

地球深部ダイナミクス研究センターの代表的装置・技術

A. センター設置装置・技術

1) 超高圧装置群

① マルチアンビル超高圧発生装置（住友重機械工業（株））
1000 トン駆動のキュービック型（ORANGE-1000）、2000 トン駆動の分割球型（ORANGE-2000）、3000 トン駆動の DIA 型（ORANGE-3000）の 3 機を備える（右写真は ORANGE-3000）。実験用途や必要圧力・温度条件による使い分けが可能で、高温高圧下での相平衡実験・物質合成・溶融実験・超音波測定などに用いる。



② 6000 トン駆動大容量超高圧合成装置（住友重機械工業（株））
世界最大級の 6000 トン駆動のマルチアンビル装置（BOTCHAN と呼称）。大容量の試料部（ 1cm^3 以上）への荷重が可能で、ナノ多結晶ダイヤモンドや新規材料の探索・合成を主に、他の高温高圧実験で用いる大容量の焼結体・単結晶の試料合成に用いる。



- ③ D-DIA 型超高圧変形装置（住友重機械工業（株））
④ DIA 型焼結ダイヤモンドアンビル超高圧装置（住友重機械工業（株））

それぞれ 1500 トン駆動で MADONNA-I, II と呼称。③は D-DIA（変形 DIA）型で、通常の DIA 型加圧機構に加え独立制御の上下二方向 D ラムにより、試料空間内での三軸変形実験を高圧力下で行うことが可能。岩石・鉱物の変形特性を測定し、マントルダイナミクスの解明に用いる。④は焼結ダイヤモンドアンビ



ルによる 100 万気圧級の超高压発生に用いる。

⑤ ダイヤモンドアンビル装置, DAC

先端を平らにカットした 2 個のダイヤモンドで試料を押し込む事により数百万気圧の高压を発生させる装置。マルチアンビル装置よりも試料容積は小さいが、地球中心を超える高压力が発生可能。Mao-Bell 型, クランプ式, 対称式など多数の装置を保有。



2) 微小試料分析装置

① 走査型電子顕微鏡（電界放出型）, FE-SEM-EBSD (JEOL, JSM-7000F)

10 万倍以上の高倍率の下での高分解能観察が可能な電子顕微鏡。高压合成鉱物の極微小領域の組織観察・化学組成分析に用いる。電子線後方散乱回折装置 (EBSD) も組み込まれ、結晶方位解析を通して多結晶材料の物性評価に使用。



② 走査型電子顕微鏡（熱電子銃型）, SEM-EDS (JEOL, JSM-6510LV; JEOL, JSR-1000)

微小試料の組織観察・化学組成分析に用いる。



③ 分析透過型電子顕微鏡, ATEM (JEOL, JEM-2010)

試料の微細組織観察や化学組成分析に用いる。表面組織観察の SEM と異なり、電子の透過・回折像から試料内部の組織・結晶構造分析が可能。



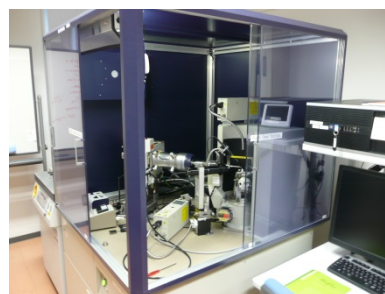
④ 集束イオンビーム加工装置, FIB (JEOL, JEM-9310FIB)

ガリウムイオンビームを試料に照射して断面観察用試料の加工を行う装置. 主に, ATEM 観察用薄膜作成に用いるほか, ビーム照射時の二次電子像 (SIM 像) を利用した試料観察, 特に, 極微小の DAC 試料の加工・観察に有用.



⑤ 微小領域 X 線回折装置 (Rigaku, RAPIDII-V/DW)

試料の微小領域からの X 線回折パターンを二次元検出器により測定する。Cu と Mo の 2 線源の切替が可能で、CuK α を用いた一般的な反射、透過測定に加え、透過力の高い MoK α と DAC の組み合わせによる高圧下 X 線回折測定に使用.



その他

- ・顕微ラマン分光装置, RAMAN (RENISHAW/JEOL, RS-SYS1000 ; PHOTON Design, RSM 800)
- ・顕微赤外分光装置, FT-IR (PerkinElmer, Spectrum One)



3) その他の特徴ある装置

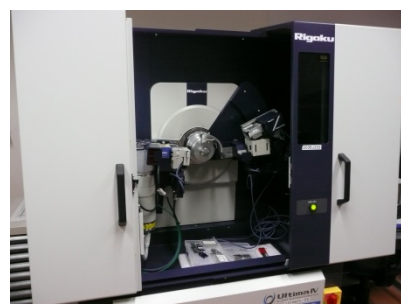
① 高圧下弾性波速度測定装置 (Tektronix, TDS 5104)

マルチアンビル装置に組み込み, 超音波振動を試料に与えて高圧下における試料の弾性波速度を測定する. 微小試料の精確な弾性波測定のための, 高周波発生器・電気信号-超音波変換器・オシロスコープからなる.



② 試料水平型多目的 X 線回折装置 (Rigaku, UltimaIV/DD)

粉末試料や薄膜試料の X 線回折パターンをゴニオメータを



用いて測定する装置。目的に応じ、基本光学系である「集中光学系」と「平行ビーム光学系」、「小角散乱光学系」の切替が可能。検出器には標準のシンチレーションカウンタの他に、高速・高感度測定が可能な高速一次元検出器「D/teX Ultra」を搭載している。試料の相同定、格子定数精密化に使用する。

③ DAC 用レーザー加熱システム

DAC により加圧された試料部にレーザー光を照射して効率的に加熱するレーザー加熱システム。試料に応じて、ファイバーレーザー（英 SPI LASER 社製 SP100-C、波長：1090 nm、最高出力：100 W）と、CO₂ レーザー（Synrad 社製、波長：10.6 μ m、最高出力：2 台合計 200 W）の 2 種類が選択可能。いずれも、試料部の温度勾配を抑制するために DAC 両面からの照射ができる。特に CO₂ レーザーは、5000 度を超える温度を生成でき、高圧下の試料の融解実験に用いられる。ルビー蛍光法による圧力測定装置も兼備。

その他

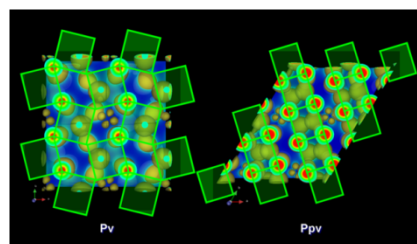
- ・紫外可視近赤外分光システム（日本分光（株）, Jasco V-670）
- ・CCD 形状観察装置（KEYENCE, VHX-2000）
- ・イオンスライサ（JEOL, EM-09100 IS）
- ・薄膜用微小領域ファイバーレーザー加工装置（日本オプテル（株）, FL-LM 01）
- ・ファイバーレーザー加工装置（MIYACHI, ML-7111A）
- ・ダイヤモンド研磨機（（株）シンテック, MCBS-320）
- ・超音波加工機（日本電子工業（株）, UM-150CS）
- ・大型 NC タッピング装置（Mectron, MTV-T310; KIRA, PCV-30）
- ・炉床開閉式高温雰囲気炉（中外プロックス（株）, ATCM50-100/1700, MAX 1700°C）
- ・小型管状炉（（株）ニッカトー, TS-4B06, MAX1850°C）

など

4) 数値計算用コード

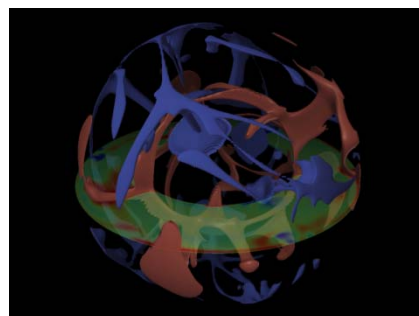
① 鉱物物性シミュレーションコード

量子力学に基づく第一原理電子状態計算法の理論シミュレーションを用いて超高温高圧状態下での物性を予測する計算コード群。多成分系を扱える多配置サンプリング法、鉄酸化物系を扱えるフォノン計算手法などの独自開発コードを含む。



② 数値流体シミュレーションコード

地球・惑星内部のダイナミクスを再現する数値流体力学・連続体力学に基づくシミュレーションコード群. 二次元箱型から三次元球殻まで, 種々の形体に応じた最適・高速実行のプログラムを独自開発するとともに, 地球シミュレータなど外部スーパーコンピュータでの使用コードも開発.

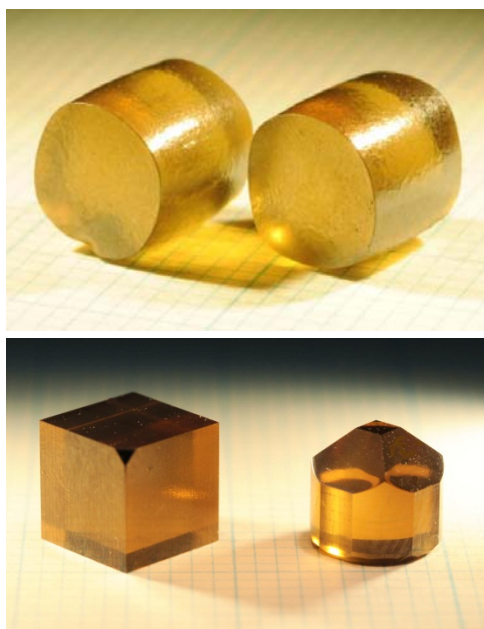


5) センター合成のナノ多結晶ダイヤモンド (ヒメダイヤ)

① 世界最硬物質「ヒメダイヤ」

ナノスケールのダイヤモンド結晶の集合体である「ヒメダイヤ」は 2003 年に合成に成功し, その硬度は天然ダイヤモンドを凌ぎ, 文字通り世界で最も硬い物質. 初期は 1mm 程度の大きさであったが, 技術開発・改良により, 現在では 1cm クラスを安定合成する事が可能となっている.

ヒメダイヤの高圧装置への応用: 大型化により, 種々の高圧装置への応用が可能になっている. ダイヤモンドアンビル, マルチアンビル, ドリッカマー装置など様々な高圧装置用での利用に対応したレーザー加工を共同利用・研究参加者の要請に応じて行い, さらなる超高压発生技術開発やヒメダイヤ使用高圧装置を用いた研究に供する.



B. センター所有外部機関設置装置・技術

1) 大型放射光施設 (SPring-8)

① 設置機器・技術

兵庫県佐用郡の大型放射光施設 SPring-8 の地球科学ビームラインに, センターで導入・調整した変形機構付きガイドブロックを移設している. 高温高压下での放射光その場変形実験が可能である. また, 弾性波速度測定装置も組み込まれ, その利用ノウハウも保持している.

