

コンパクトで試料室体積が大きい高压セル： NMR など新たな測定手段が超高压域（～9 万気圧）でも可能に

圧力は、原子間の間隔を縮めることにより物質の性質を変化させる。中でも、絶縁体が金属に変化し、さらには超伝導体に相転移することは、最も劇的な例である。これは、最近発見された鉄系の高温超伝導関連物質も例外ではなく、鉄の持つ磁性（反強磁性）が高压下で抑えられたとき超伝導を示す。このような磁性と超伝導の競合や共存状態は、鉄などの電子が互いに影響を及ぼし合う強相関効果に起因するものと考えられ、固体物性研究の分野において現在盛んに研究されている。特に、高压実験は、このような強相関電子系の原子間、電子間の平均距離を制御できる有力な実験法として多用されてきた。

ところが、希土類化合物などの圧力に敏感な系を除くと、金属間化合物や金属酸化物が大きな変化を示すには、10 万気圧前後の「超高压」力を必要とする。今日、3 万気圧前後までの高压力は、NiCrAl 合金などを巧みに組み合わせたシリンダーと超硬合金のピストンを用いて様々な研究で利用されている。しかし、その上の「超高压」域は職人芸を備えた高压実験家の世界であり、実験上の制約が非常に多くなる。主な問題は、試料空間の小ささと、物性測定手段との適合性であった。これまでの有力な装置として、ダイヤモンドアンビルセル（DAC）およびキュービックアンビル装置があり、前者はダイヤモンドの稀少性から試料体積が極めて小さく（ $<0.01 \text{ mm}^3$ ）、後者は装置全体が巨大で光学的に不透明という欠点があった。これらの制約により現在まで超高压域の低温測定の手段は、電気抵抗、ラマン分光、放射光 X 線回折に限られていて、電子状態・磁気状態を観測する手段、およびそれに適した高压装置が求められていた。

最近、東京大学の研究者を中心とする研究グループは、DAC 類似の構造を持つ新しいタイプの対向アンビル型装置（図 1）を開発した。小型装置としては試料体積がこれまでのものに較べて 10-100 倍程大きい。また、測定配線と可視光を導入することを可能としている。その応用第一弾として超高压下核磁気共鳴（NMR）測定を行い、ルビー蛍光圧力計をもとに NMR 圧力計を確立している。具体的には、白金、スズ、亜酸化銅の NMR 信号とルビーの蛍光線の圧力変化を 9 万気圧（9 GPa）まで同時に測定した。その最新の成果が日本物理学会の英文誌 *Journal of the Physical Society of Japan* の 2010 年 2 月号に掲載されます。

この高压装置は、全体がコンパクト（直径 29 mm 高さ 41 mm）でありながら、大きな試料室容積（ 7 mm^3 ）を持つ。このことは作業性を向上させるだけでなく、NMR や磁化測定など信号強度が試料の総量に比例する実験手段において、従来では感度が低すぎて困難であった測定を可能にした。また、等方的な（静水圧性の良い）圧力印加は、信頼性の高い物性研究に必要とされているが、圧力伝達の媒体として希ガスの Ar を封入する技術を開発することにより、これも可能にしている。さらに、可視光線は、内部に設けた窓を通して導入している。超高压実験では、ルビー蛍光の波長は簡便で信頼できる圧力計として事実

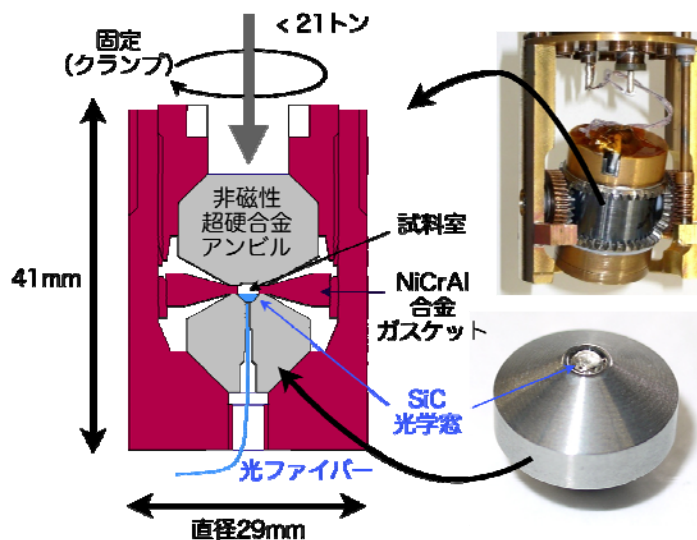


図1：新開発の超高压発生装置

(左図) 装置全体の断面図。荷重をネジで固定（クランプ）することにより、圧力を印可したまま持ち運ぶことができる。

(右上写真) 装置と2軸回転機構。超伝導磁石中で試料を自由な方向に向けられる。

(右下写真) 下部アンビル（凸状の部品）。超硬合金の中心に単結晶 SiC（モアッサナイト）窓が埋め込まれている。

上の標準になっているため、実際の高圧物性研究においてルビー蛍光圧力計を比較利用できることは非常に重要である。今回の実験は、各物質の NMR シフト／電気四重極分裂の圧力・温度依存性を詳細にルビー蛍光圧力計で評価しながら測定している。その結果、超高压 NMR 実験を実証しただけでなく、ルビー蛍光圧力計から NMR 圧力計へと圧力の「ものさし」の対応付けがなされている。歴史的にも、超高压などの極限環境の開拓は「ものさし」の開発と同時に進行されており、本研究の成果は今後の超高压 NMR 実験のスタンダードとして非常に大きな意義がある。

本研究で新たに開発された高压実験法は、超高压下の物質の電子スピン・磁気状態を微視的かつ高精度で観測する有力な実験手法として多くの研究者の注目を集めている。今後、高温超伝導体における磁性と超伝導状態など、強相関電子系の物性研究に大いに利用されることが期待される。

論文掲載誌： J. Phys. Soc. Jpn. **79** (2010) No. 2, p. 024001.

電子版：<http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/79/024001> (1月25日公開済)

<情報提供： 北川健太郎、瀧川仁（東京大学）>