解説

SPring-8 高温構造物性ビームライン BL04B1

内海　渉[1*]，舟越　賢一[2]，浦川　啓[3]，入舩　徹男[4]，
田村　剛三郎[5]，乾　雅祝[5]，辻　和彦[6]，下村　理[1]
[1]日本原子力研究所放射光利用研究部，[2]高輝度光科学研究センター，[3]岡山大学理学部，
[4]愛媛大学理学部，[5]広島大学総合科学部，[6]慶應義塾大学理工学部

High Temperature Research Beamline (BL04B1) at SPring-8

Wataru UTSUMI[1], Ken-ichi FUNAKOSHI[2], Satoru URAKAWA[3], Tetsuo IRIFUNE[4],
Kozaburo TAMURA[5], Masanori INUI[5], Kazuhiko TSUJI[6] and Osamu SHIMOMURA[1]
*[1]Japan Atomic Energy Research Institute, [2]Japan Synchrotron Radiation Research Institute,
[3]Okayama Univ., [4]Ehime Univ., [5]Hiroshima Univ., [6]Keio Univ.*

The outline of the High Temperature Research Beamline (BL04B1) at the SPring-8 will be presented. In this beamline, white x-rays from a bending magnet are available, and two experimental stations are built in tandem. A large volume multi-anvil type high pressure apparatus and a small high pressure gas vessel are installed in each station. These facilities make it possible to carry out energy dispersive x-ray diffraction experiments under high-pressure and high-temperature conditions.

1.　はじめに

高圧をかけると，多くの物質は，1気圧下のときとは異なった結晶構造や物性を持つようになる。黒鉛が高圧下でダイヤモンドに変換することは，その典型例としてよく引き合いに出される。このような，圧力（しばしば温度も同時に）をパラメータにして物質の変化を，特にその構造面から調べようとする研究においては，放射光が大きな威力を発揮する。高圧実験においては，試料体積が本質的に小さいこと，試料が高圧発生機器や圧力媒体などに囲まれ，それらを通してしか試料をのぞけないこと，の2点が大きな原因となって，プローブに高エネルギー，高輝度のX線を必要とするからである。

放射光が利用できるようになってから，この分野の研究も質量ともに格段に進歩し，現在世界中の放射光施設で，高圧研究が活発に行われている[1,2]。一昨年秋に本格供用開始となったSPring-8においても，種々の高圧装置が稼働しているが，共用ビームラインとしては，BL04B1の高温構造物性ビームラインとBL10XUの高圧構造物性ビームラインにおいて，主たる実験が行われている。本稿では，マルチアンビル型装置とよばれる固体圧力媒体を用いた大容積加圧装置と，ガス圧を利用した高圧装置が設置されている，高温構造物性ビームラインの概要を紹介する。もうひとつの汎用高圧装置として広く用いられている，ダイヤモンドアンビル装置が利用されている高圧構造物性ビームラインについては，いずれどなたかによって詳細な解説記事が書かれることと思う。

2.　高温構造物性ビームライン（BL04B1）

SPring-8, BL04B1ビームラインは，高温構造物性ビームラインと名づけられた共用ビームラインで，偏向電磁石からの白色X線（10～150 keV）を利用する。前述のごとく，このビームラインで行われている実験は，「高温高圧」研究であるが，BL10XUと区別するために，「高温構造物性」の名で呼ばれている。光源から最後方の壁までの距離は約20 mである。ビームラインは，3つのステーションから構成されており，上流側からそれぞれ光学ハッチ，実験ハッチ1，実験ハッチ2に分かれている。偏向電磁石からの白色光をそのまま利用するため，フロントエンド部は，他のSPring-8偏向電磁石ビームラインBL01B1, BL02B1などとほぼ同じであるが，輸送チャンネル部には，ミラー，モノクロメーターなどがなく，真空機器の他には，固定マスク，水冷スリット，ビームモニターなどが設置されているだけの，単純な構成となっている[3)]。

タンデム型に配置された実験ハッチ1と実験ハッチ2

* 日本原子力研究所　〒679-5143　兵庫県佐用郡三日月町三原323-3
TEL　0791-58-1843　FAX　0791-58-2740　e-mail　utsumi@spring8.or.jp

(C) 1999 The Japanese Society for Synchrotron Radiation Research

には，それぞれ，高圧地球科学サブグループ，高温サブグループが主体となって設計製作した高圧装置が設置されており，どちらも高温高圧におけるエネルギー分散型のX線回折実験が行えるようになっている。以下には，それぞれのハッチに設置されている高圧装置について述べる。

3. 6-8型マルチアンビル高温高圧発生装置 SPEED1500

上流側の実験ハッチ1には，最大加重1500トンをかけられる大型高圧プレスを主とするマルチアンビル型と呼ばれる高温高圧発生装置と，それに付随するX線回折装置が設置されている[4,5]。大容積試料の加圧が可能なマルチアンビル装置（きいわーど参照）と放射光を用いた高温高圧その場X線観察実験は，日本が諸外国に先駆けて開拓してきた分野であり，フォトンファクトリーに設置された高圧装置MAX80, MAX90[6,7]によって大きな実績をあげてきたものである。SPring-8計画にあたって，フォトンファクトリーで蓄積された技術をどのような形で継承発展させていくべきか，サブグループ内で多くの議論がなされた結果，1段加圧を主要な使用法としてきたMAX80, MAX90に比べて，より高い圧力領域での実験を安定に行うことのできる，いわゆる6–8型と呼ばれる2段式加圧システム装置が導入されることとなった。

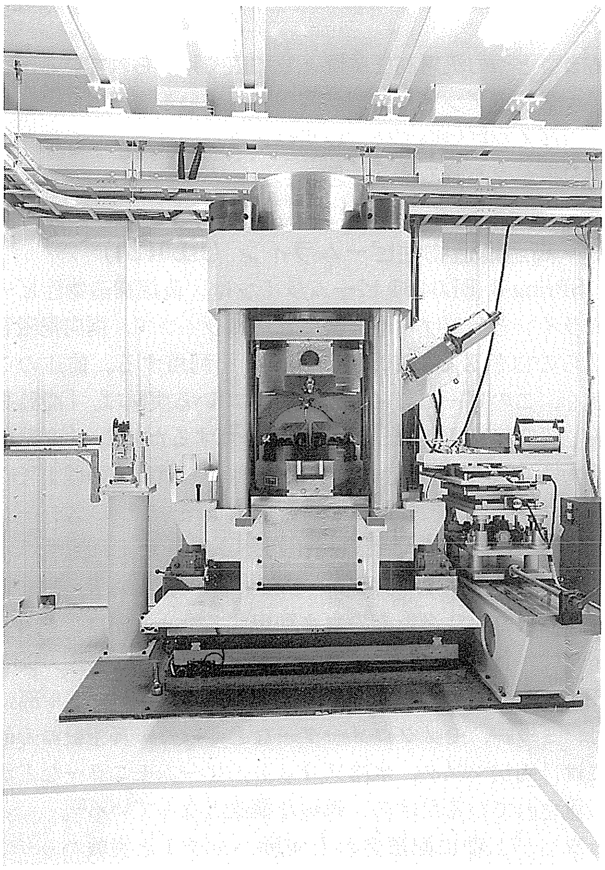

Figure 1. Multi-anvil type high-pressure apparatus, SPEED–1500, installed at BL04B1 beamline.

図1が，設置された装置の外観写真である。装置の高さは3 m，総重量は約20トンある。本装置の基幹となる高圧発生部は，4本柱で支持された油圧式の大型プレスで，最大で1500トンの荷重をかけることができる。通常プレスは，1軸方向（この場合上下方向）に材料を圧縮するだけであるが，この装置は，うまい方法で，上下の力を8方向の力に分解し，試料を3次元的に圧縮できるようになっている（**図2**）。プレスには，マレイジング鋼あるいは，超硬合金製のDIA型第1アンビルと呼ばれるものが6個（上下にそれぞれ一個，水平方向に4個）設置されており，水平に設置された4個は，ガイドにそって中心に向かって動くようになっている。**図2**では，6個の第1アンビルのうち，3個のみが描かれている。この6個の第1アンビルで形成される立方体空間内に，1つの頂点を落とした8個の立方体形状の第2アンビル（超硬合金あるいは，焼結ダイヤモンド製）を組み合わせたものが置かれる。第2アンビル群で形成される正八面体空間に，試料を詰めた正八面体形状の圧力媒体（一辺の長さは空間のそれより若干大きめ）を置いて，プレス荷重をかけると，第1アンビルが中心に向かって進み，それにつれて，第2アンビルが圧力媒体を通して試料を8方向から均等に加圧することになる。圧力媒体には，半焼結した酸化マグネシウムなどが用いられ，黒鉛などのヒーターをこの中に組み込むことにより，高圧と同時に高温も発生させることができる。このタイプの大型高圧装置は，6–8型装置と呼ばれており，その原形は大阪大学で開発されたものであるが，現在世界中の高圧地球科学系の研究室で用いられるようになっているものである。6–8専用高圧装置が放射光の実験ステーション内に設置されたのは，勿論SPring-8が世界で最初である。

X線回折を行うための光学系は，入射光学系部と垂直受光光学系部ならびに水平受光光学系部からなる。入射光学系部には，厚さ10 mmのタングステン合金製の固定スリットが設置され，所定の大きさの入射ビームに整形される。受光光学系部は，垂直ならびに水平のゴニオメーターであり，それぞれのアーム上には，コリメーター，スリット，ゲルマニウム半導体検出器が搭載される。ゴニオメー

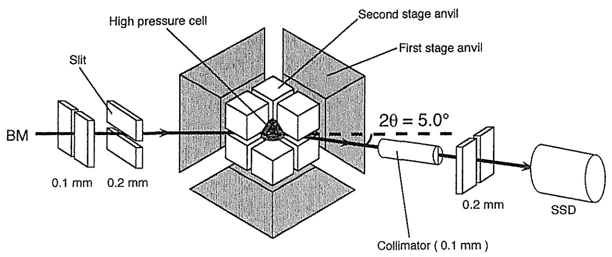

Figure 2. Conceptiual design of 6–8 double stage high pressure system.

ターの可動範囲は，垂直方向で±25°，水平方向は，−5°〜+15°である。**図2**には，水平光学系を用いた際のX線のパスも示してあるが，入射スリットで0.1 mm×0.2 mm程度に絞られた放射光が，第1，第2アンビルの隙間を通って圧力媒体に封じ込まれた試料に到達し，試料からの回折散乱X線が，再びアンビルの水平隙間を通って，コリメーター，スリットを経て半導体検出器によって収集される様子がご理解いただけると思う。今のところこの装置は，当ビームラインに固定であるので，利用できるX線は白色光のみであり，したがって，エネルギー分散法による粉末X線回折実験が主たる測定法となっている。実験に応じて，高圧試料ならびに回折系を放射光位置に合わせるため，プレスならびに各回折系は，それぞれxyzステージの上に搭載されており，これら各ステージは，サーボモーターあるいはパルスモーターにより遠隔自動操作される。すべての軸の移動量は，マグネスケールにより読み取られ，コンピュータによる帰還制御により，1 μm単位での位置制御が可能になっている。

図3は，先端1.5 mmの超硬アンビルを用いた際のプレス荷重と圧力媒体中に発生した圧力との関係である。圧力測定は，圧力媒体中に埋め込んだNaCl試料の格子定数をX線回折実験により求め，すでに知られているNaClの状態方程式[8]により決定する。この結果から，本高圧装置を用いて，超硬アンビルで30 GPa近い圧力発生が可能であることがわかる。また，超硬よりさらに硬度の高い（価格も高いが）焼結ダイヤモンドをアンビル材として用いることで，40 GPa以上の圧力発生が可能であることも確認されている。実験目的により，アンビル材料や先端サイズを変えて，実際の実験は行われる。温度に関しては，黒鉛や，

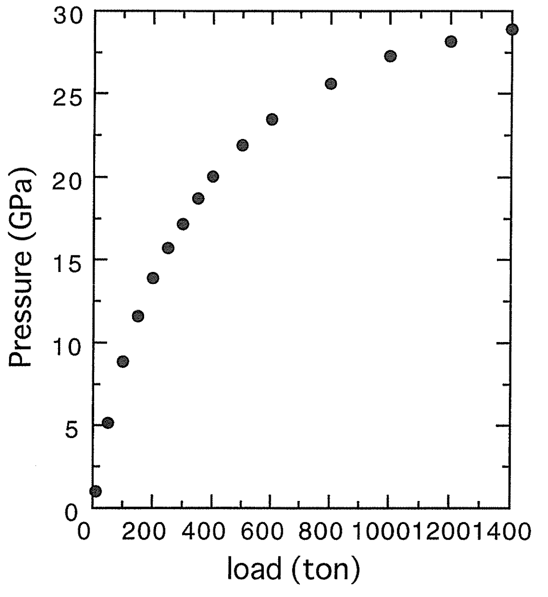

Figure 3.　Pressure generation curve by SPEED1500 as a function of applied load. Tungsten carbide anvils with the edge truncation size of 1.5 mm is used.

TiC, $LaCrO_3$等のヒーター材を圧力媒体中に組み入れることで，試料を高圧下で2000℃程度まで安定に加熱することができる。

平成9年10月の共用開始以来，同装置はほぼ順調に稼働しており，種々の試料の高温高圧条件下での粉末X線回折実験が行われている。実験条件によるが，一定の圧力温度条件下で，1つの回折線プロファイルを得るのに必要な時間は，30〜600秒くらいである。しかしながら，通常の実験においては，試料位置探し，圧力・温度の上昇下降に割かれる時間などが圧倒的に長く，1つのサイクルの実験に2日以上かかることも珍しくない。なお，この装置は，SPring Eight Energy-Dispersive Device with a 1500 ton pressの頭文字をとってSPEED1500という愛称で呼ばれている。

4.　マントル物質の高温高圧X線実験

SPEED1500を用いてこれまで行われた研究から，地球内部マントル物質のポストスピネルと呼ばれる構造相転移を高温高圧その場観察した研究を紹介する[9]。地球内部は，高温高圧の世界であり，高温高圧実験は，地球内部を研究するために非常に重要な役割を担っている。地球深部物質は直接手に入れることが非常に困難であるので，地球深部構造の研究においては，地球内部に対応する温度圧力を実験室内に再現して，地球構成候補物質の結晶構造や物性の変化を測定し，これを地震学や地球物理学などにより得られる情報と比較して，地球内部の様子を推定するという手法がとられる。

図4は，地球内部の構造を模式図的に示したものである。地球内部を説明するのに，よく玉子がたとえに出されるが，玉子の殻にあたる部分が地殻と呼ばれる表面付近の薄い層，白身の部分がマントル，黄身の部分が中心部の核である。さらにマントルは，深さ410 kmおよび660 kmを境界面として，上部マントル，マントル遷移層，下部マントルの3つの領域に分かれている。これらの境界は，地震波の伝わり方（速度）がこれらの境界で不連続な「とび」を生ずることにより，その存在が知られているものである。特に，660 kmの境界面は，マントル中最大の地震波速度不連続面であり，その原因を明らかにすることは，マントルの化学組成と形成過程，沈みこむプレートの行方，上昇するプリュームの運動，深発地震の成因等の解明に深く関連することから，地球科学上の第一級の問題とされている。

マントルは，さまざまな鉱物によって構成されているが，その中で最も体積を占めているとされているのがカンラン石（Mg_2SiO_4）である。上記マントル中の2つの不連続面は，このカンラン石の結晶構造が，圧力によって変化（構造相転移）することによって生じているとするのが，現在の地球科学における通説となっている。すなわち，カンラン石は，410 kmの深さに対応する圧力で，オリビン

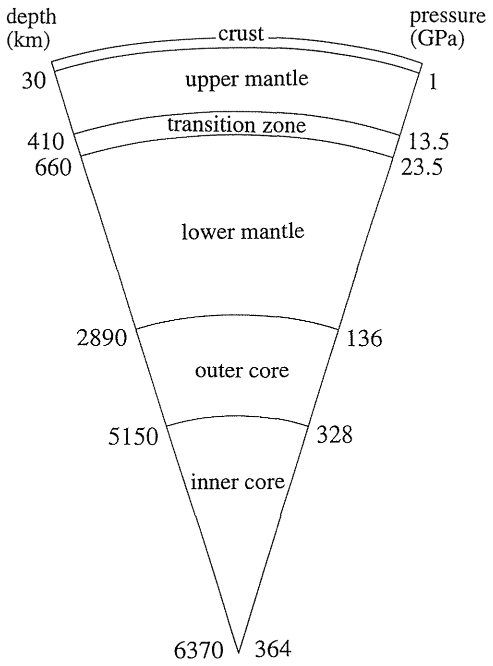

Figure 4.　Cross section of the Earth's interior.

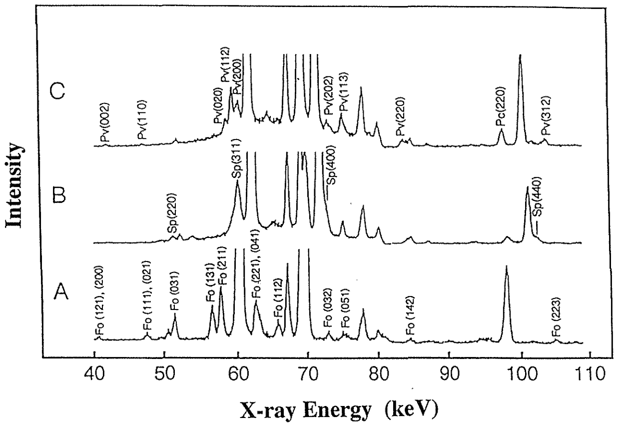

Figure 5.　Variation of the x-ray diffraction profiles of the sample under various high pressure and high temperature conditions. The starting material at ambient condition was olivin (A). The spinel phase grew under high pressure and high temperature condition (B) and a mixture of perovskite and periclase was observed at higher pressures (C). Fo: Mg_2SiO_4 olivin, Sp: Mg_2SiO_4 spinel, Pv: $MgSiO_3$ perovskite, Pc: MgO periclase.

構造と呼ばれる結晶構造からスピネル構造と呼ばれるものへ変化する。さらに660 kmに対応する圧力で，スピネル構造のカンラン石は，Mg_2SiO_4（スピネル構造）→$MgSiO_3$（ペロフスカイト構造）＋MgO（岩塩構造）のように，2種類の鉱物に分解することがわかっている。これらの結晶構造変化が地球の内部でも起きており，それがマントルの不連続面の原因だ，とするものである。

しかし，従来の研究では，特に後者のスピネルの分解相転移に関しては，その圧力値決定を間接的な方法に頼らざるをえなかったため，転移境界を精度よく決定するにはいたっておらず，この境界のX線直接観察による精密決定が，長い間待ち望まれていた。SPEED1500は，このスピネル分解相転移を起こさせるのに十分な高温高圧を発生させることができ，かつSPring-8の強力な放射光を用いて，その相転移の様子を直接観察することができることから，この実験にまさにうってつけの装置であった。

図5に，得られた試料のX線回折パターンの例を示す。カンラン石（Mg_2SiO_4）の粉末と金の粉末が高圧容器内に入れてある。温度は，高圧容器内に差しこんだ白金–ロジウム熱電対により測定し，圧力は，金のX線回折線からその体積を計算し，既に確立されている金の状態方程式から決定した。Aでは，常温常圧のカンラン石（オリビン構造Fo）の回折線が金のそれとともに観測されている。試料に温度と圧力を加えていくと，Bに見られるようにカンラン石はすべてスピネル構造（Sp）に相転移した。一方，Cは，約22万気圧，1500℃の高温高圧下で得たデータであるが，この条件では，ペロフスカイト構造の$MgSiO_3$（Pv）と岩塩構造のMgO(Pc)の回折パターンのみが得られ，スピネル構造のカンラン石は完全に分解していることが分かる。

一度の実験において，圧力・温度条件をさまざまに変えて，このようなX線回折パターンを得ることができ，それぞれの条件で存在する相を同定することができた。一方，これと同時に，金の回折線情報から圧力を精度良く決定される。このような手法で決定されたスピネルの分解相転移境界が図6である。この境界が多くの温度圧力条件での観察に基づいて，大変良く決定されていることが分かる。この境界線の傾き（dT/dP）は，これまでに推定されていた値とほぼ一致しているが，境界の位置については，従来の値と大きく異なり，同じ温度では，2万気圧以上も低圧側になることがこの実験の結果として得られた。

この実験，特に2万気圧以上も低圧側にずれているという測定結果は，地球科学研究者に大きな波紋を投げかけている。上述したように，マントル内部の最大の不連続面である660 km不連続面は，これまでスピネル構造のカンラン石の分解相転移に起因するとされてきた。しかし，今回の放射光を用いた実験結果は，この説に根本的な疑問を投げかけるものとなっている。660 km不連続面の圧力は，約23.5万気圧とされているので，もし，この不連続がこの相転移に起因するとすると，**図6**からわかるように，この不連続面でのマントルの温度は1000℃よりはるかに低い温度でなければならない。ところが，平均的なマントルの温度はこれほど低いとは考え難く，660 km不連続面の原因をこの相転移ではうまく説明できないことになってしまう。逆に，常識的なマントル温度を想定すると，スピネル分解転移は約600 kmの深さで起こることになるが，そのような深さでは地震波の不連続は観測されていない。したがって，本結果を地球内部に直接あてはめると，マン

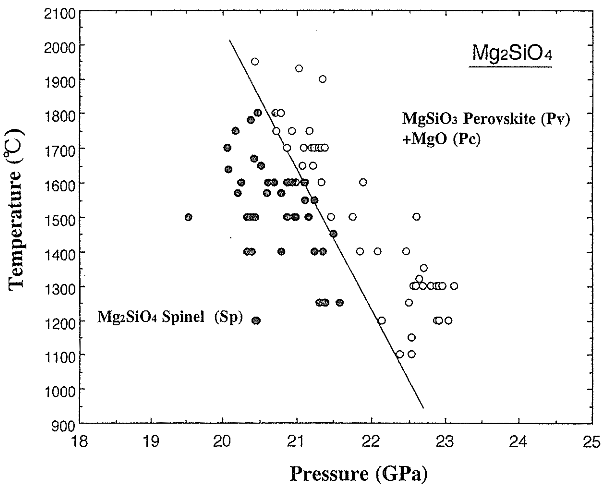

Figure 6. Phase boundary bewteen the spinel and perovskite+periclace phases obtained by the experimental results with SPEED1500.

トル遷移層にはカンラン石がほとんど存在しないことになってしまい，660 km 不連続面の存在は，スピネル分解相転移以外（例えば化学組成の不連続的変化）にその原因を求めねばならなくなってしまう。

この結論はこれまでの地球科学の常識とあまりにも大きく異なっているので，そのままでは受け入れ難いとする意見も多く，Mg_2SiO_4 以外の鉱物元素についての実験や，金の圧力スケールとしての問題点の見直しなど，さらに詳細な研究が引き続き進められているところである。今後の進展にもSPEED1500が重要な役割を果たし，さらに精密な実験が行われていくであろう。この研究は，愛媛大学の入舩研究室を中心として，SPring-8 のスタッフ，全国の高圧地球科学研究機関の協力のもとに行われたものである。

5. 流体X線回折用高圧装置

BL04B1 ビームラインの下流側の実験ハッチ2には，水銀，セレンなどの超臨界流体構造を研究するための，流体X線回折用高圧容器ならびに付随するX線回折系が設置されている。上流の実験ハッチ内設置の高圧装置との違いは，こちらは，ガスを圧力媒体として用いるというところにある。

日本は，高圧ガスの取り扱いに関する法律が非常に厳格であり，ガス圧を利用した高圧装置を製作設置しようとすると，その許可をとるだけで多大な努力と費用を要するため，研究室レベルで同種の装置を入れるのに非常に大きな障害となっていた。日本における超臨界流体研究のレベルが非常に高いにもかかわらず，これまで，フォトンファクトリーでは，同種の実験が不可能であり，研究者はわざわざ，ESRF での実験を余儀なくされていたのである。（ES-RF においては，不活性ガスの場合，高圧容器の容積（リットル）と最大圧力（bar）の積が80を超えない限り，特別な規制はない。このあたりの事情については，細川氏が記述しておられる[10]。）SPring-8 において，同種の装置を設置するにあたり，まずこの高圧ガス保安法にもとづく，種々の法申請をクリアする必要があった。X線窓として用いられるベリリウム窓材の強度など多くの問題があったが，幸い，通産省（ならびにその外郭団体である高圧ガス保安協会）の技術基準特別認可（特認）が認められ，装置の製作許可を得ることができた。また，兵庫県への装置設置届けも受理され，SPring-8 が第2種高圧ガス製造事業所の認定を受けた。こうして，晴れて高圧ガスを用いた実験が，BL04B1 ビームラインで可能となった。現在のところ，1500℃, 1500 bar 以上の臨界点をもつ超臨界金属流体の構造研究が可能な世界で唯一のビームラインである。

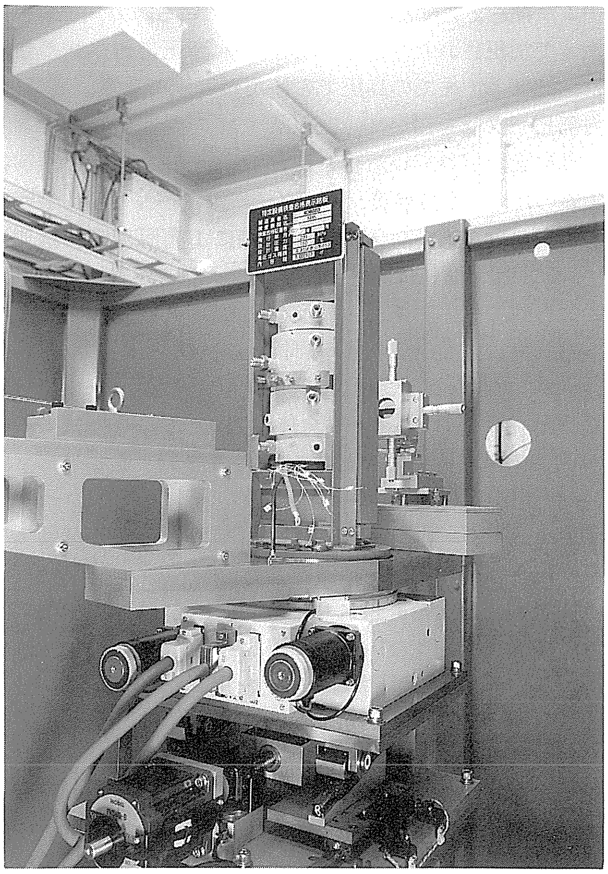

Figure 7. High-pressure gas vessel with an x-ray diffractometer installed at BL04B1 beamline.

図7は，実験ステーション内に設置された装置の外観である。回折計上に搭載された高圧容器本体が見える。手前に張り出している部分は，ゲルマニウム半導体検出器が搭載される 2θ アームである。高圧容器は，圧力容器，プレスフレーム，ガス圧縮機ならびに制御盤などからなる。圧力容器は，外形 ϕ105 mm，内径 ϕ50 mm のシリンダーおよび上蓋，下蓋からなり，高圧ガス空間は $\phi50\times70$ mmH ある。この圧力容器がプレスフレーム内に設置され，圧力が高まるにつれて上下蓋にかかる力をプレスフレ

ームが押さえ込むという機構になっている。ガス圧縮機によって加圧されたヘリウムガスが，高圧容器へ送りこまれ，2000 bar までの高圧での使用が可能である。高温は，内部ヒーターを用いて，1650℃までの温度が発生できるように設計されている。また，放射光を用いたX線回折実験のため，圧力容器シリンダーには，ベリリウム窓がいくつか設けてある。入射ビーム側に1箇所，回折線側には，5°, 10°, 20°, 33°の位置に 1 mmϕ の穴があけてあり，これらに，ベリリウムがはめ込まれている。

高圧ガス容器を搭載する回折計は，汎用の θ-2θ の水平2軸ゴニオメータである。試料位置を放射光ビームに合わせるために，ゴニオメータ全体がステージにのっており，y軸，z軸のそれぞれ±10 mm の並進移動，ならびにy軸の回りの±2°のあおり機構を有している。入射ビームは，厚さ1 mm の炭化タングステン板を用いた4軸可動スリットにより整形され，試料からの回折線は，2θ アーム上に設置された4軸可動スリットを経て半導体検出器に入る。高圧地球科学ステーションにおける実験と同じく，ここでも白色X線と半導体検出器を用いたエネルギー分散法による回折実験が行われる。

高圧ガス保安法の定めるところにより，高圧ガス装置の設置にあたっては，所定の防護壁を設けなくてはならない。本装置は，SPring-8 において最初に使用されるガス圧装置であるので，特に安全面で細心の注意を払うこととし，法律により要求される基準以上の防護壁を設けることにした。このため，放射線防護のための鉛実験ハッチとは別に，さらにその内側に，高圧容器ならびにガス圧縮機を囲う形で5 mm 厚の鉄板製の防護壁を設置してある。このため，この実験ステーションは，2重のハッチの中に装置が設置されているように見える。

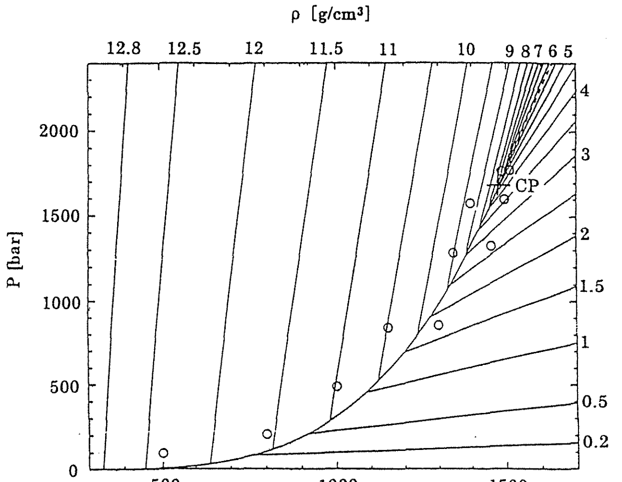

Figure 8. The density isochores of fluid Hg plotted in the P–T plane. Solid line indicates the saturated vapour-pressure curve. Circles show the P–T points where x-ray diffraction measurements were made.

この装置は，高い臨界点をもつ流体の構造変化を直接観察することを主な目的として設計されたものであるが，現在までにほぼ当初の目的通りの性能を発揮することができており，水銀およびセレンの実験が行われている。水銀の場合（臨界点：1470℃, 1673 bar），飽和蒸気圧曲線にそって1520℃, 1775 bar にいたるまで温度圧力を変化させてデータが得られた（図8）。この時，水銀の密度は13.55 g/cm^3 から1.8 g/cm^3 まで変化したことになる。得られたX線回折プロファイルからそれぞれの温度圧力における干渉関数が求められ，密度減少と配位数変化についての新しい知見が得られている[11]。

6.　おわりに

SPring-8 では，本稿で紹介した高圧装置以外に，原研偏向電磁石ビームライン（BL14B1）において，六方押しマルチアンビル装置ならびにドリッカマー型と呼ばれる対向アンビル型装置が稼働中である。また，パリエジンバラ型と呼ばれる装置は，小型軽量であることを生かして，いろいろなビームラインを渡り歩いて実験が行われている。さらに，ダイヤモンドアンビルも高圧構造物性ビームラインにとどまらず，多くのビームラインで用いられるようになっている。このように多くの高圧装置が実験目的に応じて，SPring-8 で用いられているが，本稿で述べた2つの高圧装置は，いずれも日本が諸外国に先駆けて開発してきたものであり，独自性を十分に発揮できるものである。高温構造物性ビームラインから，今後も引き続き，多くの優れた成果が出てくることをおおいに期待している。

本ビームラインの建設・運営は，原研・理研共同チームならびに高輝度光科学センターのビームライン・利用促進各部門の方々の手によって行われてきているものである。また，それぞれの実験ステーションに設置の高圧装置は，高圧地球科学サブグループ，高温グループの有志メンバーによって，設計製作立ち上げが行われた。著者リストに載せることのできなかった各位に，深く感謝の意を表したい。

参考文献

1) D. Hausermann and M. Hanfland: High Pressure Research **14**, 223 (1996).
2) Y. Wang, M. Rivers, S. Sutton, P. Eng, G. Shen and I. Getting: Rev. High Pressure Sci. Technol. **7**, 1490 (1998).
3) SPring-8 beamline handbook.
4) W. Utsumi, K. Funakoshi, S. Urakawa, M. Yamakata, K. Tsuji, H. Konishi and O. Shimomura: Rev. High Pressure Sci. Technol. **7**, 1486 (1998).
5) 舟越賢一，内海　渉：鉱物学雑誌 **27**, 5 (1998).
6) O. Shimomura, S. Yamaoka, T. Yagi, M. Wakatsuki, K. Tsuji, H. Kawamura, N. Hamaya, O. Fukunaga, K. Aoki and S. Akimoto: "Solid State Physics under Pressure", Terra Sci. Pub. Co. Press., p351 (1985).
7) O. Shimomura, W. Utsumi, T. Taniguchi, T. Kikegawa and

T. Nagashima: "High Pressure Research in Mineral Physics" Y.Syono ed., p3 (1992).
8) D. L. Decker: J. Appl. Phys. **42**, 3239 (1971).
9) T. Irifune, N. Nishiyama, K. Kuroda, T. Inoue, M. Issiki, W. Utsumi, K. Funakoshi, S. Urakawa, T. Uchida, T. Katsura and O. Ohtaka: Science **279**, 1698 (1998).
10) 細川伸也：放射光 **11**, 317 (1998).
11) K. Tamura, M. Inui, I. Nakaso, Y. Oh'ishi, K. Funakoshi and W. Utsumi: J. Phys.: Condens. Matter **10**, 11405 (1998).

きいわーど

マルチアンビル装置

アンビル (anvil) とはもともとは，鍛冶屋で用いる鉄床のことであるが，高圧発生装置においては，頭部を落とした円錐形または，角錐形の台座のことを言う。このアンビル頭部を用いて，圧力媒体を機械的に押し込むことによって高圧を発生させる。圧力の集中するアンビル頭部に比べて底面を大きくとることによって，荷重に耐えられるようになっており，アンビル材料の圧縮強度以上の圧力を発生させることができる。2個のアンビルを対向させて1軸プレスで使用するのがoriginal形であるが，アンビル個数を，4個，6個，8個と増やして，3次元的な試料空間を取れるようにしたものがマルチアンビル装置である。アンビル材料としては，超硬合金（炭化タングステン）が用いられることが多い。ちなみに，アンビル材料として2個の単結晶ダイヤモンドを用いたものがダイヤモンドアンビル装置である。

ポストスピネル相転移

地球マントルを構成する主成分であると考えられているかんらん石 $(Mg, Fe)_2SiO_4$ に見られる圧力誘起構造相転移。常圧では，かんらん石は，オリビン構造をとるが，11 GPa以上の高圧下でオリビン構造→変形スピネル構造→スピネル構造へと転移し，この転移がマントル遷移相における密度と地震波速度の急変の主原因である。スピネル構造がさらに高圧下でどうなるかがポストスピネル問題であり，これまでの高圧実験の結果，ペロフスカイト構造の $(Mg, Fe)SiO_3$ と岩塩構造の $(Mg, Fe)O$ に分解することが分かっている。この相転移が，マントル遷移相と下部マントルの境界である660 km不連続に対応するものと考えられている。