

研究タイトル：

# 超高感度磁気センサのための基礎研究



氏名：	福田 京也 / Kyoya Fukuda	E-mail：	fukuda@ect.niihama-nct.ac.jp
職名：	教授	学位：	博士(工学)
所属学会・協会：	応用物理学会, 日本物理学会		
キーワード：	CPT, 光磁気共鳴, 光ポンピング		
技術相談 提供可能技術：	<ul style="list-style-type: none"> <li>・原子発振器</li> <li>・レーザー</li> <li>・真空</li> </ul>		

## 研究内容： CPT 及び光磁気共鳴現象の磁気センサ応用

CPT (Coherent Population Trapping) 共鳴は、三準位系の原子に二つの光が同時に照射されたときに生じるコヒーレント現象である。二つの光の周波数差が二つの基底状態の周波数間隔に一致するときだけ透過光強度が強くなる (EIT 現象)。それは二つの光成分により基底状態に dark state が生じ、光ポンピングによりレーザー光を吸収しない原子が増えるためである。実験にはガラスセルに封入されたセシウム (Cs) 原子を用いた (図 1)。Cs 原子の吸収波長帯 (D1 線:894nm, D2 線:852nm) で発振する半導体レーザー光を位相変調器 (EOM) によって変調し、サイドバンド光を発生させる。EOM に加える高周波信号の周波数を Cs 原子の基底状態の周波数間隔 (9192.6MHz) 付近で掃引し、CPT 信号を観測した。磁場を加えたときの CPT 信号変化を観測し、磁気センサへの応用可能性を確認した (図 2)。また原子時計にも利用できることを示した。



図 1. ガラスセル

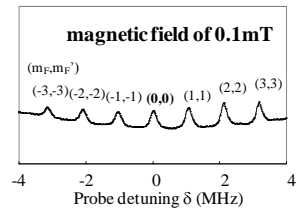


図 2. 磁場印加時の CPT 信号

次に、キャリア光であるレーザーの発振周波数を変化させることで、CPT 共鳴に主に寄与する原子の速度を選択することが可能である。レーザー離調周波数 (原子の共鳴周波数からのずれ) を大きくすると、レーザー進行方向に速度成分を持つ原子が CPT 信号に主に寄与する。薄いガラスセル (レーザーの進行方向の厚みが直交方向より薄いセル、厚さ数 mm) 中の Cs 原子に対し、レーザー周波数を変えたときの、CPT 信号形状の変化を観測した。原子とガラスセル壁面との緩和効果を顕著に示すことに成功した。

光磁気共鳴は、原子の基底状態におけるゼーマン副準位に存在する dark state を利用する共鳴現象である。原子に静磁場を加えると、ゼーマン効果によってエネルギー準位が分裂する。原子はそれぞれ分裂した準位に存在するが、レーザー光による光ポンピング効果によって光吸収を生じない準位である dark state に原子が溜まる。そこに RF 磁場を加えることで、dark state の原子は他のゼーマン副準位へ遷移する (磁気共鳴)。照射レーザー光の吸収量は RF 磁場周波数に依存し、原子に印加した静磁場によって決まるラーモア歳差周波数に一致したときに最大となる。このラーモア周波数を測定することで、原子に印加している磁場強度を高感度に求めることが可能である。光磁気共鳴における磁場検出感度に関わる要因として、原子とセル壁面との衝突及び原子同士の衝突効果に注目した。前述の原子の基底状態間の量子干渉現象である CPT 信号を用いた壁面緩和の知見から、これら衝突を緩和するためには緩衝ガス (希ガス・非磁性ガス) を同封すべきであることがわかったが、磁力計に最適な緩衝ガス種・ガス圧は明らかでなかった。原子のスピン偏極効率を高めるために利用する最適な緩衝ガス条件を調べ、磁力計の磁場検出感度の評価を行った。RF 磁場強度に対する性能指数 (信号強度  $A$  / 信号線幅  $\Delta f$ ) の依存性から、緩衝ガスとして (Cs + Ne: 1torr) が最適であることがわかった。また、磁力計の検出感度として、約  $2.5\text{pT}/\sqrt{\text{Hz}}$  を得た。

提供可能な設備・機器： レーザー光源・モニタ装置一式

名称・型番(メーカー)	
広帯域チューナブルダイオードレーザー	Newfocus TLB-6316
波長計	HighFinesse WS-6-600
位相変調器	Newfocus 4431-M
高周波増幅器	Microwave Amplifiers AM53-4.4-4.8-40-36