

「SACLA 利用装置提案課題」

報告書 2 (研究内容)

(責任者) 中迫雅由 慶應義塾大学 理工学部 物理学科 教授

(参画者) 山本雅貴 理化学研究所・播磨研究所

放射光科学総合研究センター・基盤研究部 部長

米倉功治 理化学研究所・播磨研究所

放射光科学総合研究センター 准主任研究員

他

1. 装置提案の目的と目標

1.1. 本課題の目的

X線自由電子レーザーのバイオサイエンス分野利用では、結晶化が絶望的または原理的に不可能な百ナノメートル～ミクロンサイズ生体非結晶粒子についてのナノメートル分解能立体構造解析や、サブミクロン結晶の回折強度データ収集に期待が寄せられているところである。留意すべきは、XFELパルスが60 Hz周期でしか発生しないことであり、その利用実験においては、連続分子・粒子ビームなどのように試料を無駄に浪費することなく、希少な試料粒子を照射野に導入して、確実なX線照射を可能とする装置が必要不可欠である。

平成18年度に実施されたXFEL利用推進課題「バイオタスクフォース」での調査を受け、平成19-22年度には、そのような実験を実現可能な装置として、凍結試料を極低温に保持して歩留まりよく照射野に導入するためのクライオ試料固定照射装置2台を開発し、高度化を行ってきた。これらの装置は、予め低温凍結固定した生体試料を、液体窒素または液体ヘリウムで冷却された試料台に自動搬送・装填し、高精度ゴニオメータで操作して照射実験を行うもので、入射X線パルス間隔から生じる実験上の制約に適合した測定を可能とする。平成22年度の高度化中に実施した一部ユーザー実験などを通じて、幾つかのアタッチメントを付加することで、効率的な共用実験が可能となることが明らかとなってきたところである(中迫、山本 生物物理 (2011))。

本課題では、開発・高度化を行ってきた生体単粒子解析用クライオ試料固定照射装置にアタッチメントを付加し、より使いやすい装置として整備・完成させることを第一の目的とする。また、XFEL 利用実験とはどんなものか、何が難しいのかなどを経験しながら蓄積してゆくことが不可欠であることから、調整実験を通じて、生体非結晶粒子のナノメートル分

解能での立体構造解析や、サブミクロン生体分子結晶の回折強度データ収集などについて、実験スキームの確立を図り、供用開始時の円滑な利用実験を可能としたい。

1.2. XFEL 供用開始後の利用研究における効果

2 台の「生体単粒子解析用クライオ試料固定照射装置」が、供用時のユーザー利用に対応可能なアタッチメント付加などを通じて整備・完成すれば、低温条件下でのミクロン、サブミクロンサイズの生体・材料単粒子のナノメートル分解能構造解析、サブミクロン生体分子結晶の X 線回折強度データ収集などを円滑かつ効率的に実施するための技術基盤が確立されることとなる。また、調整実験を通じて、実験装置の調整・実験・解析手順についての経験を蓄積することで、共用実験への指針や筋道を提示することができる。さらには、これら 2 台を XFEL 施設と SPring-8 において相補的に利用することで、限られた XFEL 利用時間内で最大限の効果をあげることが可能となる。

1.3. どのようなニーズを踏まえ装置整備を行うか

生体分子単粒子解析用クライオ試料固定照射装置は、低温条件下でミクロン、サブミクロンサイズの生体・材料単粒子のナノメートル分解能構造解析、サブミクロンタンパク質結晶の X 線回折強度データ収集などの円滑かつ効率的な実験を可能とする。

タンパク質結晶学や電子顕微鏡分野からの生物系一般ユーザーの多くは、物理・工学系の基礎知識に乏しく、試作実験装等の取り扱いにも不慣れである。このような事情を鑑みた場合、取り扱いの容易な装置を完成しておくことが共用化には不可欠である。極めて簡単な試料操作と、可能な限り情報量を低減させた制御用ユーザーインターフェースを用意する必要があると推察される。この点については、SPring-8 の BL26、BL32、BL38、BL41 等における生物系一般ユーザー対応を範とするとともに、調整実験においては、当該分野の潜在的ユーザーを課題グループに取り込み、システムとしての装置全体の完成度と、製作者側が見落としているような脆弱性を検証する予定である。

1.4. 課題終了時の具体的な達成目標

XFEL 利用推進課題により開発・高度化を行ってきた 2 台の「生体単粒子解析用クライオ試料固定照射装置」にアタッチメントを付加して共用ユーザーがより使い易い実験装置として整備・完成させることを第一の目標とした。さらに、調整実験を通じて、生体非結晶粒子のナノメートル分解能での立体構造解析や、サブミクロン生体分子結晶の回折強度データ収集などについて、供用時の円滑な共用実験を可能とする。

2. 装置提案内容

2.1. クライオ試料固定照射装置壺号機（通称：壺号）の現状と提案内容

壺号機は、予め低温凍結した生体試料を液体窒素または液体ヘリウムで冷却された試料台に自動搬送・装填し、凍結固定試料を高精度ゴニオメータで操作しながら低温下での回折実験を行うことが可能である。液化ガスは無振動方式のクライオスタットから供給される（図1）。装置全体は堅牢な定盤に設置しており、X線ビームに対して高精度に位置調整が可能である。本装置には、大阪大学の山内グループが利用推進課題で製作している集光光学系との接続部品と、集光光学系から生じる寄生散乱除去スリットが既に組み込まれている。また、回折角 35°までの回折パターンを観測可能な下流フランジを有する。低温凍結試料を液体窒素中で取り扱う際の操作治具等についても試作・試用を行ってきた。

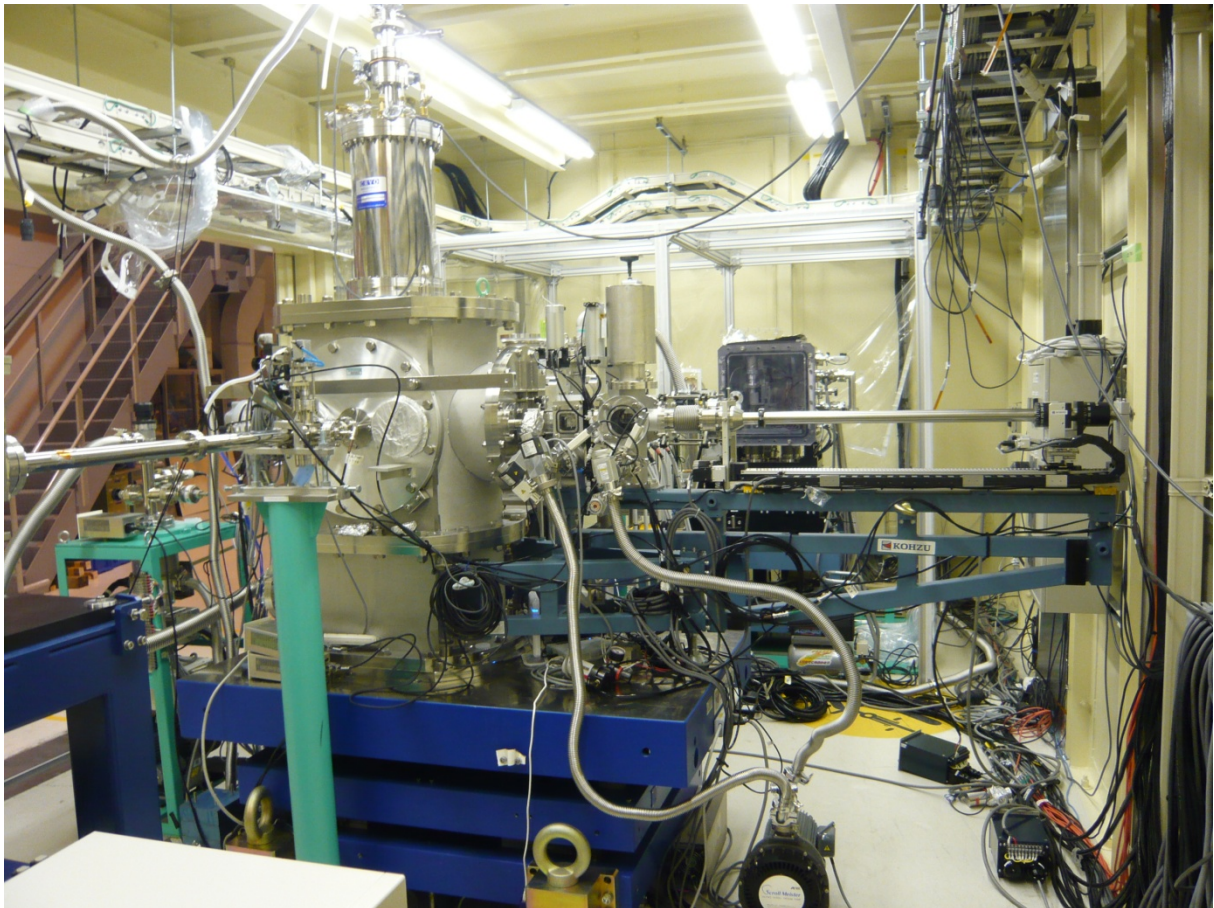


図1 SPring-8 BL29XUL 第二実験ハッチにてX線回折イメージング実験中の壺号

本課題では、供用時のユーザー利用に対応するため以下のアタッチメント等を設計し、製作・動作試験を行うとともに、供用実験のためにローダー位置を現在の方向から反転させ、

試料装填でのアクセスを改善することとした。

アタッチメント等内訳

- 1A) クライオ試料固定照射装置用簡易操作型試料ローダー（通称：風鈴火山）
- 1B) 大角度トモグラフィー実験用液化ガスポットと試料ホルダー
- 1C) ローダー位置方向反転による試料装填でのアクセス改善
- 1D) 制御、データ処理、位相回復ソフトウェアの製作

2.2. クライオ試料固定照射装置弐号機（通称：御柱弐号）の現状と提案内容

弐号機は、予め低温凍結した生体試料を液体窒素または液体ヘリウムで冷却された試料台に自動搬送・装填し、小型の極低温対応ナノポジショナーで操作しながら低温下での回折実験を行うことが可能である（図2）。液化ガスは無振動方式のクライオスタットから供給される。回折角 35°までの回折パターンを観測可能な下流フランジを有するが、壱号機に比較して小型であり、移動が容易である。低温凍結試料を液体窒素中で取り扱う際の操作治具等についても試作・試用を行ってきた。

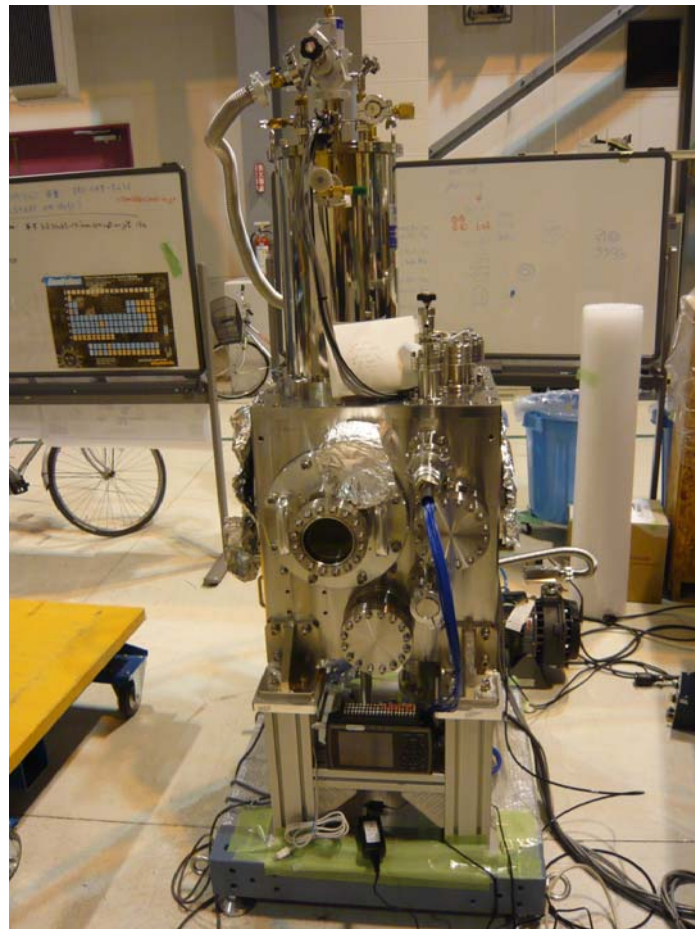


図2 SPring-8 BL26 付近にて低温試験中の御柱弐号

供用時のユーザー利用に対応するため以下のアタッチメント等を設計し、製作・動作試験を行う。

アタッチメント等内訳

2A) 番号機搭載型スリット光学系装置

2B) 位置調整用精密定盤

2C) 一般生物系ユーザーを想定した制御ソフトウェアの製作

2.3. 番号機を用いた調整実験

XFEL 利用実験とはどんなものか、何が難しいのかなどを経験しながら蓄積してゆくことが不可欠であることから、番号機を用いた SACLA 利用調整実験を実施する。調整実験では、装置設置や操作手順の確立を行いつつ、生体・ナノ材料試料粒子に対する X 線回折実験を経験し、供用実験に向けた実験スキームの確立を図るとともに、装置全体の完成度と脆弱性を検証する。

調整実験実施に向けたアタッチメント等内訳

3A) 番号機を SACLA へ運搬・再組立

3. 実施内容

3.1. クライオ試料固定照射装置番号機（番号機）

供用時のユーザー利用に対応するため以下のアタッチメント等を設計し、製作・動作試験を行うとともに、供用実験のためにローダー位置を現在の方向から反転させ、試料装填でのアクセスを改善した。

3.1.1. クライオ試料固定照射装置用簡易操作型試料ローダー（通称：風鈴火山）の開発

クライオ試料固定照射装置では、低温凍結試料ホルダーを温度上昇や結露無く大気中から真空中に装填し、液化ガスで冷却した試料台に自動搬送する。真空中への装填には、特別に設計したローダーを用いてきたが（図 3）、これまでの高度化実験を通じ、その部品が、手荒な操作に対して脆弱性を持つことが明らかとなった。このため、ユーザーに応じた装填方法を提供できるように、これまでとは異なる構造と操作方式を兼ね備えたローダーを用意し、効率的な装置利用環境を整備しておく必要が生じた。

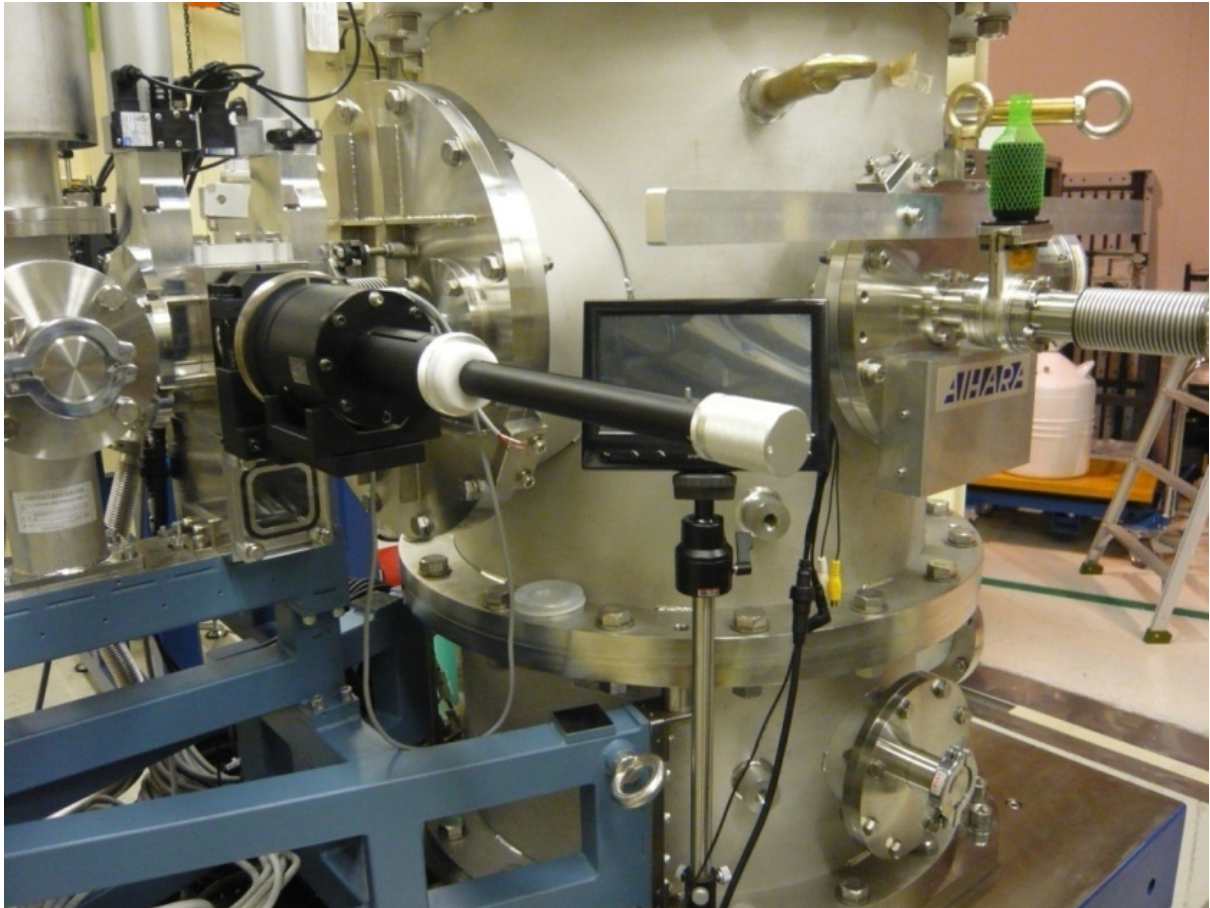


図3 壽壱号の従来型試料ローダーと装填操作用タッチパネル式コントローラー

本簡易操作型試料ローダーは、従来ローダーに比較して、取り扱いが容易で、手荒な操作に対して損耗の少ない部品を使用するとともに、操作慣熟訓練も不要とする。その構成は、低温凍結試料ホルダー受け渡し固定具とそれを支える可動式支柱、ホルダーへの結露を防止するための蓋等とする。本ローダーは、現用ローダー装填チャンバ上部に専用のアダプターを介して接続するため、現用チャンバの改良を必要としない。また、液体窒素中での低温凍結試料ホルダー装着操作のために、本ローダー専用の操作用容器を用意する（図4）。

本ローダーを試料装填オプションとすることで、様々なユーザーに対する照射装置の強靱性を確保し、XFEL光を用いた低温条件下でのX線回折顕微鏡法実験やサブミクロン生体分子結晶のX線回折強度データ収集などを円滑かつ効率的に実施可能とする。2012年3月中旬に完成し、その後、試験調整実験を実施する。

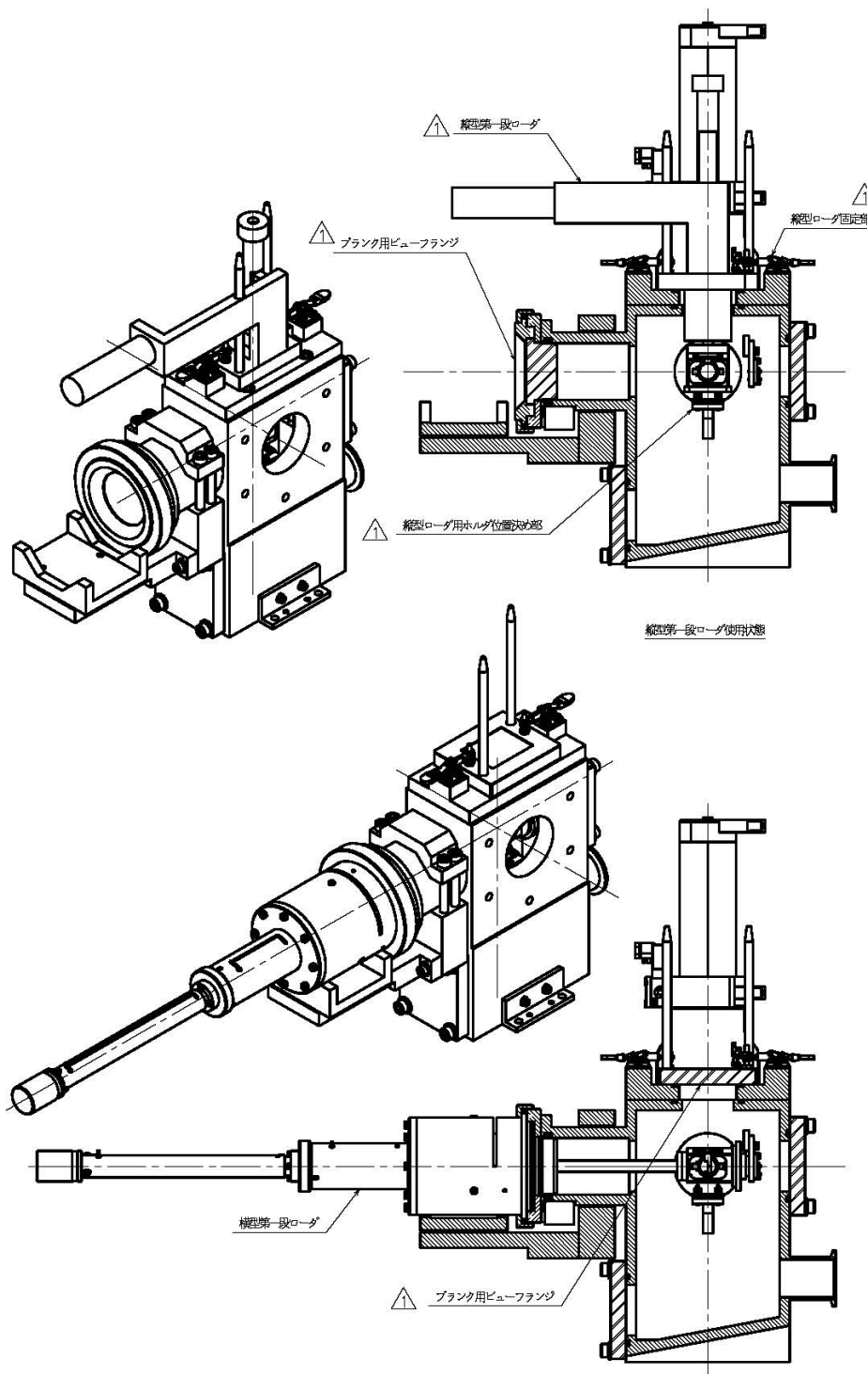


図 4-1 クライオ試料固定照射装置用簡易操作型試料ローダー（通称：風鈴火山）設計図
 本装置は、従来のローダーが水平方向から試料ホルダーを真空槽に装填していたのに対して、真空槽直上の蓋を取り外すだけで、試料の装填動作が可能である。このため、不要な力でローダーが破損することが無いものと予想される。また、従来型のローダーも使用できるようになっている。

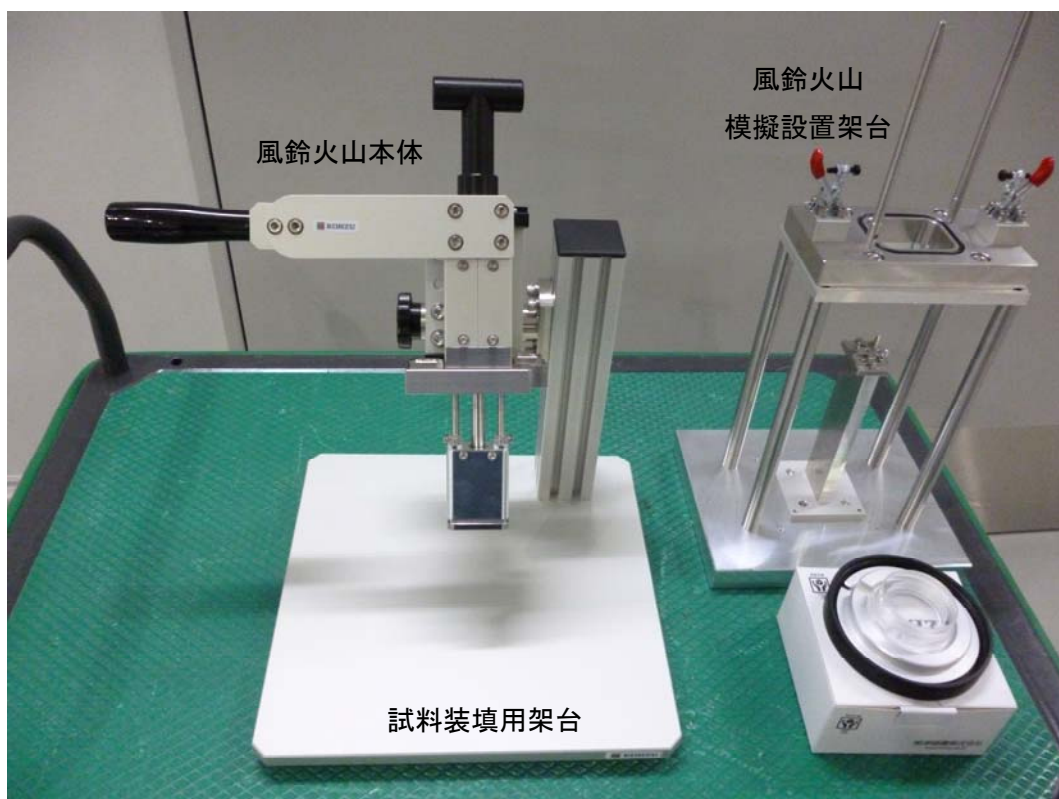
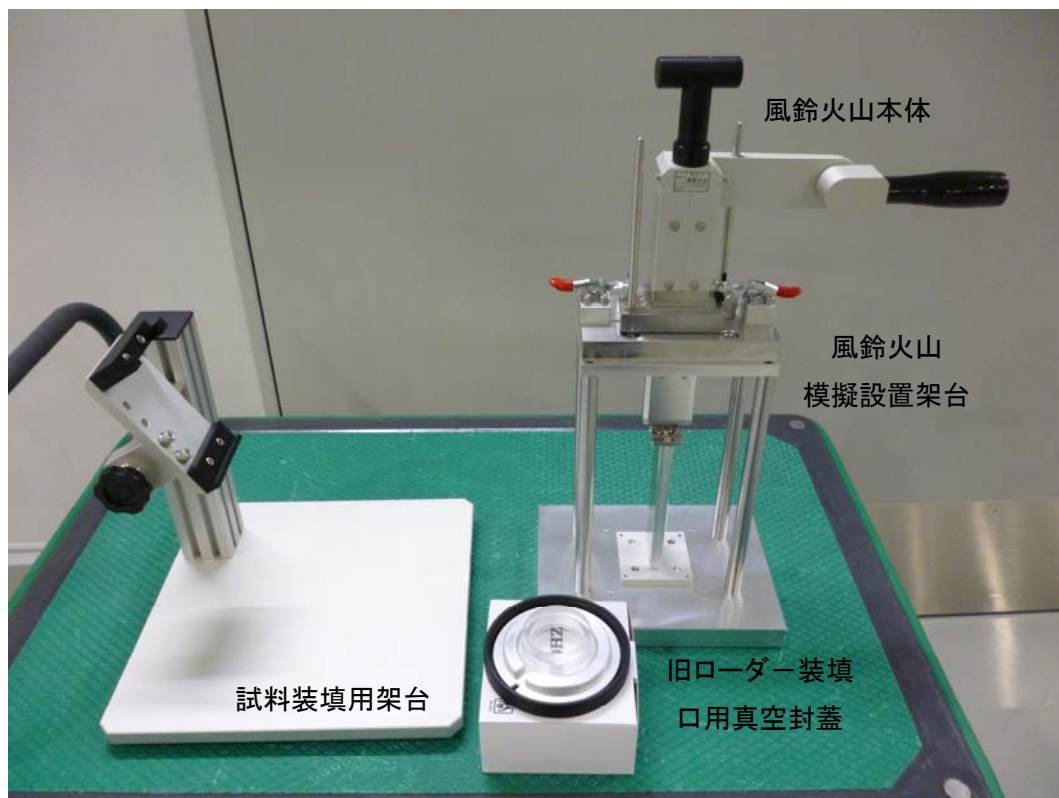


図 4-2 クライオ試料固定照射装置用簡易操作型試料ローダー完成品

上図では、風鈴火山を試料ローダー槽に設置した状態を、下図には、試料ホルダー装填用架台に設置した状態を示す。動作は期待通りであった。

3.1.2. 大角度トモグラフィー実験用液化ガスポットと試料ホルダー

平成 22 年度には、ビームラインに設置する反射集光ミラー開発グループからの要請で、照射装置真空槽に寄生散乱除去のための Kratky 光学系を組み込んだ。これにより、液化ガスポットの回転角が、 $-70\sim+40$ 度と制限されることとなった。将来のトモグラフィー実験を想定した場合、この角度範囲では、十分な三次元逆空間の回折強度データを収集できない。そのため、Kratky 光学系設置下でも $-80\sim+60$ 度の回転範囲を確保できるようにポット形状を変更し、同時に、専用試料ホルダーを製作した（図 5）。

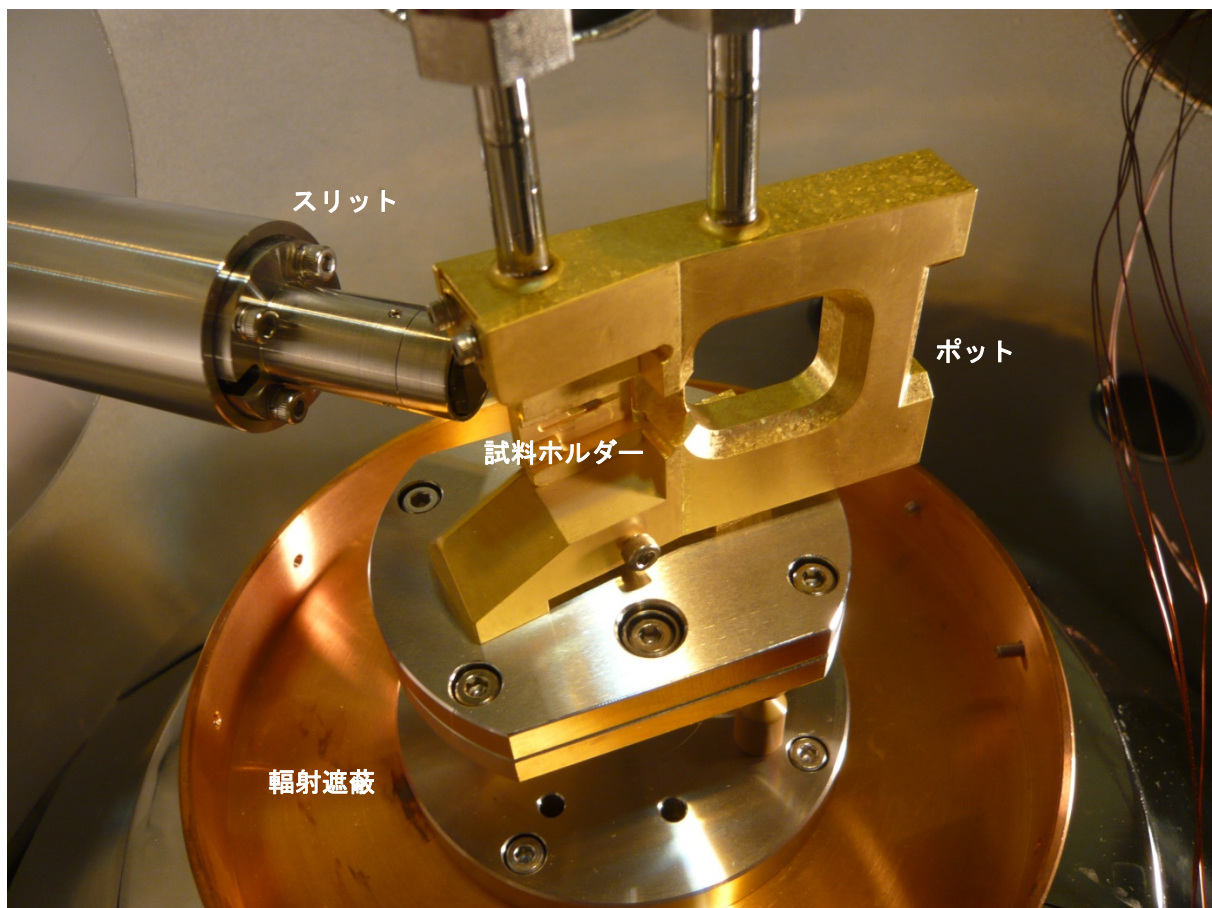


図 5 壽吉号のゴニオメーターに搭載した新型液化ガスポット

3.1.3. ローダー位置方向反転による試料装填でのアクセス改善

生体単粒子解析用クライオ試料固定照射装置は、SACLA 実験ハッチの概念設計がなされる以前から開発されており、試料装填用ローダーが X 線ビーム入射上流側から見て左側に設置されている（図 6）。しかしながら、この装置を SACLA の実験ハッチに設置した場合、試料装填にはビームダクトを横切らなければならず、供用実験における利便性と安全性の確保が困難である。そのため、ローダーをビーム入射側から見て右側に設置する必要が生じた。こ

の配置を実現する最も安価かつ安全な方法は、真空槽を上下反転させ、ローダー設置位置を現在位置から反対側に移動させることであり、2011年11月に改良作業が実施された(図7)。

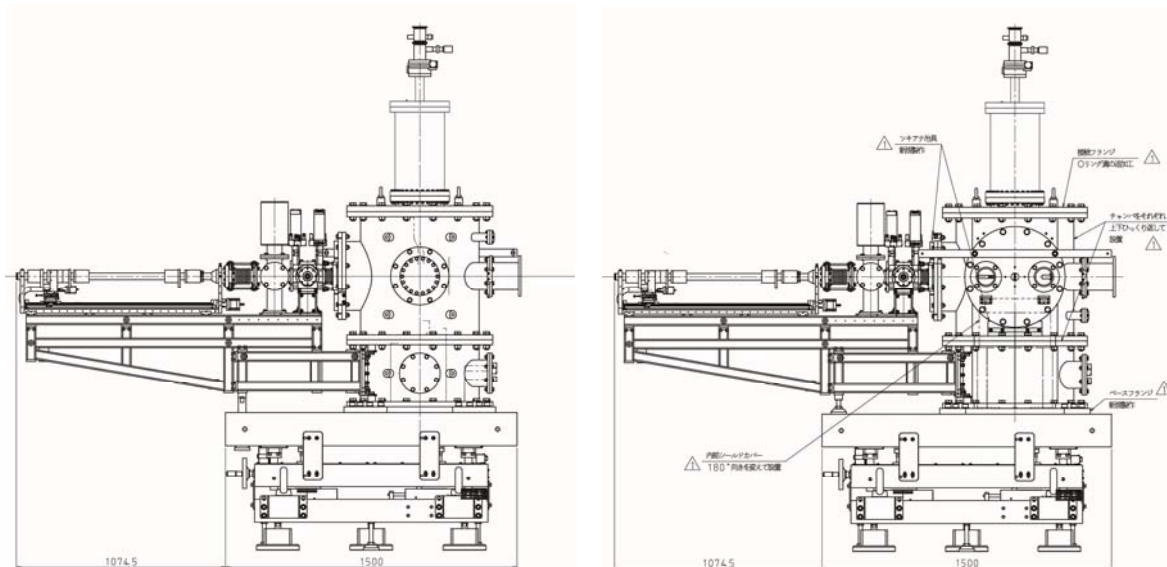


図6 クライオ試料固定照射装置の改良前と改良後

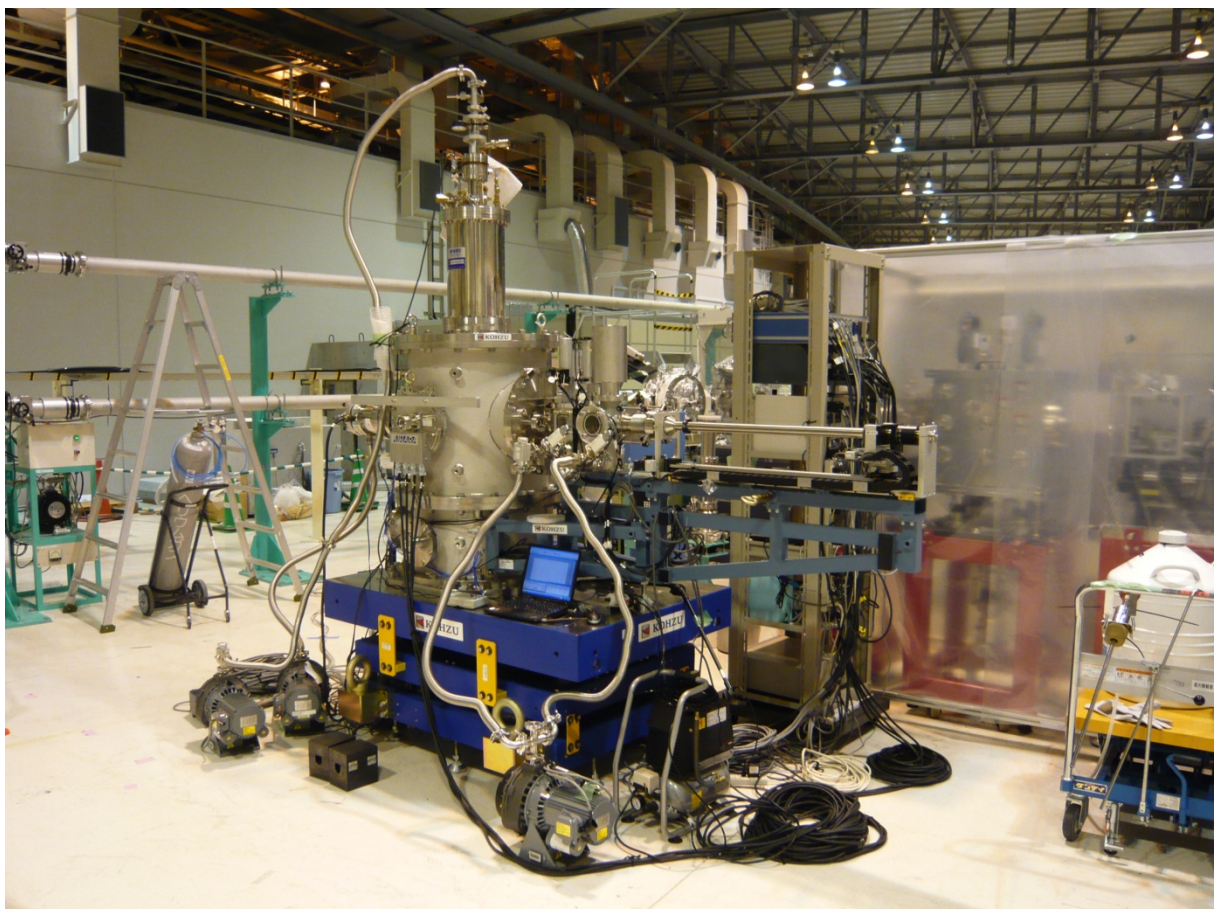


図7 反転改良が完了し、低温試験中の寿命号 (2011年11月@BL29XU SPring-8)

3.1.4. ビューポート付射出フランジおよび照明装置

これまで、壽壺号の下流側射出フランジにはビューポートが無いため、内部でのメカニカルトラブルに迅速に対応することが困難であった。今回、ビューポート付射出フランジを製作して安心・安全な実験の遂行を可能とした。また、フランジには動作距離の長い望遠鏡で試料を観察できるようにL字形の搭載台を付属できるようにしてある。LED照明は、ビューポートガラスへの熱負荷が小さく、安心して使用できる（図8）。このほか、MPCCD真空パス接続用真空ニップルも製作された。

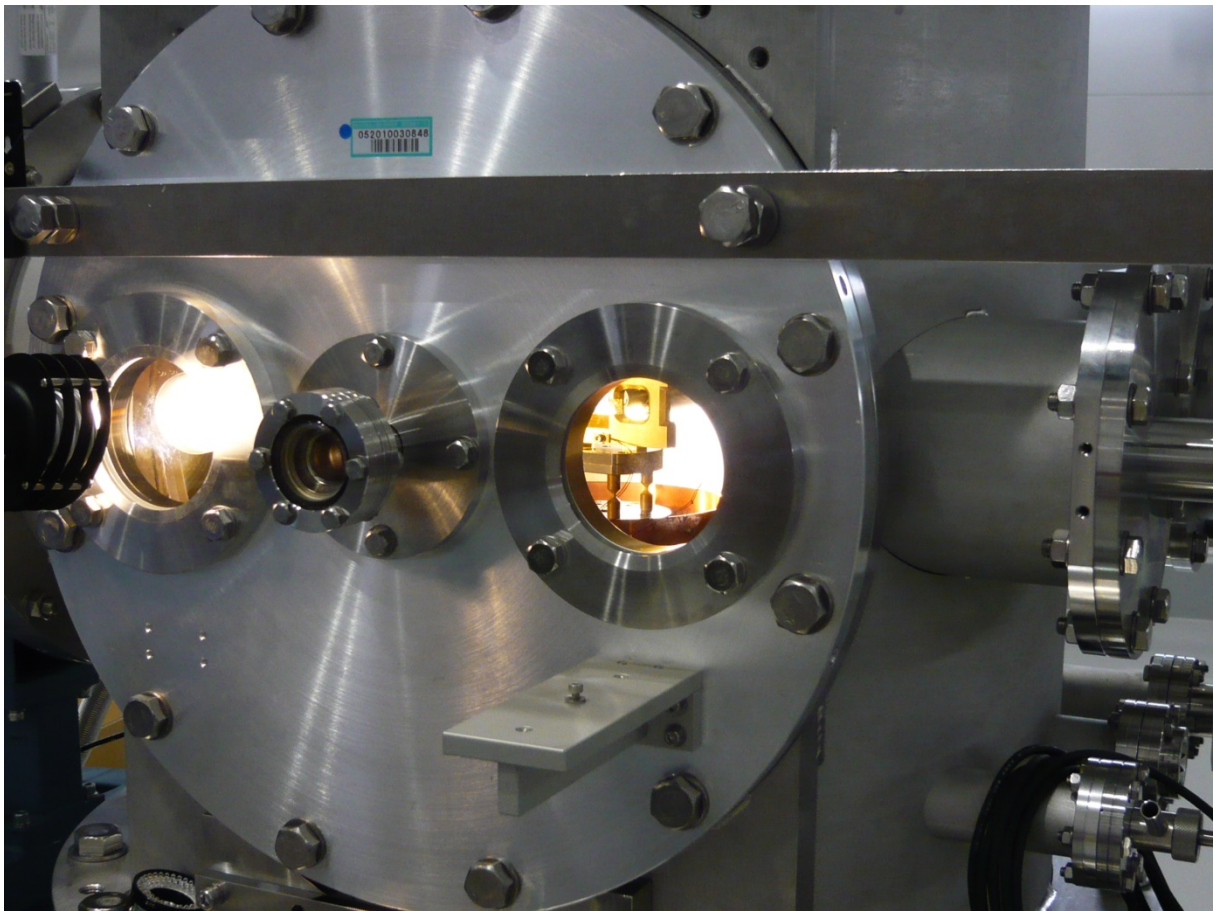


図8 壽壺号に取り付けられたビューポート付射出フランジ。

3.1.5. 制御、データ処理、位相回復ソフトウェアの製作

壽壺号の制御は、山本らによってLabViewを用いて作成された。ステッパー動作に関しては、ドライバーに運動のパラメーターを送り、ドライバー上で生成される位置情報に従って動作が行われる。動作トリガー信号は、SACLA加速器からのパルスを用いている。

生データ処理からヒット画像を取り出すための基本ソフトウェアは、慶應義塾大学の関口が作成し、MPCCDの二次ストレージに蓄積されたデータからヒットデータを見つけ出す作

業に役立った。また、回折パターンがどの程度フリーデル則を満足しているのかを定量的に判断するため、位相限定相関法などのアルゴリズムを組み合わせた実用的な方法が考案され、実用化された（関口、高山、中迫：放射光学会、2012）。

位相回復ソフトウェアの開発は慶應義塾大学で行われおり、Hybrid-Input-Output アルゴリズムと shrink-wrap アルゴリズムを併用して像回復に用いられている。例えば、水あるいは水中におかれた分子試料の像回復シミュレーションにて威力を発揮した（図 9）。

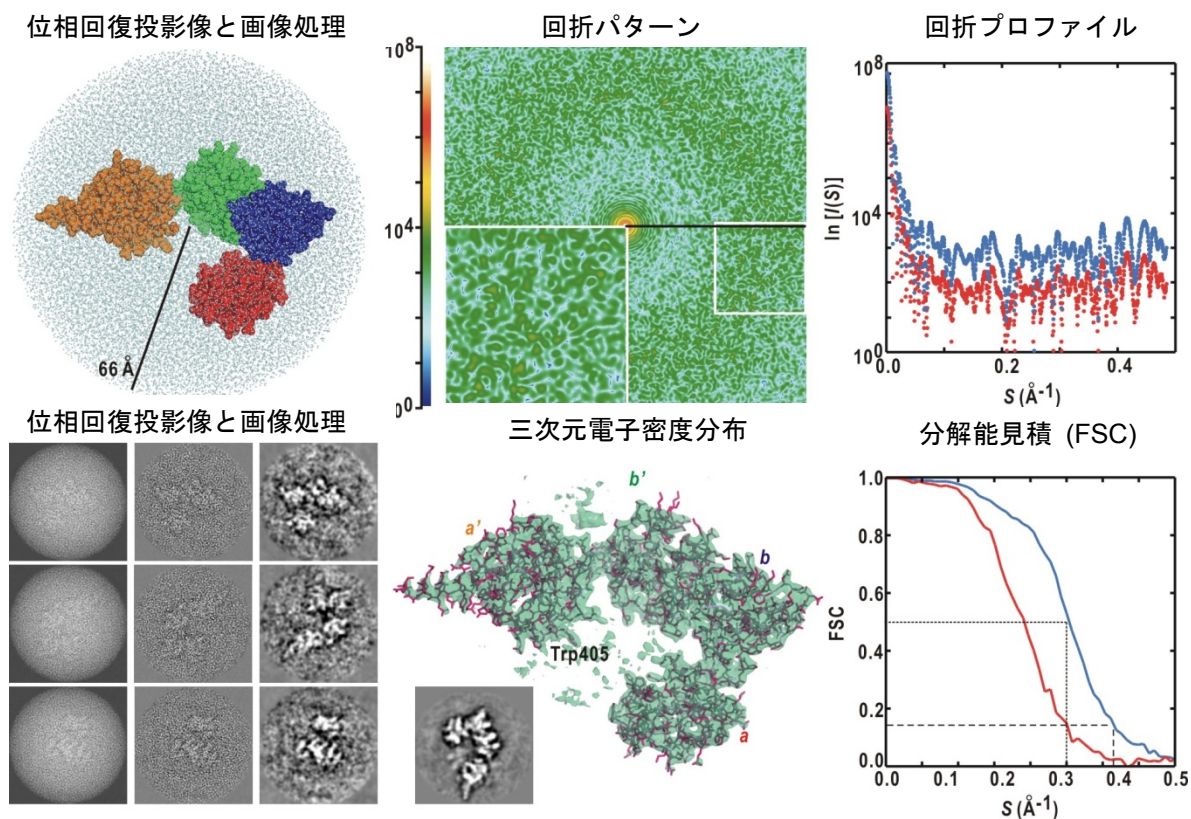


図 9 水あるいは水中におかれた分子試料の像回復シミュレーション
(Kodama & Nakasako, *Phys. Rev. E* (2010))

また、並列化によって高速フーリエ変換ルーチンの改良がなされるとともに、並列化され、超分子複合体についての構造解析の可能性を探る大規模シミュレーションに用いられている（関口、中迫：放射光学会、2012）。2012年2月21日には、データ処理プログラムと共に SACLA のコンピューターに実装し、試験運用を開始したところである。

3. 2. 生体分子単粒子解析用クライオ試料固定照射装置弐号機（御柱弐号）

供用時のユーザー利用に対応するため以下のアタッチメント等を設計し、製作・動作試験を行った。

3.2.1. 弐号機搭載型スリット光学系装置

本 XFEL 照射装置用入射スリットは、低温固定した生体粒子を XFEL パルスに同期して照射位置への投入を可能とするクライオ試料固定照射装置の散乱防止用入射光学系として機能する。本装置は、平成 22 年度までに開発した御柱弐号に組み込んで使用する入射光学系で、上流の集光ミラーやビーム整形ピンホールにより成形された入射ビームの寄生散乱成分の除去する。本スリットは、 10^{-5} Pa 以上の真空チャンバーの入射側フランジに直に取り付けて設置し、その構造は 2 枚の L 字型スリットブレードからなる Kratky 光学系を構成し、2 枚のスリットブレードはそれぞれ、装置上の入射光軸を中心に光軸と鉛直な平面内で直交する 2 軸で 3 mm 以上の可動範囲にそのスリットブレード中心を移動可能な性能を有する。同スリットを作成し、Si 製 L 字型スリットブレード 2 枚を組み込んだ状態で動作試験を行った(図 10)。

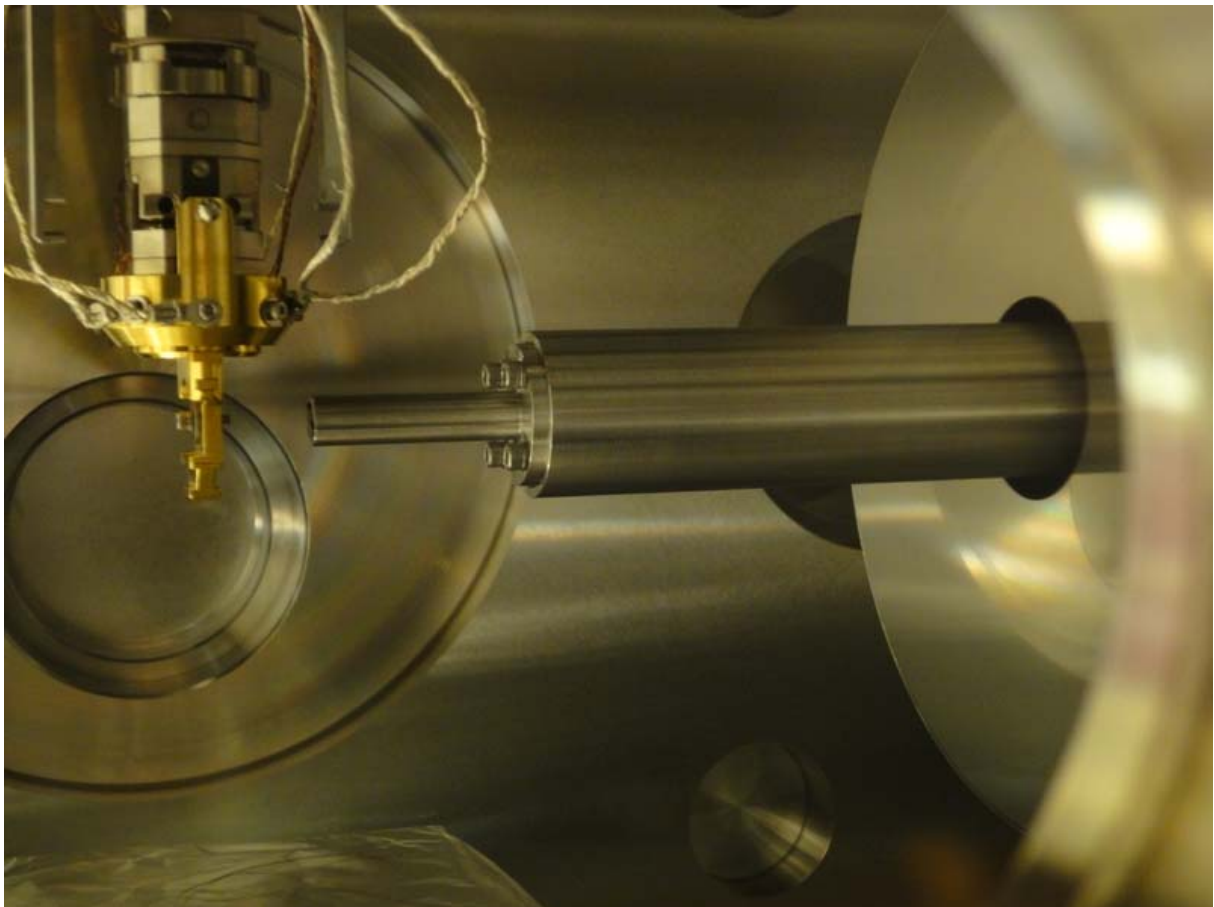


図 10 御柱弐号に搭載された Kratky スリット光学系

3.2.2. 位置調整用精密定盤

本装置は、ミクロン～十ナノメートルサイズの生体粒子を低温固定して、その試料粒子のXFELパルスに同期した照射位置への投入を可能とするナノポジショナーを利用した御柱式号クライオスタット系を搭載して、ビームに対する装置全体の位置・方位調整を容易かつ精密に可能とする専用の精密定盤である。小型クライオ試料固定照射装置は、XFELビームラインの実験ハッチに必要なに応じて設置使用するため、本定盤は照射装置を搭載したまま迅速かつ再現性よく装置入替およびに位置・方位調整に対応できる機能が要求される(図 11)。

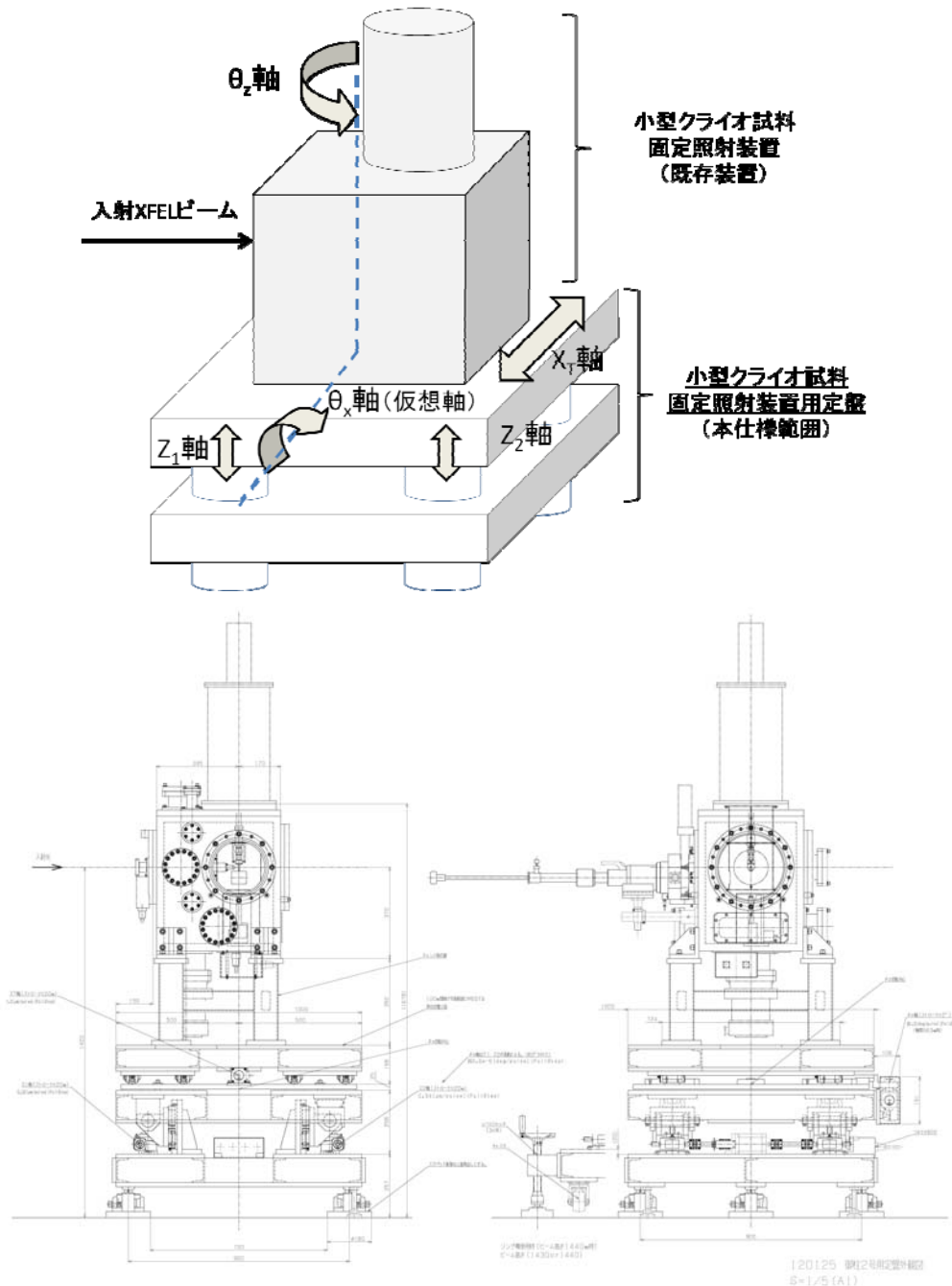


図 11-1 位置調整用精密定盤の動作概念図(上)と設計図(下)

本定盤の位置・方位調整機能は、水平面内の並進・回転軸（ X_T 軸、 θ_z 軸）および鉛直方向の昇降2軸（ Z_1 軸および Z_2 軸）より構成され、昇降2軸の組合せ動作による仮想軸制御（ θ_x 軸）により定盤の傾斜機構を実現する（図 11-1）。同装置は、2012年3月半ばに完成し、クライオスタットと試料照射真空槽を搭載後、動作試験を実施した（図 11-2）。

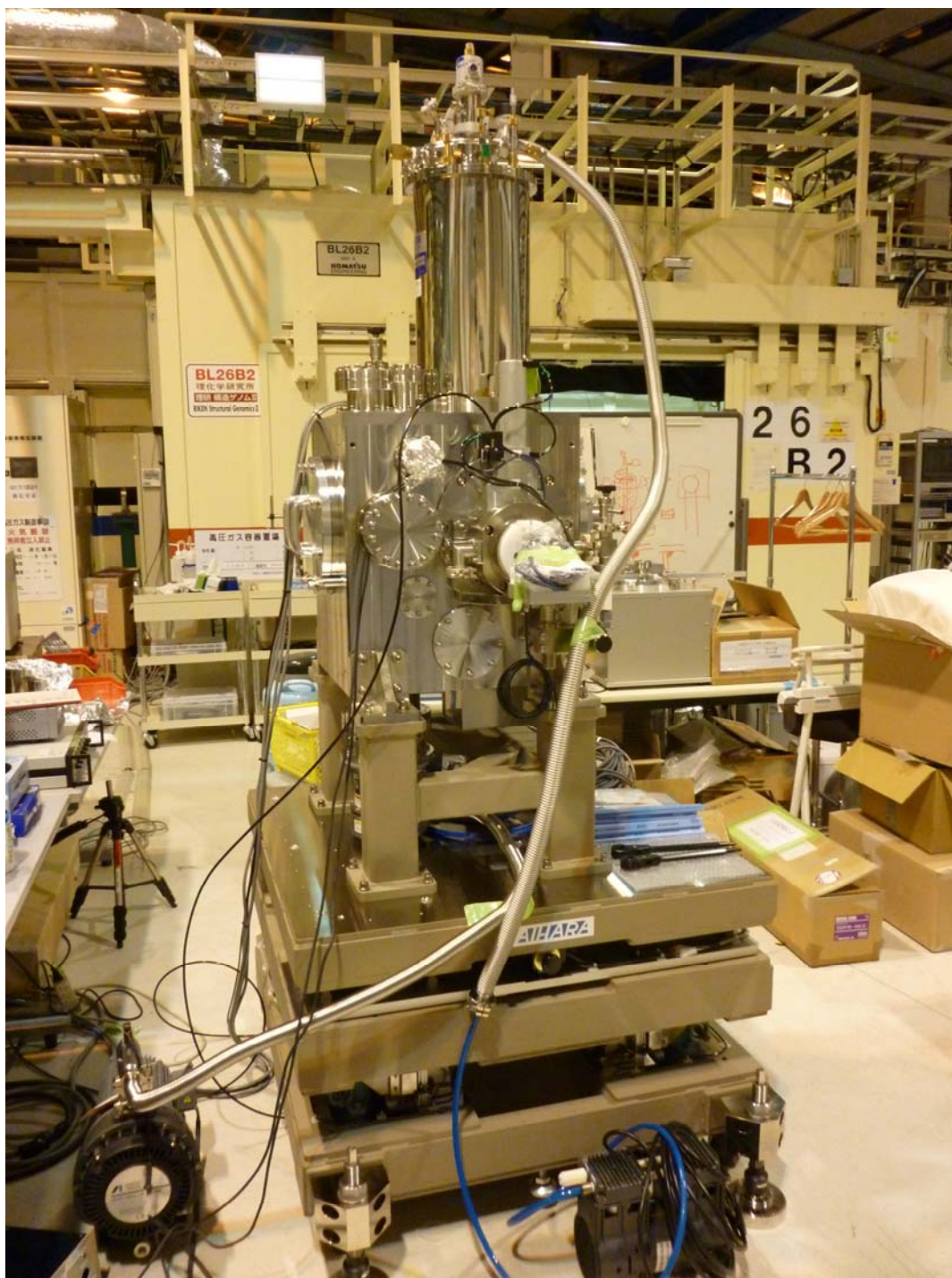


図 11-2 Spring-8 BL26B2 付近で調整中の御柱式号（位置調整用精密定盤（下））

3.2.3. 制御ソフトウェアの製作

慶應義塾大学の鈴木によって、 piezoゴニオメーターを制御して、グラフィカルに移動軌跡を表示する制御プログラムが製作された（図 12）。

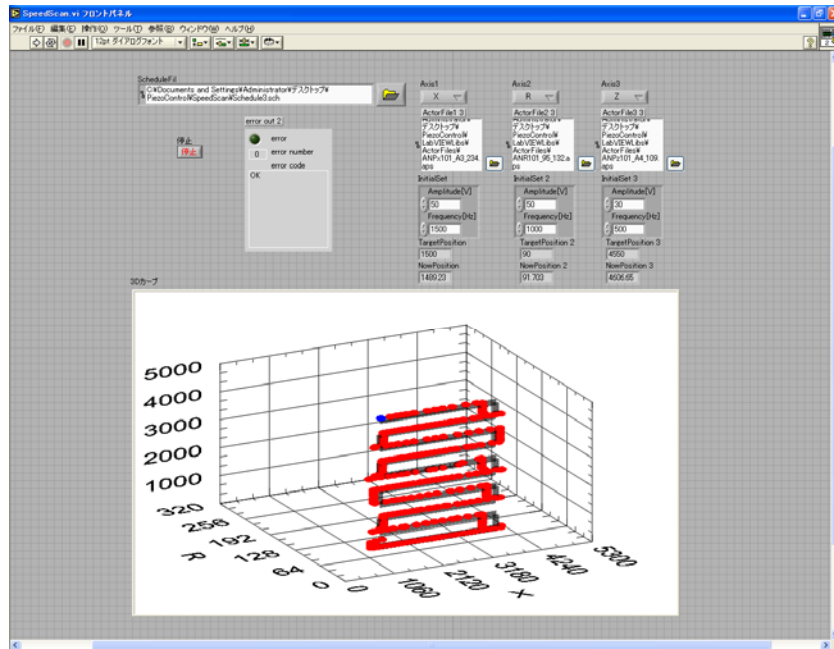


図 12 ピエゾによるステップスキャンを実現するための LabView ソフトウェアの例

3.3. 番号機を用いた調整実験とその反映

XFEL 利用実験とはどんなのものが、何が難しいのかなどを経験しながら蓄積してゆくことが不可欠であることから、XFEL の BL、検出器およびエンジニアリングチームの協力下、SACLA での実験に向け製作したアタッチメント等を組み込み、番号機を用いた SACLA 利用調整実験を実施した。

3.3.1. 番号機の移設作業

番号機は、SPring-8 の BL29X 付近でローダー反転後の試験実験を経て、2011 年 12 月 6 日に SACLA へ運搬された（図 13）。運搬に際しては、クライオスタットを取り外した。SACLA へ運搬後、同月 13 日からの SACLA での調整実験に向けて、再組立され、実験ハッチ内での運搬に使用するエアパッドが、SACLA エンジニアリングチームの金らによって取り付けられた（図 14-1）。これまで、モータードライバーなどの設置が煩雑になっていたが、それらを専用ラックに纏めて配線も整理することにより、実験ハッチへの搬入や搬出を手際よく実施可能となった。再組み立て後は、真空試験、ローダーによる掴み取り試験などが、番号機の製作元である神津精機の星貴彦氏らによって行われた（図 14-2）。



図 13-1 SPring-8 の BL29XU 付近からの搬出（神津・浅見）



図 13-2 SPring-8 からの搬出と積み込み



図 14-1 SACLA で運送用トラックから降ろされる寿命号本体すでにエアパッドを装着

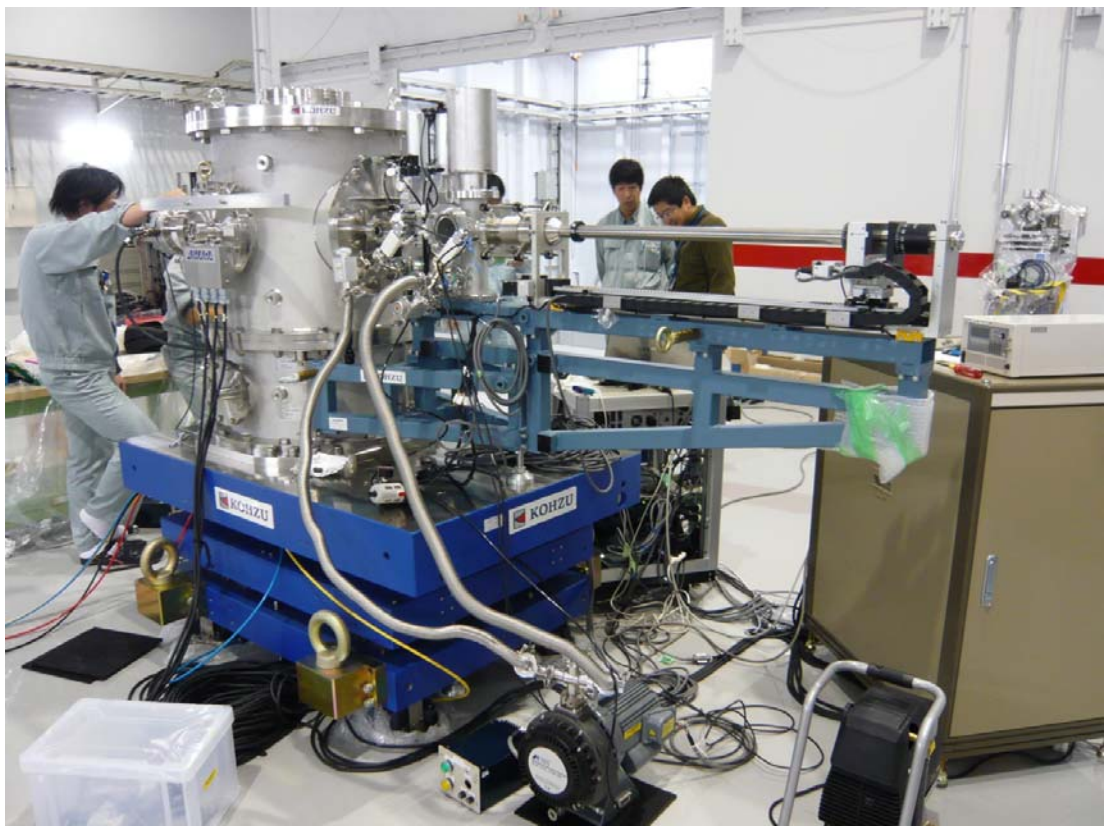


図 14-2 SACLA で再組み立て後の動作試験

3.3.2. SACLA での壽吉号調整実験

調整実験では、EH3 への装置設置や光学系の操作手順の確立を行いつつ (図 15-19, 21, 22, 24)、生体・ナノ材料試料粒子に対する X 線回折実験を経験し (図 20, 23)、供用実験に向けた実験スキームの確立を図るとともに、システムとしての装置全体の完成度と、回折装置製作者、BL、検出器およびエンジニアリングチームが見落としているような測定系全体としての脆弱性を検証した。

調整実験期間：2011 年 12 月 16 日～20 日 (内 2 日は調整、残り 2 日で実験)

実験条件：X 線エネルギー 7 keV、カメラ長 2.2 m

分解能 6.9 nm、試料 1 μm の場合、OS 比 \sim 7 (pixel size 50 μm)

試料：サブミクロンコロイド粒子 (250 nm、130 nm)、真核生物、オルガネラ等

試料の多くは、慶應義塾大学の高山が構築した湿度制御水和試料凍結装置 (Takayama & Nakasako, *Biophys. Chem.* 2011; Takayama & Nakasako, submitted; 高山&中迫、生物物理学会 2011; 高山&中迫、結晶学会 2011) を用いて湿潤雰囲気下で溶媒量を調整しながら作成された。同装置での急速凍結には、97 K に保たれた液体エタンを使用した。



図 15 SACLA BL3 EH3 でエアパッドを用いて位置調整中の壽吉号



図 16-1 EH3 で室温実験開始前の K-B ミラー (左)、壽壺号 (中)、MPCCD (右)



図 16-2 図 16-1 の反対側から眺めた K-B ミラー (右)、壽壺号 (中)、MPCCD (左)

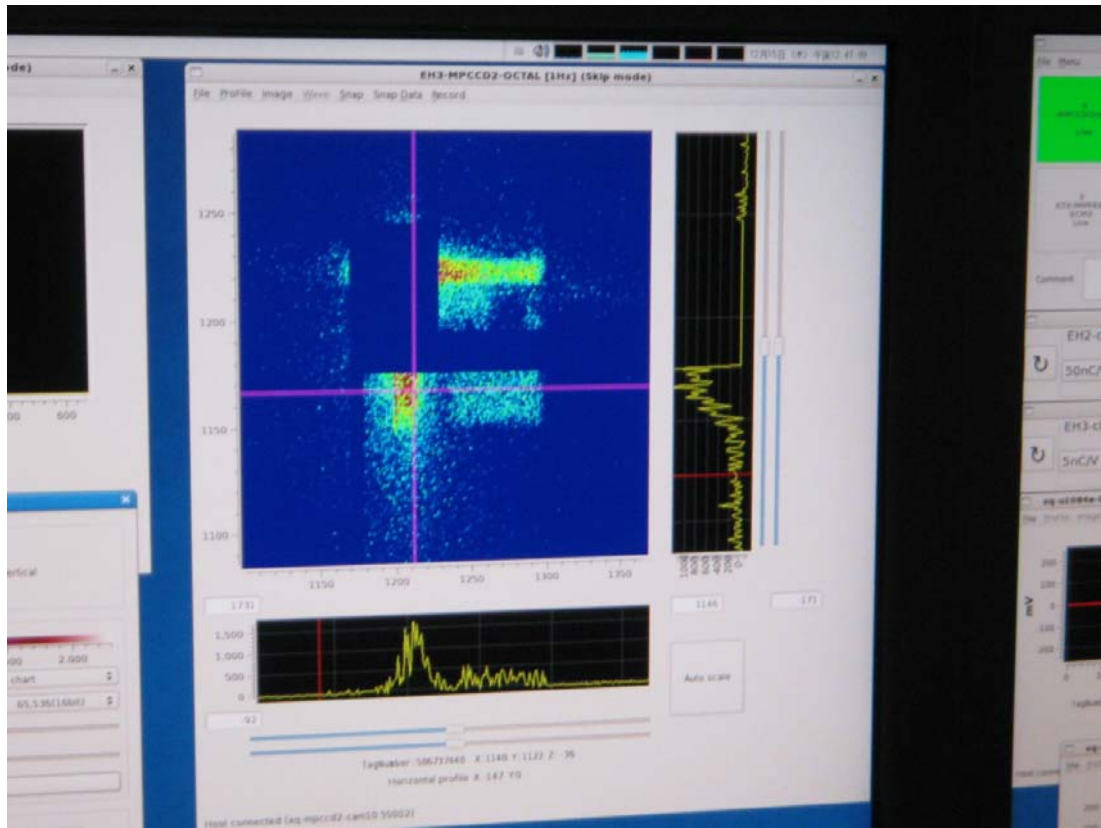


図 17 光学系調整によって K-B ミラーからの寄生散乱が十分に弱くなり、引き去りが可能に



図 18 EH3 床の静電気でスリットが誤動作したため、現場で原因究明

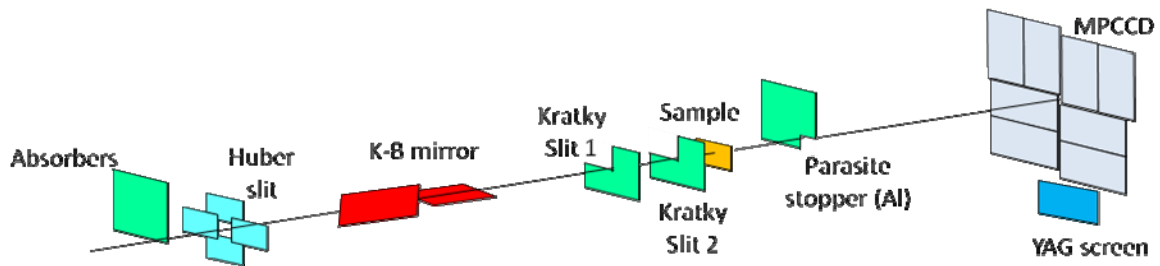


図 19 調整実験における光学素子などの配置（模式図）

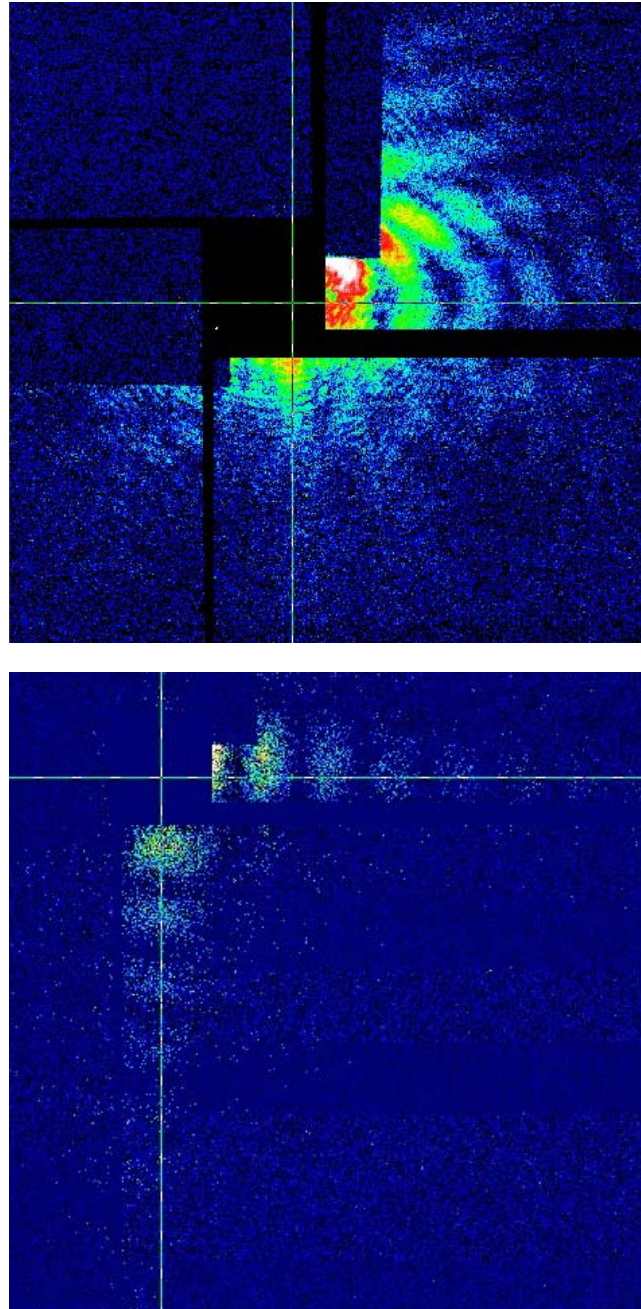


図 20 サブミクロン材料粒子集団（上）や単粒子（下）からの回折パターン
 検出器の許容光子数制限や減衰板などにより、入射強度は SACLA 本来性能の 1%以下。



図 21 室温実験後、生体試料などの低温実験のためにクライオスタットに液体窒素を注入

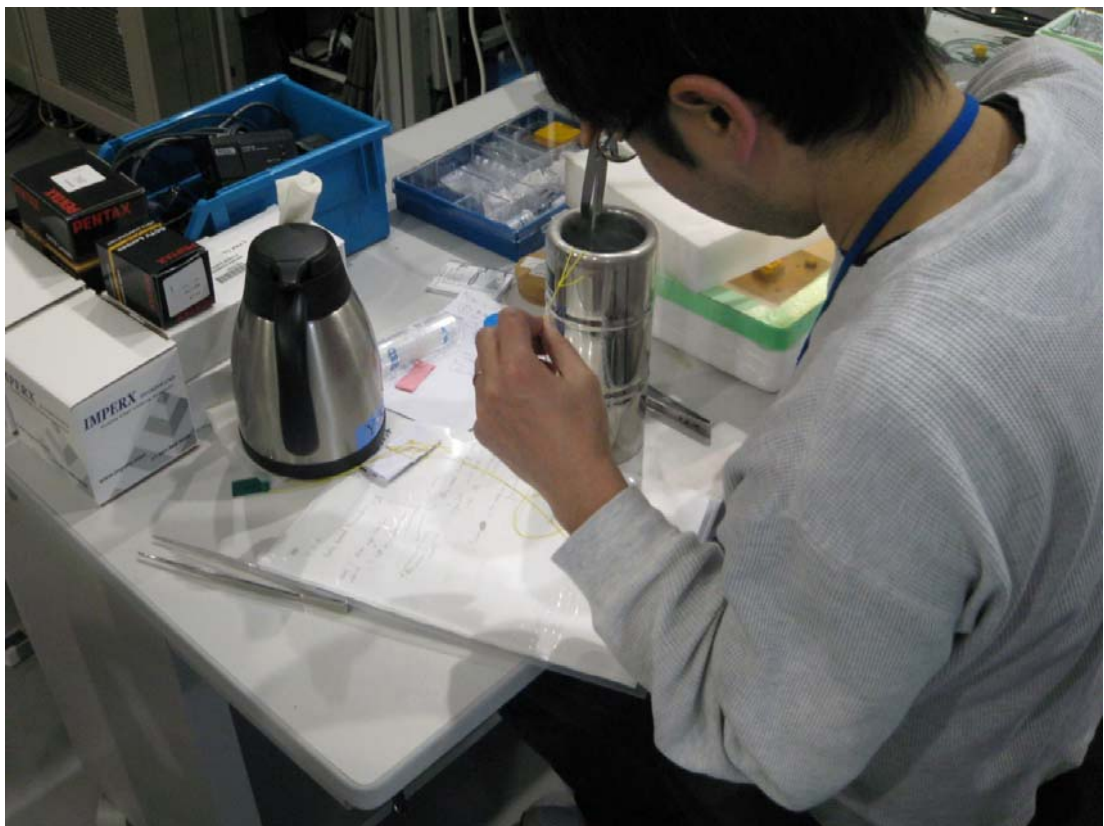


図 22 凍結試料を試料ホルダーに装填

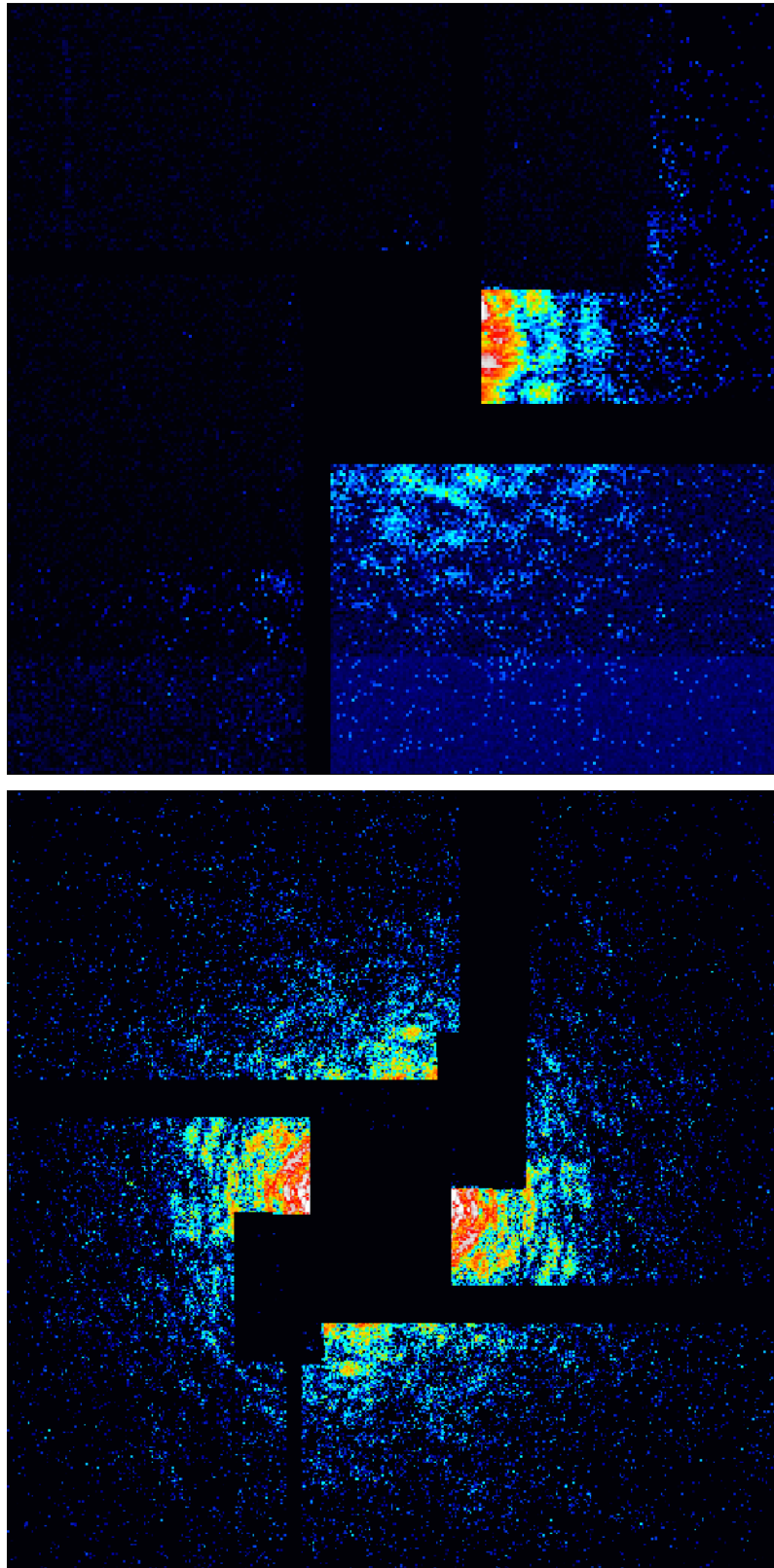


図 23 66 K に保たれたオルガネラ等の生体粒子からの回折パターン
検出器の許容光子数制限や減衰板などにより、入射強度は SACLA 本来性能の 1% 以下。



図 24 2011 年 12 月 16 日深夜の実験風景

EH3（左）側で測定、中央で液体窒素下装填作業、EH4（右）側でヒットデータ抽出

調整実験での経験は極めて貴重であり、BL 光学系の改良、検出器の 2 段配置などの必要性が明白となった。2012 年 1 月 8 日の放射光学会では、実験参加者が調整実験結果を総括する会合を開催し、今後の照射装置、BL 光学系、検出器の改良と必要な生データ処理ソフトウェアを議論する場を設けた。さらに、引き続き、2012 年 1 月 26 日と 2 月 21 日に改良の進捗状況と供用実験に向けた打ち合わせを実施した。



4. 本課題に関わる成果発表・広報活動など

4.1. 原著論文（査読付き、*：責任著者）

Takayama, Yuki and Nakasako, Masayoshi*

"A few low-frequency normal modes predominantly contribute to conformational responses of hen egg white lysozyme in the tetragonal crystal to variations of molecular packing controlled by environmental humidity.

Biophysical Chemistry **159**, 237-246 (2011).

Kodama, Wataru and Nakasako, Masayoshi*

"Application of real-space three-dimensional image reconstruction method in the structural analysis of non-crystalline biological particles in water envelop by coherent X-ray diffraction microscopy"

Physical Review E **84**, 021902 (15 pages) (2011).

4.2. 解説（査読付き）

中迫雅由、山本雅貴

"X線自由電子レーザーの生命科学での利用"

生物物理 **51**, 278-281 (2011).

4.3. 国内学会などでの招待講演（○：発表者）

中迫雅由○、笠口友隆、高山裕貴、山本雅貴

"XFELで超分子複合体の構造解析は可能か？"

新学術領域"天然変性"第二回公開シンポジウム、大阪、2012年1月25日

中迫 雅由○

"X線自由電子レーザーを用いるサブミクロン粒子のナノメートル分解能構造解析"

蛋白質構造解析コンソーシアム、東京、2011年11月29日

中迫雅由○、山本雅貴

"X線自由電子レーザーの生命科学での利用"

日本結晶学会年会、札幌、2011年11月25日

Nakasako, Masayoshi○ & Yamamoto, Masaki

"Coherent X-ray diffraction microscopy of non-crystalline biological particles at cryogenic temperature"

生物物理学会 第49回年会、姫路、2011年9月16日

中迫雅由○

“バイオサイエンスで想定されるXFEL利用実験”

シンポジウム「X線自由電子レーザー」、横浜、2011年4月21日

4.3. 国内学会口頭およびポスター発表（○：発表者）

中迫雅由○、高山裕貴、荳口友隆、関口優希、児玉 涉、山本雅貴、香村芳樹、引間孝明、米倉功治、高橋幸生、鈴木明大

“クライオ試料照射装置の整備・高度化と低温回折実験”

第25回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム、鳥栖、2012年1月9日

高山裕貴○、中迫雅由

“コヒーレントX線回折顕微鏡法回折パターンにおけるCCD検出器の電荷転送に由来するバックグラウンドの評価”

第25回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム、鳥栖、2012年1月9日

関口優希○、高山裕貴、中迫雅由

“コヒーレントX線回折顕微鏡実験における位相限定相関を用いたデータ解析手法の開発”

第25回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム、鳥栖、2012年1月9日

荳口友隆○、中迫雅由

“X線自由電子レーザーによる生体超分子の新規構造解析法の提案及びシミュレーション”

第25回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム、鳥栖、2012年1月8日

高山裕貴○、中迫雅由

“低温コヒーレントX線回折顕微鏡法の為の湿度制御下凍結水和生体試料作製装置の開発”

日本結晶学会年会、札幌、2011年11月24日

Takayama, Yuki○ & Nakasako, Masayoshi

“Preparation method of frozen-hydrated biological samples under controlled humidity for coherent X-ray diffraction microscopy”

生物物理学会 第49回年会、姫路、2011年9月17日

4.5. テレビ出演

中迫雅由

“ガリレオX 加速器最前線”

BSフジ、2011年12月11日（再放送12月18日）