

放射光科学が解き明かす 小惑星「リュウグウ」の物質構造

カメラアプリケーション事例集



太陽系の起源や進化、 生命の誕生の謎を解く 手がかりを得る

太陽系が誕生したとされている 46 億年前の水や有機物が、今もなお存在していると推測されている小惑星「リュウグウ」。2014 年 12 月に宇宙へ打ち上げられた「はやぶさ 2」によって、サンプルとなる粒子が採取されました。採取されたサンプルは専用のカプセルに入れられた状態で 2020 年 12 月に地上に到着し、専門の研究者たちの元に届けられました。その後分析が続けられ、地上からの観察ではわからなかった様々なことが発見されてきています。

実際にサンプルの分析を担当された高輝度光科学研究センター（JASRI）の上杉先生に、分析の方法や分析の成果、今後の更なる展望などをお伺いしました。

※インタビューは 2023 年 3 月に行ったものです。



上杉 健太郎 先生

公益財団法人高輝度光科学研究センター（JASRI）
放射光利用研究基盤センター
散乱・イメージング推進室
主席研究員・コーディネータ

1973年、埼玉県生まれ。東京工業大学理学部を経て同大学大学院へ。博士課程在学中に大阪大学から声が掛かり、大型放射光施設 SPring-8 の運転・維持管理を行う JASRI の研究員となる。以来、世界各地から持ち込まれる「X線の中を見てみたい」というニーズに応じて、実験装置の設計・製作から実験、論文作成、発表まで一貫して関わっている。最近では小惑星探査機「はやぶさ2」が持ち帰ったリュウグウ粒子の分析結果が話題になった。SPring-8 主席研究員のかたわら、神戸大学客員教授も兼務。

SPring-8 について

SPring-8 は世界トップクラスの放射光施設

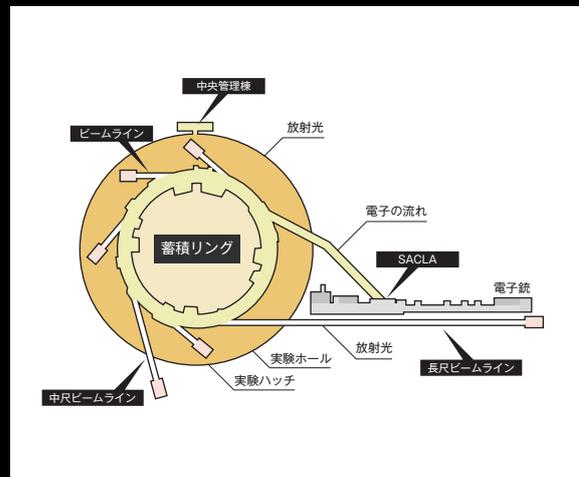
Q 小惑星「リュウグウ」のサンプルが持ち込まれたのは、上杉先生が勤務されている「SPring-8」でした。SPring-8 とはどのような施設でしょうか。

SPring-8 は電子を加速させることで放射光を生み出し、生み出した放射光を利用して実験をする施設です。放射光というのはあらゆる波長の光が出てくるのですが、SPring-8 はそのなかでも特にエネルギーが高い（＝波長の短い）X線を生み出すための設備をもっています。8 GeV (Giga electron volts) の電子エネルギーから生まれる放射光X線は光束密度・指向性（輝度）が高く、非常に狭い面積に照射できます。SPring-8 では、この光を使って微細な物質の構造解析などを行っています。高い輝度を有した放射光X線を発生させるため、施設の直径は約500 mと広大です。

SPring-8 は主に高エネルギーの電子ビームを発生させる装置（現在はSACLAが発生した電子を一部SPring-8に取り込んでいる）と、加速した電子ビームを一定の速度で回し続けるための装置（蓄積リング）と放射光を使用するビームラインで構成されています。放射光は、電子エネルギーが高いほど指向性の良い明るい光が生まれ、電子ビームの進行方向の変化が大きければ大きいほど、X線などの短い波長の光を含むようになります。つまり大きなエネルギーを得るためには、加速器のサイズを大きくする必要があります。SPring-8 が世界でも有数の大型施設になっている理由もそこにありまして、ここで得られる放射光は世界最高の特性を有しています。



SPring-8は直径約500 mの円形の放射光施設。あまりに広い
ため、ビームラインがある蓄積リング棟内の移動には自転車
を利用する場合もあるそう。



SPring-8 の内部構造

施設と利用者を支える専門家集団

Q 上杉先生が在籍されている、高輝度光科学研究センターはどのような機関なのでしょう。

高輝度光科学研究センター（JASRI：Japan Synchrotron Radiation Research Institute）は、国立研究開発法人 理化学研究所が運営している大型放射光施設「SPring-8（スプリング-エイト）」X線自由電子レーザー施設「SACLA（サクラ）」の運転・維持管理や利用支援、それらのための技術開発を行う研究機関です。

SPring-8、SACLAともに国内外に広く開かれた研究施設であり、その利用を円滑かつ高いレベルに維持するため、高い専門性を持つスタッフが多数集い、世界最先端の放射光施設の運営を行っています。

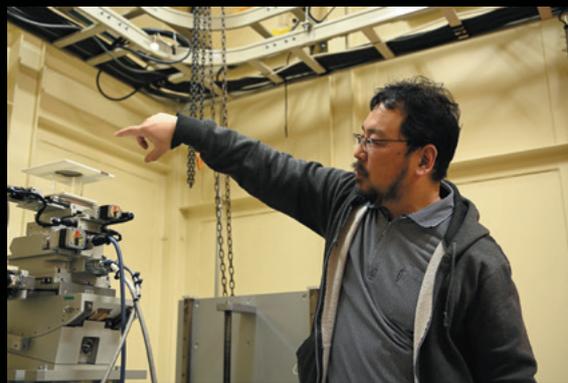


兵庫県西部の播磨科学公園都市に位置する研究施設。広大な敷地の中に複数の実験施設や日々の研究を支える関連施設が存在している。

X線の特徴を生かして物質の構造を解析 — 放射光科学をけん引する新技術も多数開発

Q 放射光から出る波長の中でなぜX線なのか、X線を使った実験からどんなことがわかるのか、教えてください。

たとえば可視光の顕微鏡でサンプルを見ると、まず5倍などの低倍率から観察をはじめます。そして観察したい場所を特定したら、倍率を10倍、50倍と上げ、さらに細かなところに焦点を合わせていきます。ところが顕微鏡のリボルバーを回して倍率を変えただけでは、見たいものが見えないことがありますよね。それで見る場所やフォーカスを調整したり、視野が狭くなれば狭くなるほど観察視野は暗くなるので、視野に取り込む光の量を調整したりします。先ほどお伝えしたように、放射光X線は一般的なX線光源から発生されるX線よりも、きわめて密度が高く、また狭い面積に当てられる性質を持っていますので、リュウグウのサンプル粒子のように非常に微細なものを観察する際に適した光なんです。もう一つX線が示す特性として「回折」というものがあります。物質によってX線を当てたときの回折角は決まっているので、その値がわかればX線を当てた物質の周期がわかるんです。言い換えるとサンプルに当てたX線の様子からサンプルの構成要素がわかるということなんです。



材料物質の状態を知る方法としてイメージング、分光法とともに回折法はよく採用されているのですが、特に狭い面積に光を当てて情報を得る方法として回折法は非常に有効です。ここまでX線放射光の有用性がわかってきたんだから、がっつり大型の放射光実験施設を作ってより微細なものから情報を得ていきましょうよ！ということでSPring-8は誕生しました。SPring-8では、これまで放射光科学をけん引する数々の新しい技術をたくさん開発してきました。かつて「SPring-8とは？」と問われた際には「大きな顕微鏡ですよ」と答えていたこともあったのですが、すごく短く言うと「X線の顕微鏡装置」と表現できるかなと思っています。

「リュウグウ」のサンプル分析に至るまでの軌跡と今後の展望

「分析の手伝いをさせてほしい」手を挙げたことではじまった数年がかりの分析プロジェクト

Q リュウグウのサンプル分析に携わるようになったきっかけを教えてください。

リュウグウのサンプルの分析準備には、SPring-8に加え、JAXA（ジャクサ）、国立極地研究所、分子科学研究所、JAMSTEC（ジャムステック）の5チームが関わっています。この5つの組織が協定を結び、分析するために必要なことの準備を始めたのが2015年です。僕が分析のプロジェクトに参加することになったきっかけは、分析の手伝いをさせてほしいと手を挙げたSPring-8のチームの一員だったこと。ここから約5年の歳月をかけて、サンプル分析のための準備を行いました。

5年の歳月をかけて準備をして、1年かけてサンプルを分析

Q 検討期間の長さから膨大な量の検討課題があったと推察しますが、具体的にどういったことを検討されたのでしょうか。

このチームでは、試料の分析に関する事だけでなく、「リュウグウから持ち帰るサンプルをどのようにしてJAXAのクリーンチャンバの中でトレイに移すか」「どのようにサンプルを小分けにするのか」「どういった方法で各施設にサンプルを輸送するのか」など細かな点も含めて検討しました。サンプル分析の実験は真空中や窒素中で行うので、実験の手順を考えるのはもちろん、それに必要な器具や容器を作ったり、それらを作るために必要な新しい技術は何かを考えたり、とにかく試行錯誤しながら、何もないところからすべて作りあげていったんです。またその検討プロセスも一歩一歩進む感じで、誰かがアイデアを出すと他のメンバーが「それにはこれが使えるかも」とブラッシュアップする意見を出して試作品の作成や予行演習をする、うまくいかなかったら別案を検討する・・・そんなことの繰り返しでした。時間はかかりましたが、協定チームが組織の枠を超えて知恵を出し合ってサンプルを迎える準備を進めました。



約22 kmの距離からみたリュウグウ
(ご提供：JAXA、東京大学ほか)

僕は準備の段階では、カーボンナノチューブを使ったサンプルホルダやサンプルを大気にさらすことなく運搬する容器のデザイン検討に携わりました。僕のアイデアの多くはそのデザインに反映されています。SPring-8の業務から少し離れた話になるのですが、JAXAのキュレーション設備というものがありまして、そこで地上に届いたリュウグウのサンプルを開封したり、分光器で計測したり、測量したり、写真を撮ったりすることになっていました。それらを行うために専用のサンプルホルダや移設・保管用の仕掛けが必要だったんですが、JAXAのキュレーションチームの方々から「上杉さん、何とかしてください！」と言われて、僕が何とかする役になったんです。彼らがホルダや容器のデザインを行うためのスキルや知識をその時点では持ち合わせていなかったことと、あまりにも忙しすぎてそれらを調べる時間の確保が難しかったことから、協定チームにいた僕に白羽の矢が立ったというか、ご指名いただいたといいますか。そんな経緯でした。



キュレーション設備では持ち込める材料も決まっているし、作業自体はチャンバー内でゴム手袋をした状態で実施します。そのため、なるべく簡単に操作できるような機構・寸法にしなければなりません。作業者が女性の場合もありますので、指先に力を込めるような機構もNGです。試料を1粒ずつ入れるガラス容器の素材や形状もJAXAの担当者さんたちと議論しながら決めましたし、それを多段にスタックし高密度で保管する収納も一からデザインしました。本当に細かくて地味な検討が多かったんですよ、リュウグウの案件って。

そこから超特急でJAXAの方とやりとりを行いながら、図面を引いて、試作して、3Dプリンタで試作品を作って、完成までこぎつけました。なので、キュレーション設備にあるチャンバの中に「上杉デザイン」がたくさん詰まっています。実はこの取り組み、僕にとって1円の儲けにもなっていないんです。ただただ、僕の趣味でやりましたよっていう。でも面白そうだから引き受けてしまった。そんな流れで作られたサンプルホルダや運搬用の容器が使われているっていうのは、おそらく打ち明けてもいい、内緒話です。

これだけサンプルの準備を入念に行っても、サンプルの硬さまではわからない

Q これだけ入念に検討しても、実際にサンプルが届くまではわからないことがあったのではないかと思います。ですが、手元に届いてはじめてわかったことがあれば教えてください。

リュウグウはC型の小惑星であることは予めわかっていたんです。C型の小惑星というのは観測すると黒く見えます。これは地球に落ちてきた隕石の分析の経験から黒い物質は有機物を大量に含んでいるものということにはわかっていました。有機物を含むということは、太陽系ができてから一度も100℃とか200℃の温度環境にさらされることがなかったものと推測できます。100℃以上の温度にあったのなら、水はもちろん有機物も蒸発してしまいますから。水も有機物も蒸発した小惑星を観測すると白く見えます。S型の小惑星はこれに該当するといわれています。リュウグウは黒く見えるのでC型の小惑星、つまり地上に届くサンプルには水も有機物も含まれていることは推測できていたんです。ただ地球物質に汚染されていないものなのか、水にさらされていない状態のものなのか、リュウグウとして誕生する前はどんなものだったのかは想像するしかなくて「おそらくこういうものかな」という程度の推測しかできていませんでした。最も推測できなかったのは、硬さです。硬いものなのか、もろいものなのか、準備の段階では全くわかりませんでした。



わからないながらも気をつけなければと思っていたのは、大気にさらさないこと、水と酸素にさらさないこと、転がさないこと。ただ、地球に戻ってくるときに大気圏に突入して、パラシュートを開いて、ドン！と地上に落ちるわけですから、比較的大きな衝撃を受けますよね。ある程度物理的なダメージを受けてしまうことは想定内でしたので、僕としてはとにかくサンプルが汚染しないようにサンプルホルダの材質には気を配りました。JAXAのクリーンチャンバの中に入れてよい材質には制限があったので、その条件を教えてもらいながらガラス質のところは石英かサファイア、ゴムはバイトンだけ、といった形で材質を決めていきました。

5年分の思いを胸に、サンプルを間近に見た歴史的瞬間

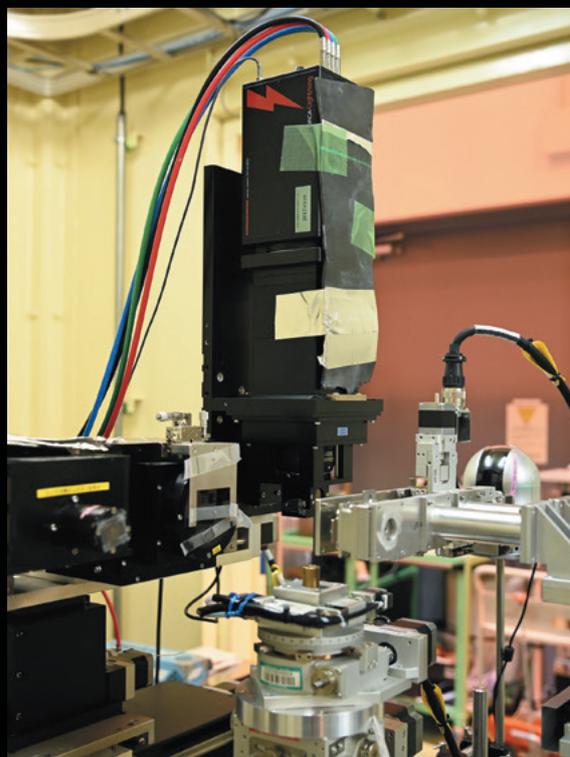
Q サンプルが無事に地上に降り立ち、SPring-8に運ばれたときの皆さんの反応はいかがでしたか。

無事に手元にサンプルが届けられて、SPring-8の実験装置に乗せたとき、メンバーによる撮影大会がはじまりました。実験室は2～3人入れば満室になるほどの大きさなので、総勢10数名のチームのメンバーが代わる代わる実験室に入って歴史的瞬間をカメラにおさめました。



リュウグウから来たサンプルのサイズは、3 mm ~ 10 mmでした。実験装置に乗せてX線CTで断層写真を撮り、隣の部屋に設置した大型モニターに撮像画像を映し出すことで大勢で観察できるようにしました。サンプルは複数提供されたので、一つずつ撮像して画像を見ながら議論を進めました。画像が映し出されるたびに「おー」とか「あっ割れている！」とか「何だろうこの塊は？」といった声が飛び交いました。その場に同席していた隕石の専門家から推察のコメントが出ると、さらに盛り上がりながら活発な議論を交わしました。イギリスにいる関係者ともオンラインで会議しました。

実際に撮像してみると、想定どおりのこともあれば、想定外のこともありました。意外とのっぺりした質感というか、均一に見えるというのが印象的でした。CT撮影には浜松ホトニクス社のORCA®-Lightningを使って観察したんですよ。これは今でも元気に働いています。



リュウグウのサンプル分析に使われた ORCA-Lightning

リュウグウに水の存在を示す痕跡が見つかった

Q X線CTを使った分析を進めていく過程で、どのようなことがわかってきていますか。

X線CT像をよく見てみると、炭酸塩鉱物（ CaCO_3 ）というものが含まれていました。カルサイト、アラゴナイトなどが有名ですね。炭酸塩鉱物は水がないとできない物質なんです。これがあるということはリュウグウには水があった、もしくは水にさらされる環境にあったということになるのですが、この塊がサイズ違いでたくさん含まれていたんです。なぜたくさん塊があるのか、なぜサイズ違いのものがあるのか、これをメンバーで考えるんですね。「塊が複数あるということは2回以上、水にさらされる機会があったからか」とか「小さいサイズの塊ができたシーズン、大きいサイズの塊ができたシーズン、少なくとも2回は水にさらされたシーズンがあるのか」といったような気づきをCT像を眺めながら数日かけて得る、なんてこともありました。

あとは炭酸塩鉱物以外に粘土鉱物というものもたくさん含まれていました。学校のグラウンドの土を思い浮かべていただくとわかりやすいかと思うのですが、粘土鉱物を作るには水が必要ですし、粘土鉱物があるということは層間水があるということにもなる。どれほどの量の水があったのかはまだわかりませんが、水が存在していたという証拠になります。

これらは発見したことのごく一部でして、SPring-8で実験を重ねることで水の存在を示す証拠となるものが3パターンあることを突き詰めました。「水にさらされたことがある」「水を含んでいる」「水そのものである」この3つです。リュウグウには水や先ほど紹介した鉱物以外にも鉄なども含まれているので、分析がとても難しいです。SPring-8以外のチームも分析を進めていますので、今後色々なことが解明されていくのではないかと考えています。

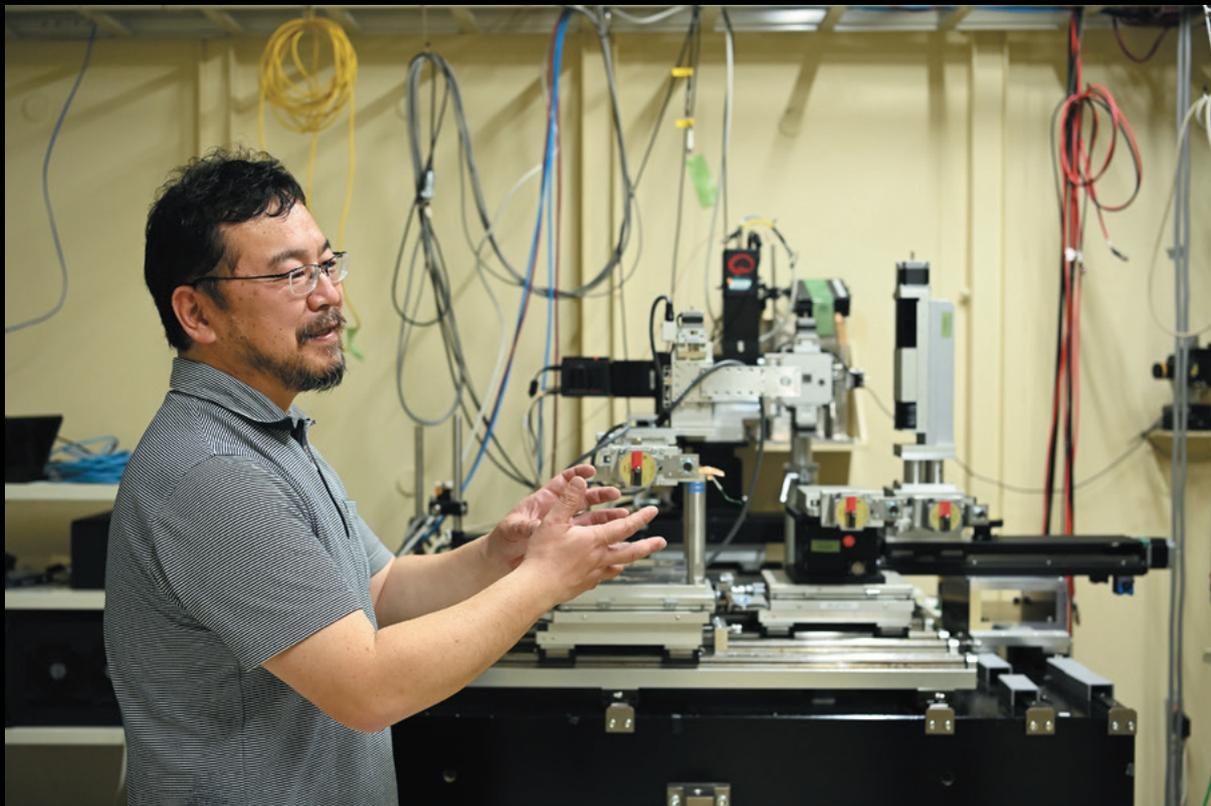


太陽系の起源や進化、生命の誕生の謎を解く手がかりを一つ一つ得ていく

Q リュウグウのサンプル分析によって明らかになったことが生命科学の発展にどのように貢献するか、期待されていることはどんなことでしょうか。

生命科学の発展につながるかどうかは、僕は専門家ではないのでわからないのですが、今リュウグウのサンプル分析を進めている過程でわかってきたことは、リュウグウの前駆体のようなものがあったということ。僕らは母天体と呼ぶのですが、木星よりもはるか彼方に存在していたようなんです。昔の太陽系は小さな天体がたくさん存在していて、互いにぶつかり合って、ぶつかった衝撃で出た塵が漂って、またぶつかってを繰り返していたそう。歴史の古い天体が新しい天体の内部に取り込まれながら徐々に成長して今の太陽系にある水星、金星、地球、火星、木星ができたといわれています。リュウグウの母天体も同じような流れで破壊され、一部はリュウグウと呼ばれるラブルパイル型衛星となった。今度は重力の摂動を受けて、太陽の方に吸い寄せられて今地球の近くをぐるぐる回っている、これが現時点でのリュウグウのストーリーなんです。僕がやっている非破壊分析だけではなく、破壊分析、化学分析なども含めて総合的に考えると、すでにあと10億年後に消滅することが解明されている小惑星イトカワのように、リュウグウの誕生から消滅までの一生を描けるようになる。描くことで何がわかるかという、今の太陽系ができるまでの間に起こっていたこと、つまり太陽系の起源や進化がわかるようになるのではないかと考えています。

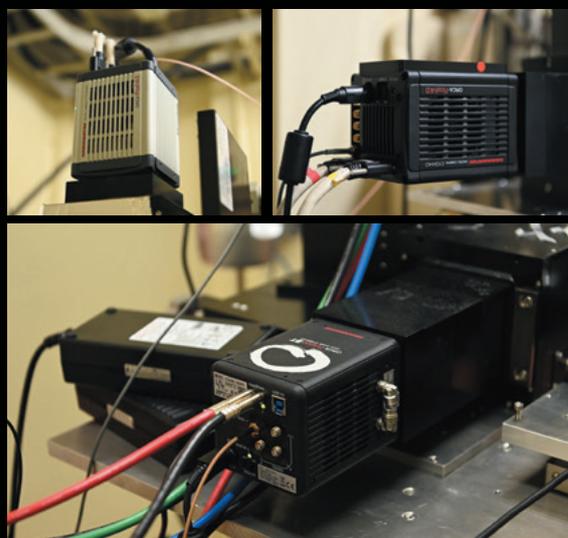
博物館にあるような太陽系の起源の解説動画を見ても、原始太陽系星雲がくるくと回っていつの間にかいきなり現在の太陽系が現れる、っていう感じですね。なぜかという起源や進化の過程を誰も知らないからなんです。あの過程が面白いんじゃないかと思うのですが、それを知るのはとても難しいことなんです。謎を紐解くには、リュウグウやベンヌや火星衛星のフォボスなど、サンプルリターンを成功させて証拠を集めていくこと。情報を収集することでわからなかったことが一つ一つ明かされて、きちんと説明できる太陽系の歴史の統一見解が持てるようになるでしょうし、それによって生命誕生の起源の解明もされていくのではないかと考えています。20年後くらいかな、ちょっと楽しい結果がわかっていたらいいなと。僕は70歳くらい、生きているかな。



浜松ホトニクスの魅力は、脚色しないデータを出してくれるカメラとユーザ目線での製品開発

Q 上杉先生にはカメラを中心に弊社の製品を長年お使いいただいております。弊社のカメラを使う魅力、メリットなどがありましたら、ぜひお伺いしたいです。

計測データをきちんとそのまま出してくれるところです。画像処理などでむやみに脚色しないって実は使い手にとっては大事なことです。あとカメラはもちろんソフトウェアも含めてユーザ目線で作られているところも魅力的です。ユーザがどういうデータを出したいのかを考えたものづくりをしているのだろうと感じることがあります。作っている人も相当オタク気質だろうとも思いますね。目的達成のために御社のエンジニアにはたくさんの要望を出しますが、おおむね期待している答えを出してくれます。これからも浜松ホトニクスにしか作れないものをどんどん生み出してほしいと思っています。



高解像度X線イメージングユニット AA51

M11427-57B、-57S、-58B、-58S

サブミクロンの分解能で高精細な画像を取得

高解像度X線イメージングユニットと蛍光面*、光学系*をお選びいただくだけで、容易にX線イメージングを行うことができます。カメラはラインアップから自由に選択することができ、用途にあわせて光学系とカメラを組み合わせることでシステムを構築することができます。

また装置の耐久性やメンテナンス性を考慮した光学設計で、放射光施設などで使用される強いX線を用いたイメージングに対応します。

* オプション

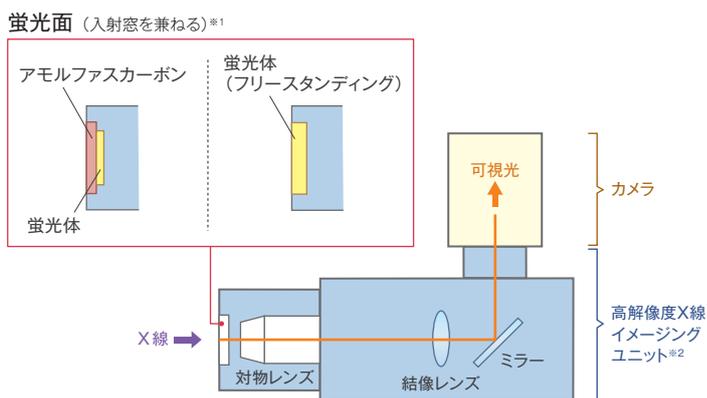


仕様

| 型名 | M11427-57B、-57S | M11427-58B、-58S |
|-------------|-----------------|-----------------|
| 対応X線エネルギー | 6 keV以上 | |
| 蛍光体有効径 | 蛍光面仕様参照（下記） | |
| 蛍光体材料 | | |
| ピーク波長 | | |
| 蛍光減衰時間 | | |
| 蛍光体厚 (typ.) | | |
| 蛍光面母材 | | |
| 空間分解能 *1 | | |
| 1次レンズ | 10× (NA 0.45) | 20× (NA 0.75) |
| 2次レンズ | 200 mm | |

*1 ORCA-Flash4.0 V3使用時の参考値です。システム構成により変動します。

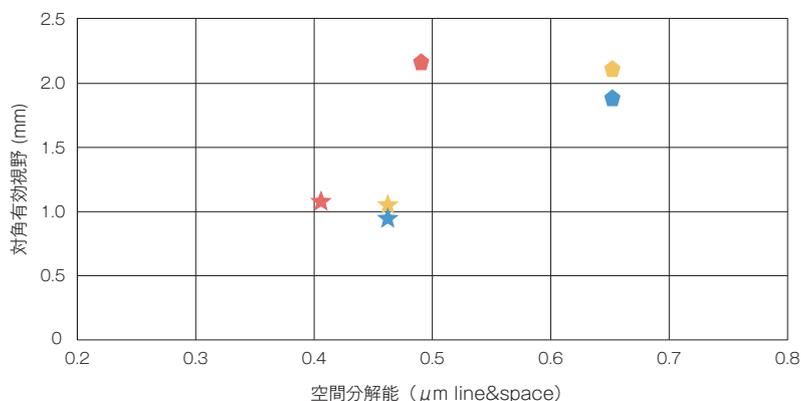
光路図



*1 蛍光面はオプションです。

*2 結像光学系の部品は、X線照射によりブラウニングが発生し、透過率が低下する可能性があります。

空間分解能と有効視野の相関図（参考データ）



| イメージングユニット | カメラ |
|-------------------|------------------|
| M11427-57 AA51 | ORCA-Quest |
| | ORCA-Flash4.0 V3 |
| | ORCA-Fusion |
| M11427-58 AA51 | ORCA-Quest |
| | ORCA-Flash4.0 V3 |
| | ORCA-Fusion |

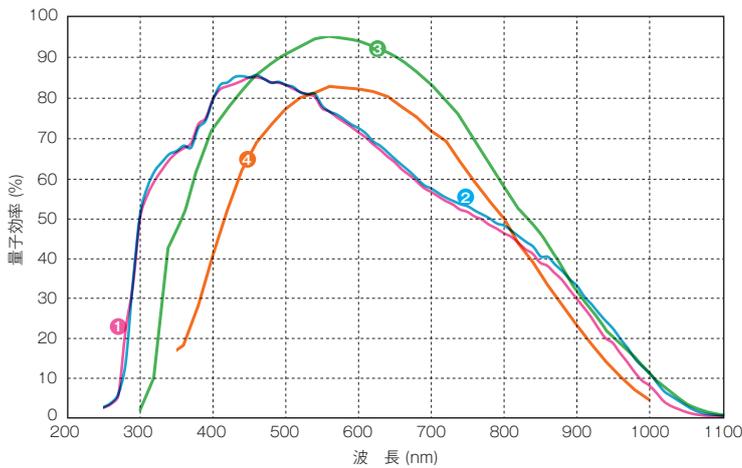
*左図の空間分解能、有効視野は蛍光体なしで可視光にて計測した実測値の一例です。参考データとしてご参照ください。詳細な計測条件についてはお問い合わせください。

オプション カメラ

| カメラ | ORCA-Quest 2 qCMOS [®] カメラ | | ORCA-Fire デジタルCMOSカメラ | | ORCA-Fusion BT デジタルCMOSカメラ | | ORCA-Flash4.0 V3 デジタルCMOSカメラ | |
|---|---|------|---|--------|---|------|---|-----|
| 型名 | C15550-22UP | | C16240-20UP | | C15440-20UP | | C13440-20CU | |
| |  | |  | |  | |  | |
| 感度波長範囲 (nm) | ① | | ② | | ③ | | ④ | |
| 有効画素数 (H×V) | 4096 × 2304 | | 4432 × 2368 | | 2304 × 2304 | | 2048 × 2048 | |
| 画素サイズ [μm (H) × μm (V)] | 4.6 × 4.6 | | 4.6 × 4.6 | | 6.5 × 6.5 | | 6.5 × 6.5 | |
| 有効素子サイズ [μm (H) × μm (V)] | 18.841 × 10.598 | | 20.387 × 10.892 | | 14.976 × 14.976 | | 13.312 × 13.312 | |
| 飽和電荷量 (electrons, typ.) ^{*1} | 7000 | | 20 000 | | 15 000 | | 30 000 | |
| 読み出し速度 (フレーム/秒, typ.) ^{*1} | Standard scan | 120 | 全画素読み出し | 115 | Fast scan | 89.1 | Standard scan | 100 |
| | Ultra quiet scan | 25.4 | 垂直4ライン読み出し | 19 500 | Standard scan | 23.2 | Slow scan | 30 |
| | — | — | — | — | Ultra quiet scan | 5.42 | — | — |
| 読み出しノイズ (electrons, rms, typ.) ^{*1} | Standard scan | 0.43 | 全画素読み出し | 1.0 | Fast scan | 1.6 | Standard scan | 1.6 |
| | Ultra quiet scan | 0.30 | — | — | Standard scan | 1.0 | Slow scan | 1.4 |
| | — | — | — | — | Ultra quiet scan | 0.7 | — | — |

*1 条件によって異なります。詳細については別途お問い合わせください。

分光感度特性



オプション 蛍光面

| 接合方法 | 型名 | 蛍光体材料 | ピーク波長 | 蛍光減衰時間 | 蛍光体厚 | 蛍光体直径 | 蛍光体有効径 | 蛍光面母材 | スペーシング |
|------------------------------|----------------|--|--------|--------|---------|-------|--------|----------------------------------|---|
| 直接接合 | A15150-LU010DB | LuAG ^{*1} (Lu ₃ Al ₅ O ₁₂ : Ce ⁺) | 535 nm | 70 ns | 10 μm | 15 mm | 10 mm | アモルファスカーボン 直径20 mm 厚さ 1 mm | 黒色プラスチック 外径20 mm 内径16 mm 厚さ 2 mm |
| | A15150-LU050DB | | | | 50 μm | | | | |
| | A15150-LU100DB | | | | 100 μm | | | | |
| | A15150-GA010DB | GAGG ^{*1} (Gd ₃ Al ₂ Ga ₃ O ₁₂ : Ce ⁺) | 520 nm | 92 ns | 10 μm | | | | |
| | A15150-GA050DB | | | | 50 μm | | | | |
| | A15150-GA100DB | | | | 100 μm | | | | |
| 接着剤接合 | A15150-LU010GB | LuAG ^{*1} (Lu ₃ Al ₅ O ₁₂ : Ce ⁺) | 535 nm | 70 ns | 10 μm | 15 mm | 10 mm | アモルファスカーボン 直径20 mm 厚さ 1 mm | 黒色プラスチック 外径20 mm 内径16 mm 厚さ 2 mm |
| | A15150-LU050GB | | | | 50 μm | | | | |
| | A15150-LU100GB | | | | 100 μm | | | | |
| | A15150-GA010GB | GAGG ^{*1} (Gd ₃ Al ₂ Ga ₃ O ₁₂ : Ce ⁺) | 520 nm | 92 ns | 10 μm | | | | |
| | A15150-GA050GB | | | | 50 μm | | | | |
| | A15150-GA100GB | | | | 100 μm | | | | |
| フリー スタンディング ^{*2} | A15141-LU | LuAG ^{*1} (Lu ₃ Al ₅ O ₁₂ : Ce ⁺) | 535 nm | 70 ns | 1000 μm | 20 mm | 16 mm | — | |
| | A15141-GA | GAGG ^{*1} (Gd ₃ Al ₂ Ga ₃ O ₁₂ : Ce ⁺) | 520 nm | 92 ns | | | | | |

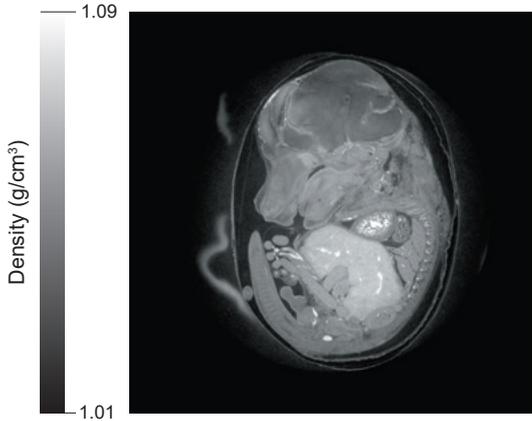
*1 LuAG、GAGGには、部分的に線傷、白点が生じます。これらは単結晶蛍光体の特性によるものであり、不良ではありません。

*2 利用環境の可視光を遮蔽する必要があります。

高エネルギー物理学 / 放射光実験

X線や高エネルギー粒子のイメージング用途で、可視光に変換するシンチレータをカップリングした科学計測用カメラが使用されています。瞬間的な現象をリアルタイム検出するために、低ノイズかつ高速なイメージング検出システムを必要としています。

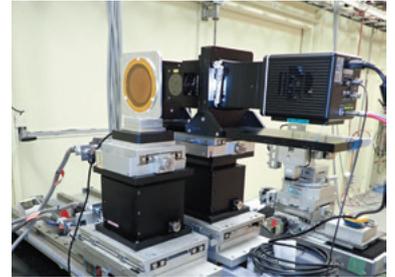
マウス胎仔のX線位相CT像



測定光学系全景

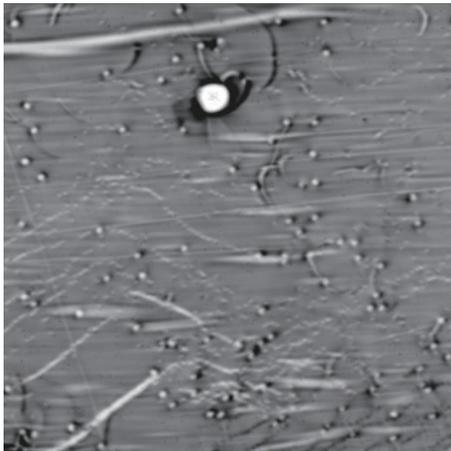


カメラ付近拡大



マウス胎仔のX線位相CT像 (カメラ: ORCA-Quest / 光学系: 高解像度X線イメージングユニット (M11427) / ビームライン: SPring-8 BL20B2)
露光時間: 15 ms、トータル計測時間: 6.5 min
提供: JASRI 散乱・イメージング推進室 主幹研究員 星野真人 様

SiC 欠陥観察

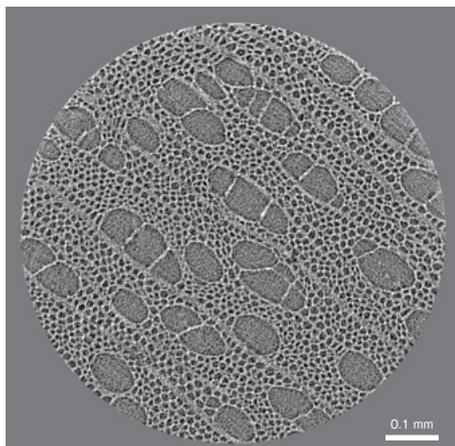


撮像条件

| | |
|----------|--|
| 手法 | X線トポグラフィー |
| カメラ | ORCA-Flash4.0 V3 |
| 撮影対象 | SiC 単結晶基板 (結晶中の転位) |
| 露光時間 | 10 s |
| X線エネルギー | 9 keV |
| 画素サイズ | 0.65 μm |
| 撮影倍率 | $\times 10$ |
| 対象画像の画素数 | 1970 pixels \times 1970 pixels (1.28 mm \times 1.28 mm) |
| 蛍光面 | LuAG 10 μm |

提供: 三重大学 研究基盤推進機構 半導体・デジタル未来創造センター教授
(兼) ファインセラミックスセンター 材料技術研究所 客員主管研究員
姚 永昭 様

木材の内部観察



撮像条件

| | |
|---------|--------------------|
| 手法 | X線CT |
| カメラ | ORCA-Fusion BT |
| 撮影対象 | 爪楊枝 |
| 露光時間 | 100 ms/ 投影 |
| 投影数 | 1800 |
| X線エネルギー | 15 keV |
| 画素サイズ | 0.65 μm |

提供: 一般財団法人光科学イノベーションセンター

立体画像構築後の断面図

ORCA-Quest 2 qCMOS カメラ

C15550-22UP

極めて優れた低読み出しノイズにより光子数識別を実現

ORCA-Quest 2は、浜松ホトニクスで培われた設計技術を駆使して、0.30 electrons rmsという極限の低ノイズ性能と高速読み出しを実現したカメラです。極微弱光下での定量イメージングに最適です。

特長

- ・読み出しノイズ：0.3 electrons rms^{*1} ・暗電流：0.006 electrons/pixel/s (-35 °C時)
- ・読み出し速度：約25フレーム/秒^{*1} ・解像度940万画素：4096 (H) × 2304 (V)
- ・光子数識別出力の実現

^{*1} Ultra quiet scan

URL <https://www.hamamatsu.com/jp/ja/product/cameras/qcmos-cameras/C15550-22UP.html>



X線sCMOSカメラ

C12849-111U

高分解能、高感度なX線sCMOSカメラ

X線sCMOSカメラは、高分解能、高感度なX線sCMOSカメラです。33 lp/mmの空間分解能により、微小対象物のX線撮像に最適です。また、コンパクトな製品のため、マイクロX線CT撮像等の装置組み込みにも適しています。

特長

- ・空間分解能：33 lp/mm
- ・解像度400万画素：2048 (H) × 2048 (V)
- ・読み出し速度：30フレーム/秒

URL <https://www.hamamatsu.com/jp/ja/product/cameras/x-ray-cmos-cameras/C12849-111U.html>



その他の用途も弊社 Web サイトで公開しています

<https://camera.hamamatsu.com/jp/ja.html>



- ORCA、αCMOSは、浜松ホトニクス（株）の登録商標です。
- その他の記載商品名、ソフトウェア名等は該当商品製造会社の商標または登録商標です。
- カタログに記載の測定データにおけるご提供者の氏名・所属等は、現在と異なる場合があります。
- カタログに記載の分光感度特性グラフは代表例を示すもので、保証するものではありません。
- カタログの記載内容は2025年3月現在のものです。本内容は改良のため予告なく変更する場合があります。

浜松ホトニクス株式会社 www.hamamatsu.com

| | | | |
|---------------------------------|--|--------------------|--------------------|
| <input type="checkbox"/> 仙台営業所 | 〒980-0021 仙台市青葉区中央3-2-1 (青葉通プラザ11階) | TEL (022) 267-0121 | FAX (022) 267-0135 |
| <input type="checkbox"/> 東京営業所 | 〒100-0004 東京都千代田区大手町2-6-4 (常盤橋タワー11階) | TEL (03) 6757-4994 | FAX (03) 6757-4997 |
| <input type="checkbox"/> 中部営業所 | 〒430-8587 浜松市中央区砂山町325-6 (日本生命浜松駅前ビル) | TEL (053) 459-1112 | FAX (053) 459-1114 |
| <input type="checkbox"/> 大阪営業所 | 〒541-0052 大阪市中央区安土町2-3-13 (大阪国際ビル10階) | TEL (06) 6271-0441 | FAX (06) 6271-0450 |
| <input type="checkbox"/> 西日本営業所 | 〒812-0013 福岡市博多区博多駅東1-13-6 (いちご博多イーストビル5階) | TEL (092) 482-0390 | FAX (092) 482-0550 |

システム営業推進部 〒431-3196 浜松市中央区常光町812 TEL (053) 431-0150 FAX (053) 433-8031

Cat. No. SCAS0169J03
MAR/2025 HPK