



### 実験の手順

- DPPH (ジフェニル・ピクリル・ヒドラジル) の共鳴曲線を観察します。
- 共鳴周波数を磁場の関数として測定します。
- 自由電子に対するランデの  $g$  因子を測定します。

### 目的

DPPH 中における電子スピン共鳴の発生を確認すること。

### まとめ

電子スピン共鳴 (ESR) は、直流電源で生成された外部磁場中にある物質が持つ、不対電子によるエネルギー吸収に基づいています。このエネルギーは、直流電源で生成された外部磁場と直交する方向に供給される、高周波の交流電源で生成された磁場から吸収されます。交番磁場の周波数が共鳴周波数に等しい場合、試験材料が充填された送信コイルのインピーダンスは、共鳴曲線に応じて変化し、そのピークは、オシロスコープの画面上で目視できます。この実験に適切な材料の1つが、ジフェニル・ピクリル・ヒドラジル (DPPH) です。

### 必要機器

品番	品名	数量
1022702	ESR/NMR 用基本コントロールユニット	1
1022705	ESR測定モジュール	1
U11830	USB オシロスコープ 2x25 MHz	1
U11255	高周波リード線	2

※写真とはオシロスコープが異なります  
※別途、PCが必要です

## 応用実験

- 仕様は予告なく変更されることがあります。
- 品番・品名をクリックすると製品仕様ページ (外部サイト) が開きます。

### 基本原理

電子スピン共鳴 (ESR) は、直流電源で生成された外部磁場中に置かれた物質が持つ不対電子によるエネルギー吸収に基づいています。このエネルギーは、直流電源で生成された外部磁場と直交する方向に生成する高周波の交流電源による磁場から吸収されます。交番磁場の周波数が共鳴周波数に等しい場合、試験材料が充填された送信コイルのインピーダンスは、共鳴曲線に応じて変化し、そのピークは、オシロスコープの画面上で確認できます。共鳴吸収は、自由電子のスピン状態間における磁気モーメントの反転を原因としています。共鳴周波数は直流電源で作られた磁場の強度に依存し、共鳴信号の幅は磁場の均一性と関係があります。

スピンのみに関係する磁性における、電子の磁気モーメントは、磁場  $B$  中では離散値になるものと仮定します。

$$(1) \quad E_m = -g_j \cdot \mu_B \cdot m \cdot B, \quad m = -\frac{1}{2}, \frac{1}{2}$$

$$\mu_B = 9.274 \times 10^{-24} \frac{\text{J}}{\text{T}} : \text{ボーア磁子}$$

$$g_j = 2.0023 : \text{ランデの } g \text{ 因子}$$

2つのレベル間の間隔は、したがって

$$(2) \quad \Delta E = g_j \cdot \mu_B \cdot B$$

試料に加えらるる交番磁場の周波数  $f$  が以下の条件を満たすときに、磁気共鳴が発生します。

$$(3) \quad h \cdot f = \Delta E$$

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} : \text{プランク定数}$$

本実験では、不対電子を持つ分子からなる有機化合物であるジフェニル・ピクリル・ヒドラジル (DPPH) を使って電子スピン共鳴の発生現象を確認します。基本の磁場は一对のヘルムホルツコイルの内部で作られ、その強度はゼロと最大値の  $B_{\text{max}} = 3.5 \text{ mT}$  の間で、鋸歯状の波形で変化するように設定されています。これらを使って磁場の時間変化を表す鋸歯状の曲線が選択された場合に、その曲線上の異なる位置で共鳴吸収が生じる周波数  $f$  を探ることが可能になります。

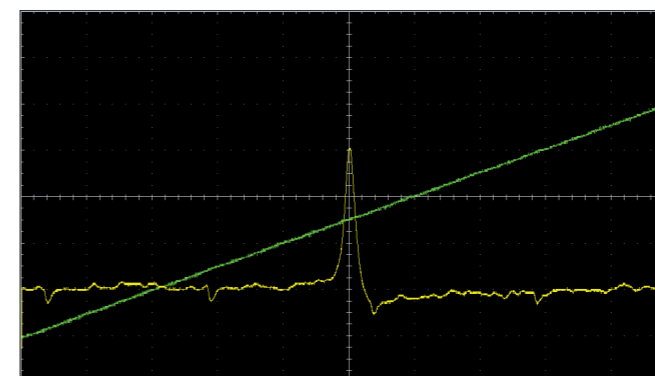


図1：DPPH 内で生じる電子スピン共鳴における、吸収信号と磁場の時間変化

### 評価

共鳴周波数  $f$  と磁場  $B$  との間の以下の関係を、(2) 式と (3) 式から導くことができます。

$$f = g_j \cdot \frac{\mu_B}{h} \cdot B$$

これから測定結果は、測定誤差の範囲で原点を通る直線上にあることとなります。ランデの  $g$  因子は、このグラフの勾配から求めることができます。

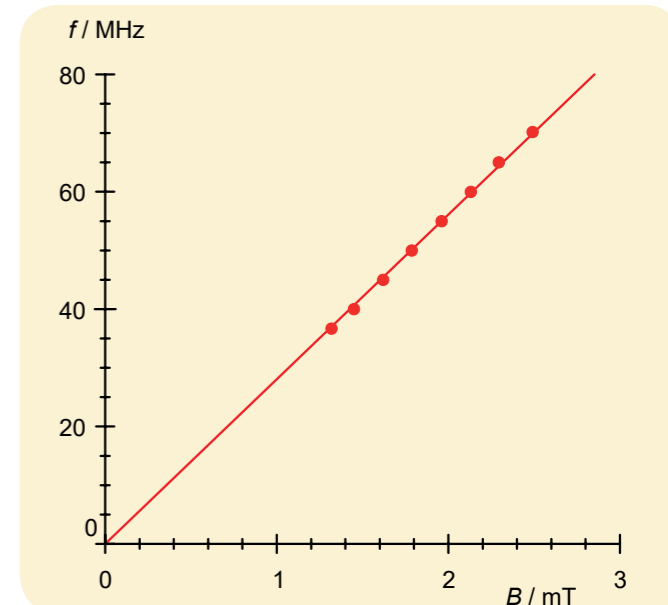


図2：共鳴周波数  $f$  と磁場  $B$  との関係

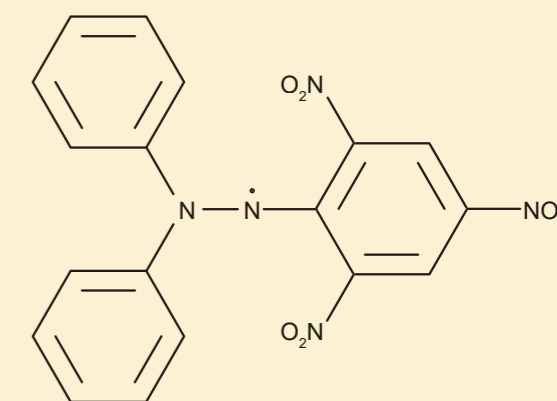


図3：DPPH の分子構造