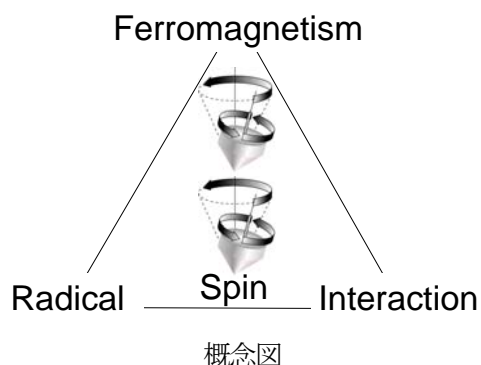


ディビジョン番号	14
ディビジョン名	ナノテク・材料化学

大項目	3. ナノ計測・分析
中項目	3-2. 分析
小項目	3-2-1. EPR

概要（200字以内）

電子スピン共鳴(EPR)分光法は、電子スピンを多面的に観測する。分子ラジカルは生体反応活性種であり、その存在を知ることは医療分野の重大問題である。電子スピン間の相互作用の利用は量子コンピュータへの可能性を開く。また、強磁性的相互作用により有機磁石など新奇機能性磁性材料を実現する。このような電子スピンを中心とする将来構想を達成するためには、新しいEPR分光法のブレークスルーが不可欠である。



現状と最前線

電子スピンという自由度は量子力学的概念でのみ生ずる。よって、その観測の理解には量子論が不可欠であり一般に難解なものと考えられがちである。しかし、量子論的現象であるがゆえに量子性が容易にマクロ現象として観測できる。特に、電子スピン共鳴(ESR)分光法は電子スピンを多面的に観測できる。一般に化学反応中間種や生体反応活性種はラジカル分子であり電子スピンを持つ。ゆえにESR観測の重要な対象物である。複数の電子スピンの間では交換相互作用や磁気双極子相互作用が働く。強磁性的な交換相互作用で結合したスピン系は、有機磁石のような磁性機能材料となる。また、スピン間の相互作用を演算に利用する構想がスピン量子コンピュータである。そこで、生体活性種研究、強磁性結合スピン系研究、量子コンピュータ研究に焦点を絞って現状と最前線を述べる。また将来構想実現のために必要な、ESR分光法に求められるブレークスルーを考えてみる。

[生体活性種研究]

生体の酸化・還元酵素系や光合成酵素系において、遷移金属ラジカルが反応の中心的役割を演ずる。この金属酵素系の研究にESR分光法は決定的な情報を与えている。特にドイツ、オランダ、フランスなど欧州の研究者が世界をリードしている。その理由として欧州におけるESR分光法の高い技術力が上げられる。つまり一般の9GHzマイクロ波を用いたESR分光法に加えて、95GHz、360GHzなど遙かに高い周波数マイクロ波を用いた高磁場ESR分光法が盛んに行われ、95GHzを用いた高周波数・高磁場ESR装置は商品化されている。高磁場ESR分光法は複雑な酵素系内の金属イオンラジカルを観測するのに不可欠な技術である。残念ながら日本では

この技術力が不足している。

生体組織内の炎症患部にラジカル発生が見られる。また NO ラジカルの発生や抑制は、免疫や生体情報伝達のメカニズムに関連している。このように生体内でのラジカル種の発生機構や発生分布を知ることは、医療分野への大きな貢献が期待される。核磁気共鳴イメージング(MRI)観測法は日本でも医療現場で一般化しているが、電子スピン共鳴(ESR)を用いたイメージング法は次の技術革新として日本を含め世界的に開発が進みつつある。

[強磁性結合スピン系研究]

複数の電子スピンの間に強磁性的な相互作用でマクロスコピックに磁性が発現したものが磁石である。これまで鉄など遷移金属を用いた磁石が一般的であったが、有機分子を用いた有機磁石の合成が試みられている。また、単分子で磁石として働く大きな分子の合成も試みられている。これらの研究は次世代のナノスケールメモリ開発に大きく貢献するだろう。この研究を支える分析・観測法として、ナノスケールの磁性観測を可能にする磁気走査型顕微鏡(SPM)観測法が必要になる。現在この開発が、日本国内外で進みつつある。

[量子コンピュータ研究]

素粒子間の量子論的相互作用を計算演算に用いる量子コンピュータを実現する方法論として、核スピンや電子スピンのスピン・スピン磁気相互作用を利用する研究が進んでいる。特に高速性能とスピン寿命の長さで優位な窒素原子内包フラーレン(N@C₆₀)の電子スピン研究が、ドイツを中心に進んでいる。この研究を支える観測技術として電子スピン励起用の超高速マイクロ波パルス発生や電子スピンパルス応答を超高速に検出する方法論の発達が必要である。

将来予測と方向性

・ 5年後までに解決・実現が望まれる課題

- 1) 国産 95GHz (W-band) ESR 分光器の製品化と普及。
- 2) ESR イメージング法のサブミリメートル位置分解能を実現する ESR 画像観測法の実現。
- 3) 磁気走査型顕微鏡(SPM)の製品化と普及。

・ 10年後までに解決・実現が望まれる課題

- 1) 世界に先駆けて 600GHz 超高周波数遠赤外レーザー・超高磁場 ESR 装置の実現。

キーワード

電子スピン、生体反応活性種、画像観測、超高磁場 ESR、量子コンピュータ

(執筆者：加藤立久)