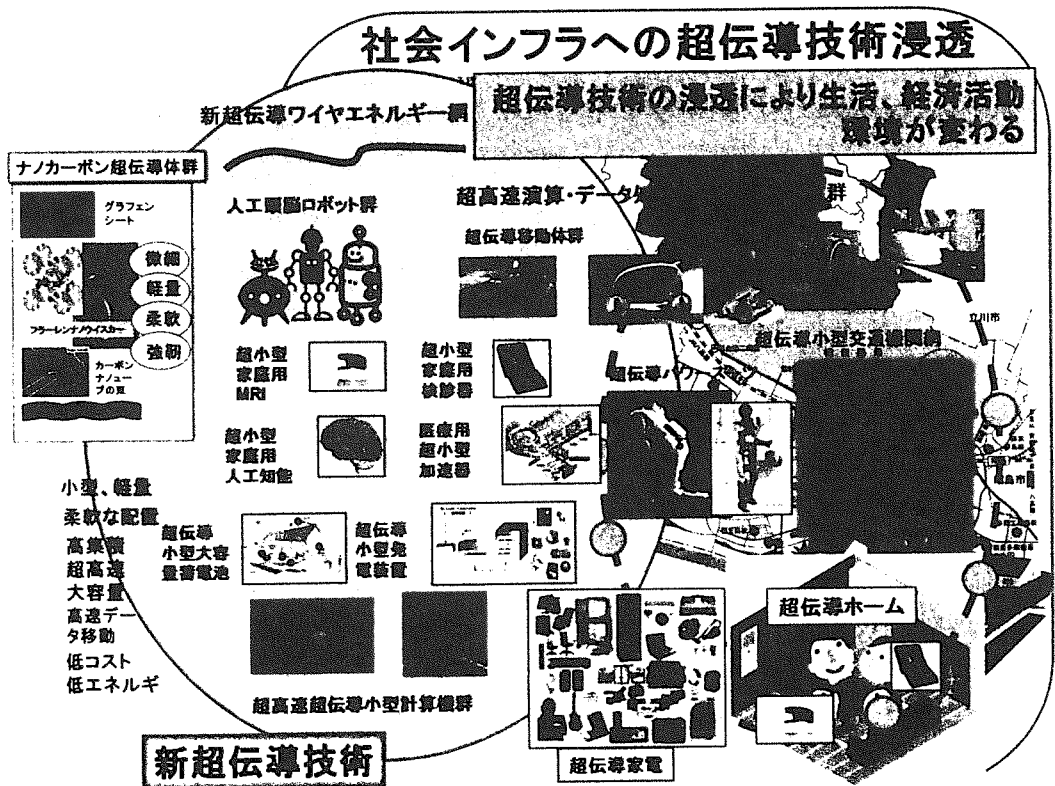
こうした新たな技術革新は社会インフラ、エネルギー利用を小型化、低コスト化へと方向付けることから、強いインパクトを持って未来の社会、経済への成長に大きな影響を及ぼすものと考えられる。

そこで、本調査研究では、初めに、ナノカーボン構造体の超伝導性に関する研究の国内外の動向を調査した。その結果、青山学院大 春山純志 准教授らが2006年に多層カーボンナノで超伝導転移温度  $T_c=12\text{K}$  を観測して以来、ナノカーボン超伝導体の研究が活性化し、ゼオライトとの複合や超電導 NbC をコーティングする等の多くの試みによる超伝導特性の改良、ナノワイヤによるしなやかな超電導ワイヤの開発等が進んでいることが分かった。理論的には、格子と電子の相互作用の小さい金属合金系超電導における  $T_c$  を理論モデルにより推定しつつ超伝導物質を設計することが可能になりつつある。さらに、格子と電子の相互作用が大きいフラーレン超伝導体を代表とする有機物・炭素系超伝導体については強結合領域にあることによるクーパ対の局所化を

利用しTcの計算を高い精度で計算することが可能となりつつある。これらの理論の発展を元に、ナノカーボン系において最高Tcの推定が行われ、グラファイト層間化合物超伝導体において100K程度が、カーボンナノチューブのエッジ状態を利用する超伝導体では、バンド幅を制御することにより仮想的ではあるが電子をドーピングしたフラーレン超伝導体で室温が予想され、ナノカーボン系超伝導体への期待が高まっていることが分かった。

次にナノカーボン超伝導体の応用性の調査を行い、超伝導体量子インターフェースのナノスケールへの縮小による飛躍的な検出精度向上、分解スケールの微細化の可能性、スピントロニクス用ナノ空間配線基盤技術確立への可能性、量子コンピュータへ応用することにより小型堅牢な人工知能の社会への浸透の可能性等があることが分かった。ナノウイスキーによるしなやかな超電導ワイヤーの開発は、社会の隅々までエネルギーロスゼロかつ低コストで電力の供給を可能とすることが期待できる。また、シミュレーションによりCNTバンドルによる超伝導特性の改善が推定されたことから、超伝導体の構造、形状特性を制御することにより応用性の高い超伝導体の開発が可能であると推定される。

以上より、応用の創成を検討した。ナノカーボン技術は、従前の超伝導と異なり、社会への浸透性が圧倒的に高い特性を持ち、エネルギー問題の解決、情報処理能力の爆発的ニーズへの対応を可能とし、量子コンピュータ等の最先端のコンピュータを社会の隅々まで浸透させ、問題解決能力の高い人工知能や知的で柔軟なロボット群や多様な人や物の利便性の高い移動体群を社会の隅々に行きわたらせる応用が見込まれる。その結果、人の生活を大きく変える能力がある。



社会の隅々まで低コストで電力、情報、人工知能、マニピュレータ、移動機能等を提供

最後に、以上調査結果を基に、例えば、情報通信、エネルギー、医療、農業等へのインパクトを想定し、今後、実施すべきナノカーボン超伝導体の開発に関する研究計画を提案した。

このように多くの可能性があるナノカーボン超伝導体は、医療、食糧、エネルギー等の基本的な領域で革新的進歩を支える基盤技術となろう。ナノカーボンが日本が得意とするものであり、この技術により、日本において固有な、また世界にも貢献できる新しい技術を開発し、より豊かな社会創成へ貢献できることになろう。