

# SmartLab

全自動多目的X線回折装置



**Rigaku**

視るチカラで、世界を変える

# 最高の先へ

## 先進テクノロジーが生み出す、最高峰のデータ

リガクは、70年以上にわたり、X線分析を中心に、常に最先端の分析装置を開発・提供し続けています。

2006年に初登場したSmartLabシリーズは、多様化する分析ニーズに応え、最高の技術とノウハウを惜しみなく盛り込んだリガクX線回折装置のフラッグシップモデルです。世界をリードする多くの研究者から支持されてきました。

リガクはSmartLabがあらゆるX線回折・X線散乱アプリケーションで最高のパフォーマンスを提供できるように、画期的なハードウェアだけでなく、先進ユーザー支援プログラム「ユーザーガイダンス」を開発し、多目的X線回折装置の新基準を確立しました。

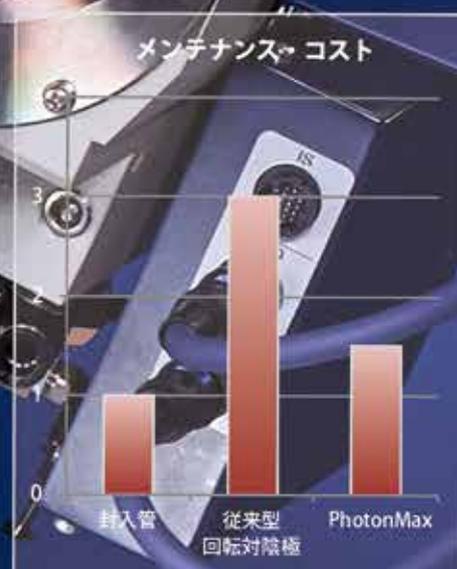
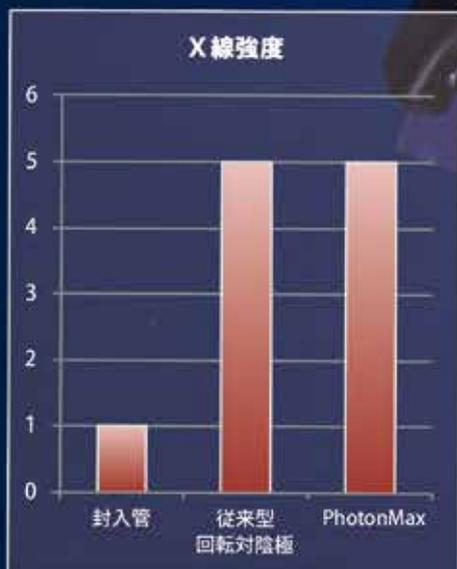
10年を超えるベストセラーシリーズの新時代が、今、始まります。



# ハイパフォーマンス X 線源

## PhotonMax

仕様	
出力	9 kW
フォーカス	ファインフォーカス
ターゲット材質	Cu Co Cr Mo
ロングライフタイム型ターゲット採用	

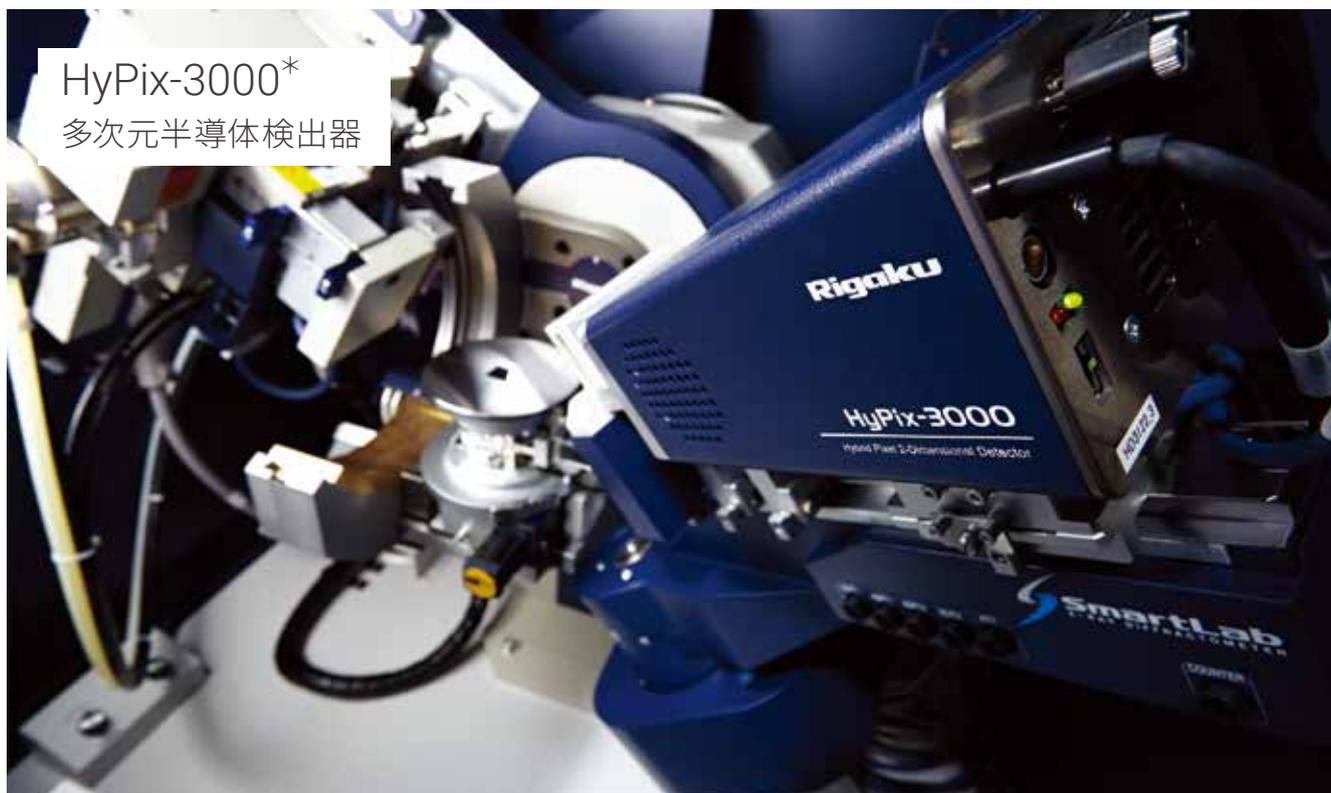




新メカニカルシールを採用し、  
ターゲットのライフタイムが  
大幅に改善されました。



## 最先端ハイブリッドピクセルアレイ検出器



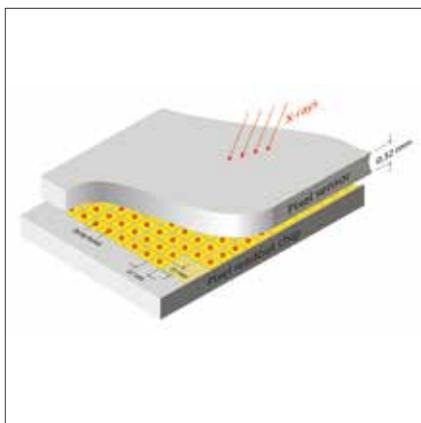
HyPix-3000\*  
多次元半導体検出器

- 0次元 (0D) / 1次元 (1D) / 2次元 (2D)  
全ての測定モードをカバー
- 優れたエネルギー分解能
- バックグラウンドノイズを極限までカット
- 広いダイナミックレンジ
- ゼロデッドタイム測定
- メンテナンスフリー

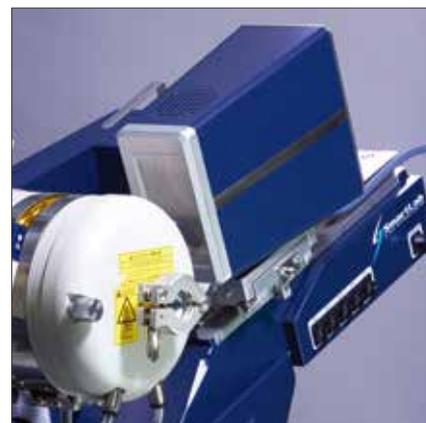
有効検出面積	2,984 mm <sup>2</sup> (77.5×38.5 mm)
ピクセルサイズ	100 μm × 100 μm
ピクセル数	775 × 385 = 298,375 ピクセル
計数率	2.9 × 10 <sup>11</sup> (1×10 <sup>6</sup> cps/pixel)
対応波長	Cu Co Cr Mo
エネルギー分解能	従来比40%向上



あらゆるXRD測定に対応



フォトンカウンティング方式



90°回転で固定モード測定

\*本製品は、Department of Measurement and Electronics、AGH University of Science and Technology (ポーランド) と株式会社リガクが共同開発しています。

## 優れたエネルギー分解能

試料から発生する蛍光X線によるバックグラウンドノイズは、微小なピークやアモルファス成分から生じる散乱信号を観察困難にします。また観察されたピークの強度を正しく計算することを妨げます。

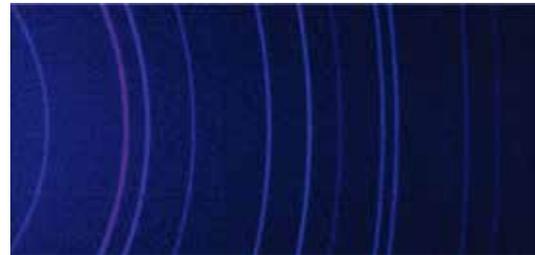
蛍光X線は、試料と検出器の間にモノクロメーターを配置して分光することにより除去できます。しかしデバイリングを観察する2次元測定では、モノクロメーターなどの光学素子を試料と検出器の間に配置することはできません。

HyPix-3000では、蛍光X線低減モード（検出器のエネルギー分解能を活用して不要な蛍光X線を計数しないモード）を利用できます。

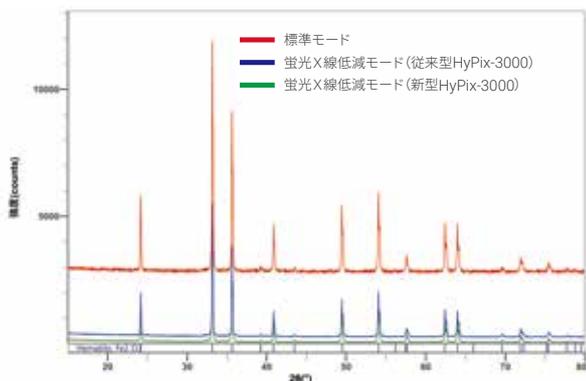
優れたエネルギー分解能がバックグラウンドノイズの抑制に大きく貢献します。



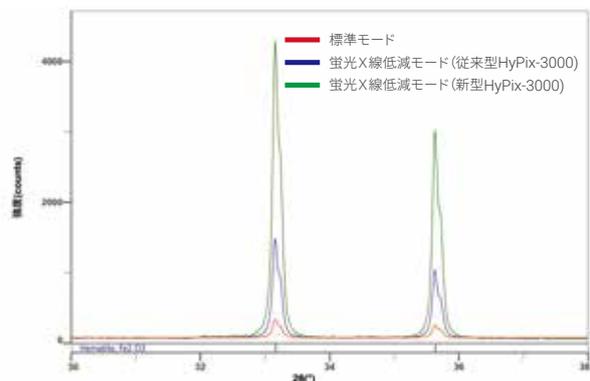
標準モードで測定した2次元パターン



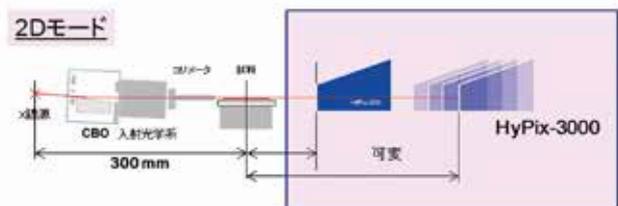
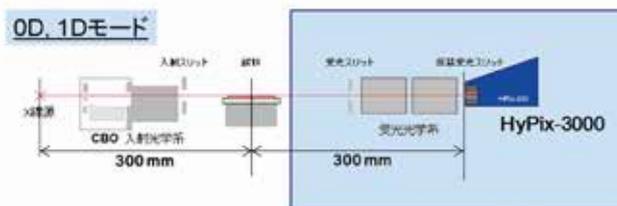
蛍光X線低減モードで測定した2次元パターン



標準モード、蛍光X線低減モード（従来型HyPix-3000）、  
蛍光X線低減モード（新型HyPix-3000）の1次元パターン



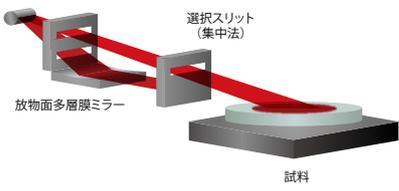
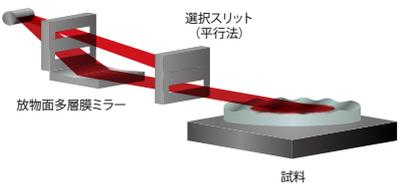
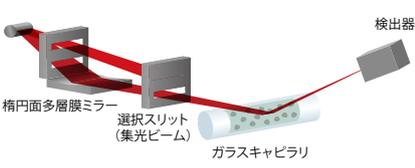
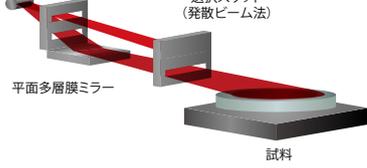
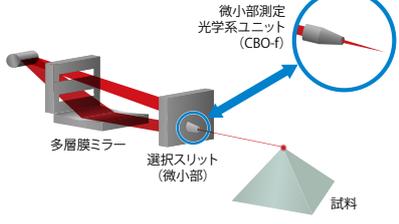
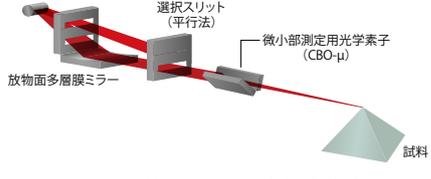
左図のデータをバックグラウンドで規格化した  
1次元パターン



HyPix-3000は2次元検出器としてだけでなく、1次元検出器や0次元検出器としても使用できます。それぞれの検出器を個別に準備し、用途に応じて載せ替える必要がなく、すべてのアプリケーションをこの1台で行うことができます。

# 多種のアプリケーションに対応する光学系

## CBO (Cross Beam Optics)

 <p>CBO</p>	 <p>発散ビーム</p>	 <p>平行ビーム</p>
 <p>CBO-E</p>	 <p>発散ビーム/集光ビーム</p>	 <p>CBO-α</p>
 <p>発散ビーム (高強度・低バックグラウンド)</p>	 <p>CBO-f</p>	 <p>ラインビームを約400 μmの微小点に集光。 管球のフォーカス切替不要。</p>
 <p>CBO-μ</p>	 <p>ラインビームを約100 μmの高輝度集光ビーム化。 管球のフォーカス切替不要。</p>	

## 検出器ラインアップ



1次元半導体検出器 D/tex Ultra250	
有効検出面積	384 mm <sup>2</sup> (19.2×20 mm)
ストリップ幅	75 μm
計数率	2.5 × 10 <sup>8</sup> (1×10 <sup>6</sup> cps/strip)
対応波長	Cu Co Cr Mo



新型 シームレス多次元ピクセル検出器 XSPA-400 ER*	
有効検出面積	369 mm <sup>2</sup> (9.6×38.4 mm)
ピクセルサイズ	75 μm × 75 μm
計数率	>1 × 10 <sup>9</sup> (1×10 <sup>5</sup> cps/pixel)
対応波長	Cu Co Cr Mo Ag
最高エネルギー分解能	340 eV

\*本製品は、HyPix-3000やD/tex Ultra250よりもエネルギー分解能が高い検出器です。  
詳しい情報はお問い合わせください。

## CBO-Auto 反射と透過の光学系変更は完全自動で



反射配置

試料形態やアプリケーションにより最適な測定法は異なります。一般的な粉末試料では集中法（反射法）が標準測定法です。一方で配向や粗大粒の影響がある試料（粉末・固体・フィルム）では透過法が最適なアプローチとなります。

SmartLabでは反射法/透過法の切替が完全自動で実行可能です。



透過配置

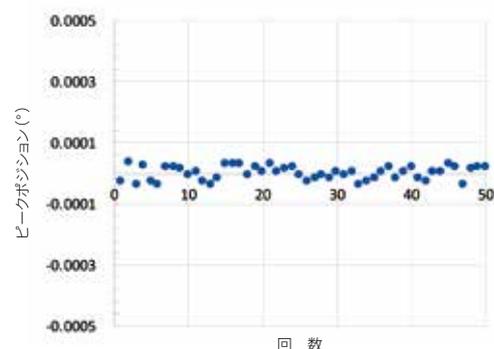
CBO-Auto	
Ts軸	自動制御
対応光学系	CBO-E (Cu) / CBO-E (Mo)
試料ステージ	反射/透過対応 ASC-6

## フルクローズ制御型ゴニオメーター



フルクローズ制御型 高精度ゴニオメーター	
方式	試料水平ゴニオメーター
ゴニオメーター半径	300 mm 150 mm-300 mm (2D測定時)
最小ステップ	0.0001°

ピークポジションの再現性



Si 004基板を繰り返し測定した際のピークポジションの再現性検証データです。基準精度±0.00004°のレンジ内の分布結果になりました。

## 機能性と安全性を追求したデザイン





シャッターCLOSEランプ



シャッターOPENランプ



X-RAYS ONランプ



EMOボタン



インターロック



電源キー



LEDライト



エラー



ドアロック



X線発生中



電源ON

### 安全性に配慮したエンクロージャー設計

- 漏洩X線線量 0.1  $\mu$ Sv以下
- 万一の誤操作時にも安全なインターロック機構搭載

### 人間工学に基づいた設計

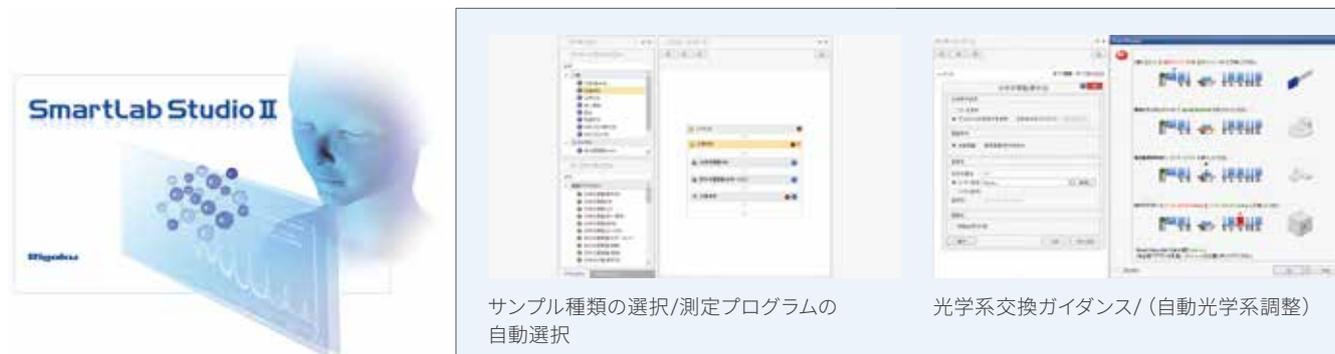
- ユーザーの負荷が少ない試料台の高さ
- 装置内部へのアクセシビリティに配慮した広い開口部で、アタッチメント交換もスムーズ

### 視認性の高いデザイン

- さまざまな角度から試料の状態を確認できる6枚の広角窓を配置
- 装置状態を確認しやすいインジケーター
- X線のON/OFFが容易に認識できるLEDランプを採用

# SmartLab Studio II

SmartLab Studio II は測定から解析まで全ての機能を備えた統合ソフトウェアです。

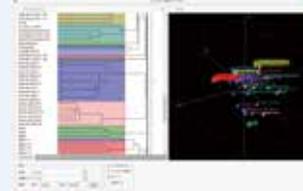
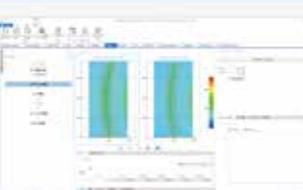
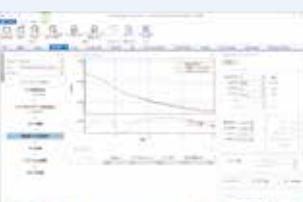


SmartLab Studio II のソフトウェアインターフェースのスクリーンショット。左側にはソフトウェアのロゴと「SmartLab Studio II」の文字が表示されています。右側には、サンプル種類の選択や測定プログラムの自動選択、および光学系交換ガイド（自動光学系調整）に関する設定画面が示されています。

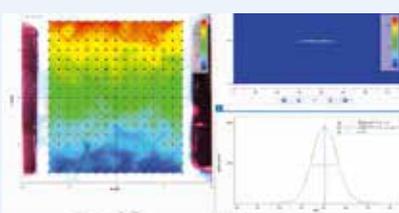
サンプル種類の選択/測定プログラムの自動選択

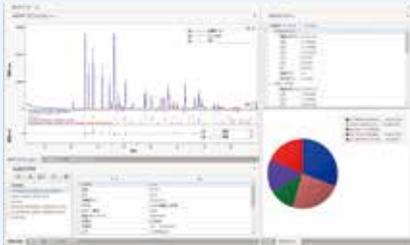
光学系交換ガイド/ (自動光学系調整)

## 代表的なアプリケーション

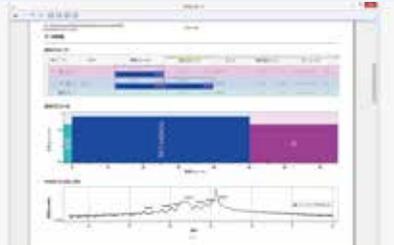
<p><b>粉末</b> Powder</p>		<p>相の同定 定量 結晶子サイズ・歪み 格子定数精密化 結晶化度 指数付け 構造決定 結晶構造精密化</p>		
<p><b>応力</b> Stress</p>		<p><math>\sin^2\psi</math>法 2D法 Multiple-HKL法</p>		
<p><b>小角散乱</b> SAXS</p>		<p>粒径分布 空孔径分布 長周期構造</p>		

## 微小領域測定

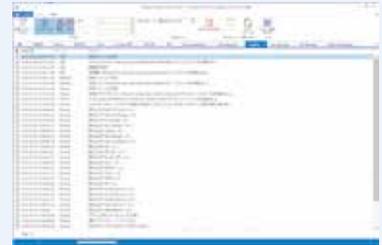
	<p>微小部光学系</p> <table border="1"> <tr> <td>コリメーター光学系</td> <td>50 <math>\mu\text{m}</math>~1 mm</td> </tr> <tr> <td>CBO-f</td> <td>400 <math>\mu\text{m}</math></td> </tr> <tr> <td>CBO-<math>\mu</math></td> <td>100 <math>\mu\text{m}</math></td> </tr> <tr> <td colspan="2">管球のフォーカス切替不要</td> </tr> </table>	コリメーター光学系	50 $\mu\text{m}$ ~1 mm	CBO-f	400 $\mu\text{m}$	CBO- $\mu$	100 $\mu\text{m}$	管球のフォーカス切替不要		
コリメーター光学系	50 $\mu\text{m}$ ~1 mm									
CBO-f	400 $\mu\text{m}$									
CBO- $\mu$	100 $\mu\text{m}$									
管球のフォーカス切替不要										



測定/データ処理/解析

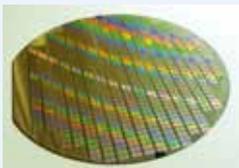


レポート作成

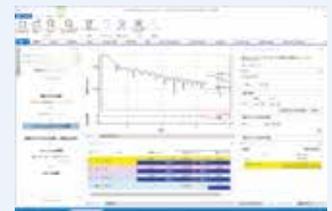
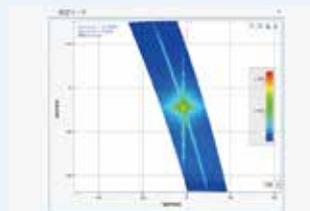


制御/解析履歴の確認

## 薄膜 Thin Film



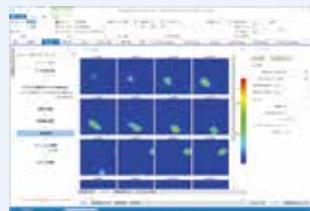
膜厚  
密度  
ラフネス  
組成



## 配向 Texture



極点図  
ステレオ投影図  
ODF計算  
逆極点図



## 動径分布 PDF



PDF計算  
シミュレーション



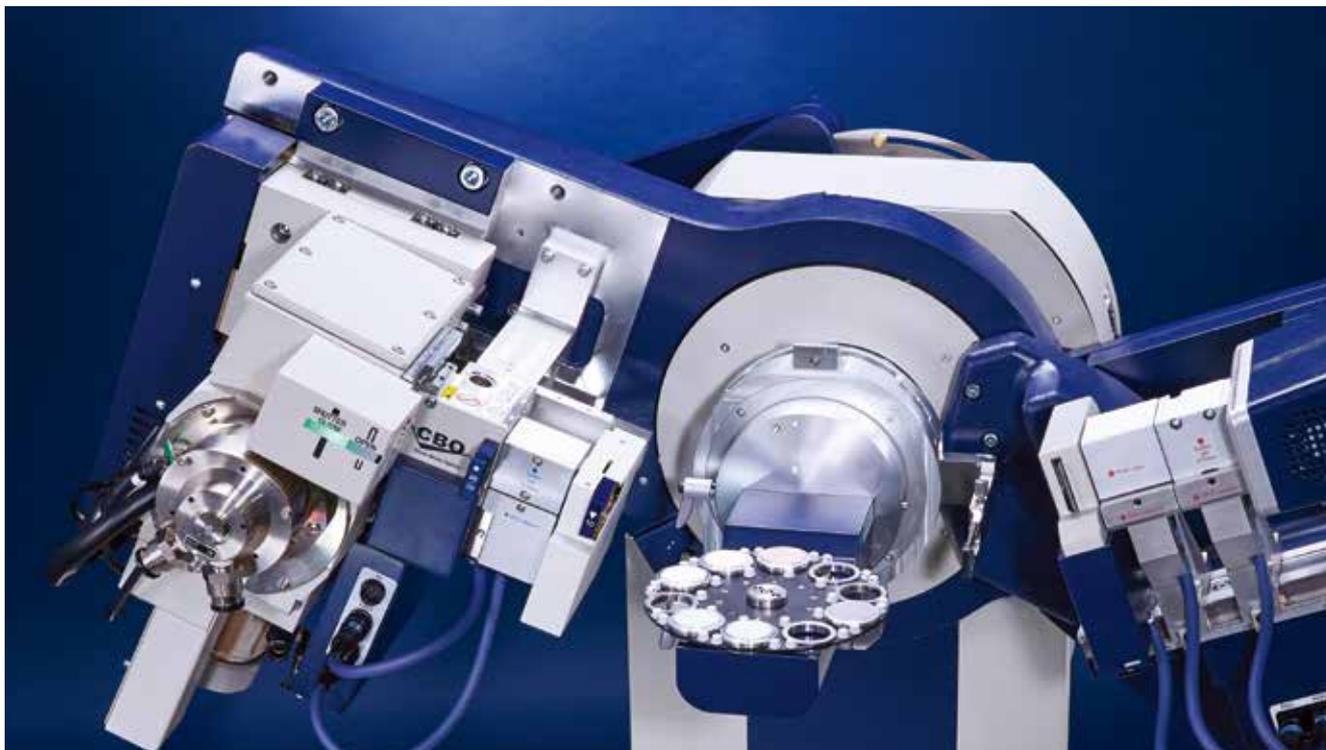
## 大型試料ステージ



### 仕様

可動範囲	X軸：-37~50 mm, Y軸：-50~50 mm, Z軸：-20~20 mm
各軸最小ステップ幅	0.001 mm
試料最大重量	20 kg

## 進化した粉末X線回折測定

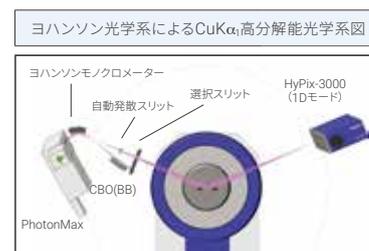


- 最先端の2次元パターン定性分析 (2D-ID)  
(2D pattern phase identification)
- 定性分析からリートベルト解析までシームレスに実行可
- DSCや他データとのXRDデータドッキング対応

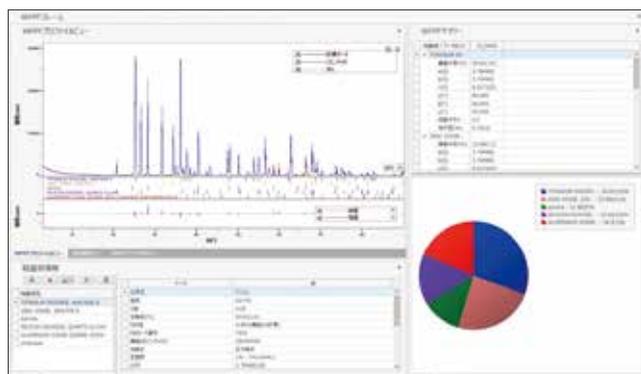


### SmartLab Studio II のリートベルト解析

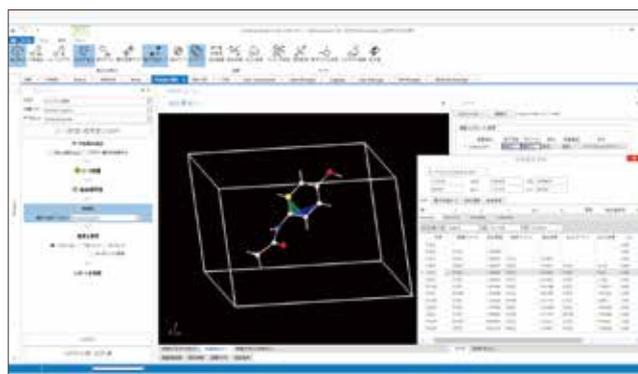
- 定性分析の結果から、必要な初期結晶構造データを自動的入力
- WPPF法 (Whole Powder Pattern Fitting) を搭載
- FP法 (Fundamental Parameter) を用いた結晶子サイズ分布解析
- BVS法 (Bond valence sum) による金属原子酸化状態の推定



### セメントの定性分析およびリートベルト解析を用いた定量分析



### 有機粉末の結晶構造精密化



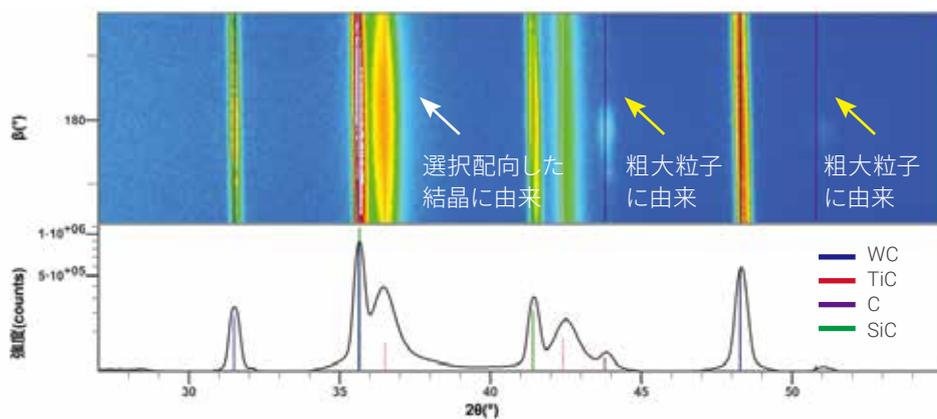
## 2次元回折パターンから定性分析を行う利点

一般的に粉末X線回折測定では、試料が十分に小さな粒径になるまで粉砕してから測定をすることで理想的なパターンが得られます。しかしながら粉砕過程における結晶相転移の課題や、バルク試料や薄膜試料は粉砕せずに測定したいニーズがあります。

結晶の粒径が大きい場合（粗大粒子）や選択配向がある場合には、従来の粉末測定法ではピーク強度がばらつく、あるいはピークが観察されないなど、確実な定性分析を実行するための障壁になっていました。

HyPixで測定すると粉末回折の2次元パターンが得られます。2次元パターンには、粗大粒子や選択配向を示唆する特徴的なパターンが見られます。それらを分類（クラスタリング）することで、2次元パターンの情報を1次元パターンに加えた定性分析が可能です。

2次元回折パターンを利用した超硬バイトの定性分析



製薬業界へのソリューション  
FDA 21 CFR Part11の対応

- 高いセキュリティ
- データの完全性
- 監査証跡
- IQ/OQ/PQ
- コンピュータシステムバリデーション



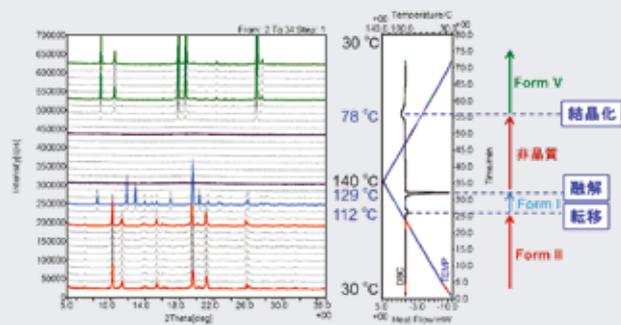
バリデーション文書  
IQ/OQ/PQ



電子記録/電子署名(ER/ES)対応ソフトウェア



XRD-DSCアタッチメント



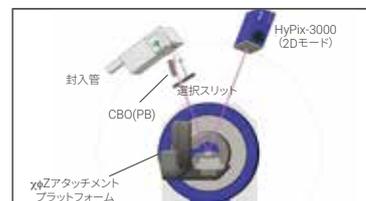
トルブタミド（糖尿病薬）のXRD-DSC同時測定

## 多数の解析手法に対応した残留応力評価

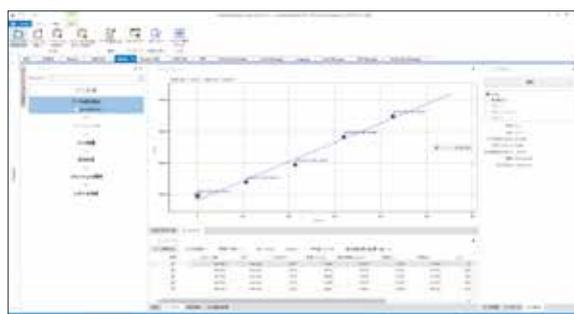


- 金属材料においても、複数の軸を使用し、正確な応力測定手法を提供します。
- 複雑な応力状態も様々なモデルに対応し、せん断応力を持った材料・薄膜材料の応力も解析可能です。

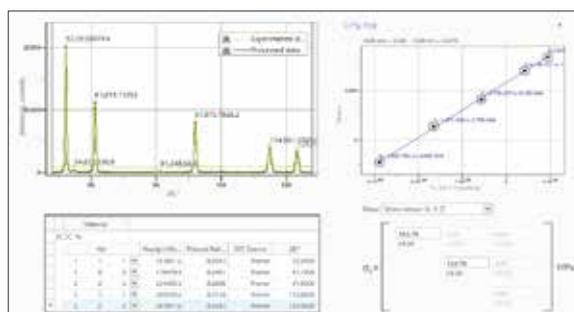
残留応力測定光学系図



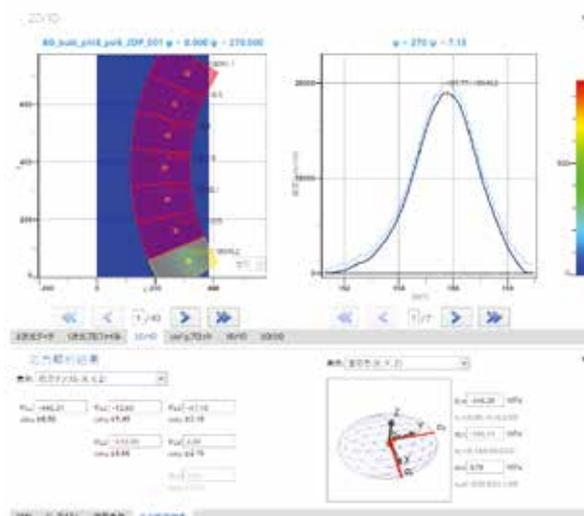
$\sin^2\psi$ 法：サンドブラスト処理されたNiの1軸応力測定結果



Multi HKL法：Ni薄膜の薄膜応力測定結果



3軸応力：ショットピーニングされた鉄材料の3軸応力測定結果



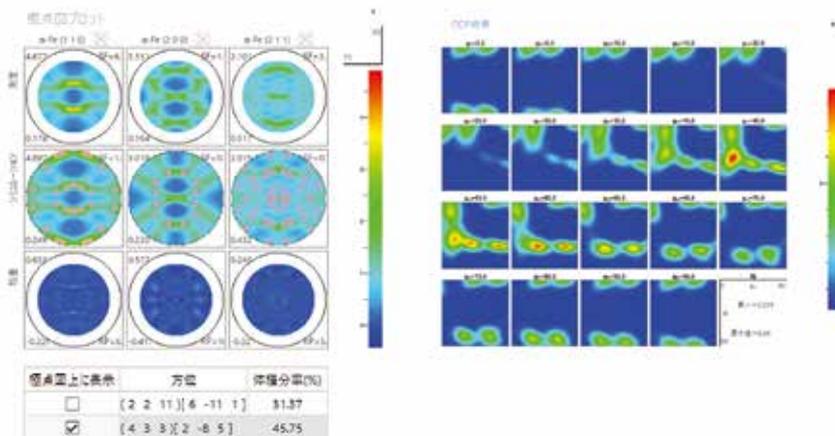
# 極点図とODF解析



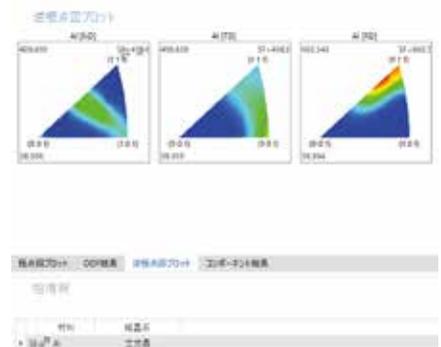
- インプレーン測定または透過測定を行うことで、全極点図を取得可能です。
- $\alpha$ - $\beta$ アタッチメントは $\gamma$ 揺動を行うことのできるため、粗大粒の影響を緩和できます。
- 2次元検出器を使用することにより、複数面の極点図を1回の測定で対応できます。
- 複雑な集合組織の解析も、極点を取得するだけでなく、ODF解析 (Orientation Distribution Function) を用いたシミュレーション解析を行うことで、実際の方位分布の割合を計算できます。
- 逆極点図から試料表面と平行の格子面の方位関係を把握できます。



SUS430の極点・ODF解析



Al箔の逆極点図



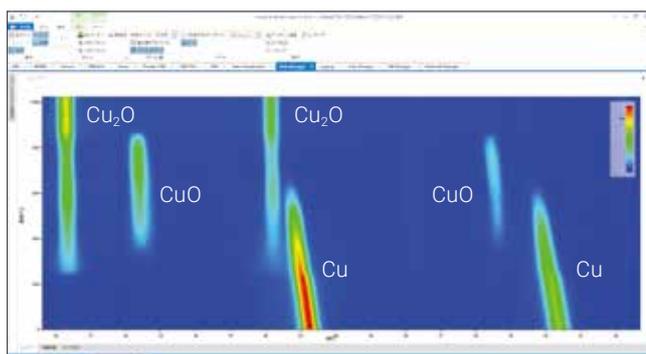
## in-situ/operando測定



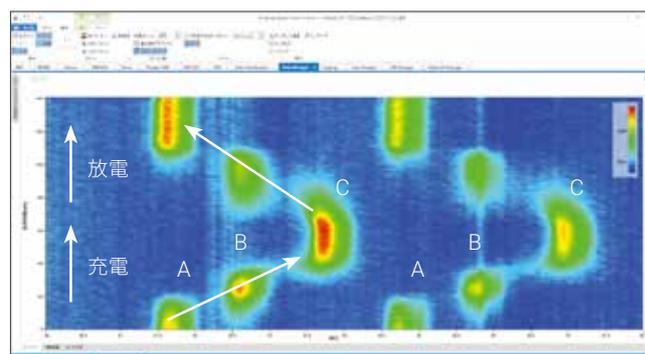
- 二次元検出器HyPixは、 $2\theta$ で $30^\circ$ 以上の広範囲を最短0.1秒で測定が可能です。
- リアクターXは、赤外加熱により高速昇温を実現しています。ヒーター部と試料室部は分離されているため、さまざまなガス種に対応可能です。

- 電池材料評価に欠かせない充放電評価に対応した、電池セルアタッチメントとラミネートセルアタッチメントを用意しています。
- *in-situ/operando*測定で得られた多量のデータは、ソフトウェアで一括処理が可能です。さらに角度・強度に、時間軸などを加えて、視覚的で効果的な3D図も簡単に作成できます。

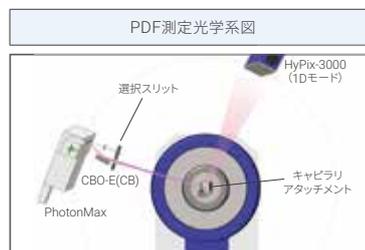
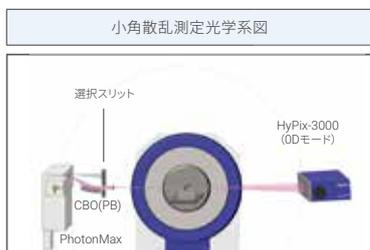
Cuの*in-situ*高速昇温測定結果 (300°C/min)  $2\theta$ -温度-強度



Li (Ni,Mn) O<sub>4</sub>のoperando充放電測定結果  $2\theta$ -時間-強度



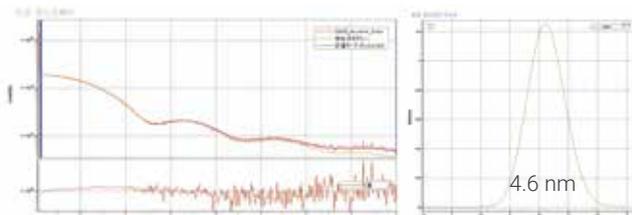
# ナノマテリアル解析



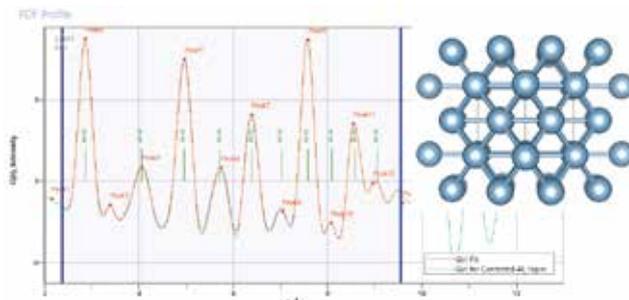
● SAXSからは、実材料の粒子径 (～100 nm) とその分布、また周期構造を解析可能です。さらにUSAXS (Ultra SAXS) も測定可能で、～1000 nmの粒子径測定を実現しました。

● PDFは、逆空間のデータを逆フーリエ変換することによって実空間の情報を引き出す手法です。試料の結晶性に関係なく原子間距離・配位数・周期性を解析できます。

Auナノ粒子の粒径サイズおよび分布解析



Al金属のPDF解析結果



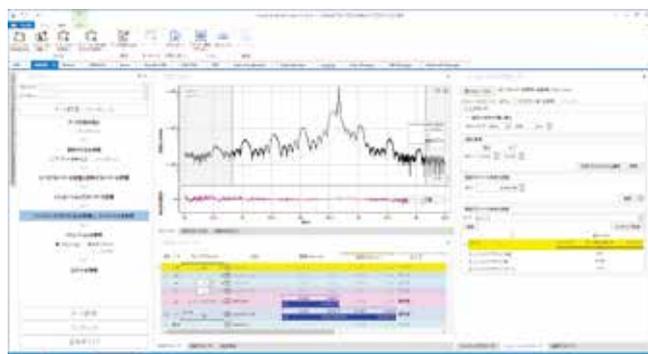
## 高分解能薄膜材料評価



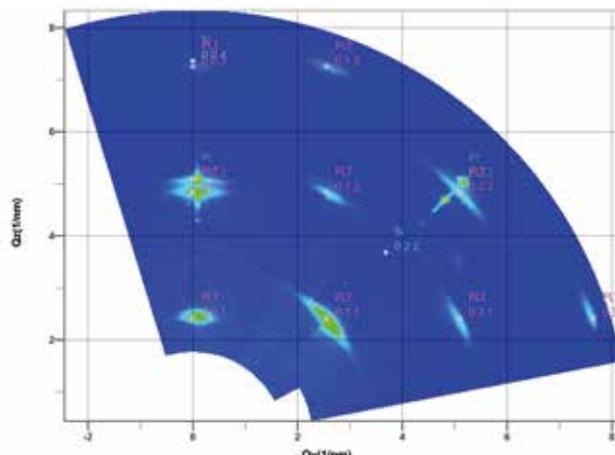
- $x$ ,  $\varphi$  軸を標準装備した薄膜専用のゴニオメーターを採用し、薄膜解析に必要なあらゆる測定に対応可能です。
- 入射角度を微小角に制御することで薄膜表面のみの情報を得ることができます。
- Ge結晶モノクロメータを利用したCuK $\alpha_1$ 高分解能平行ビーム光学系でエピタキシャル成長膜などの単結晶薄膜材料の評価が可能です。
- 高分解能ロッキングカーブ測定 (HRRC) で薄膜の構造 (組成・膜厚) 解析が可能です。



HRRCを用いたInGa $N$ /Ga $N$  MQW薄膜の膜厚解析

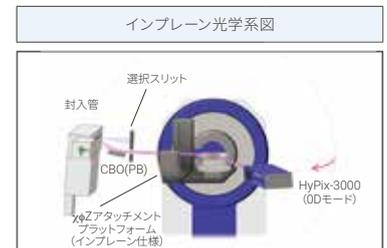


2次元検出器を利用した強誘電薄膜材料の高速広域逆格子マップ測定

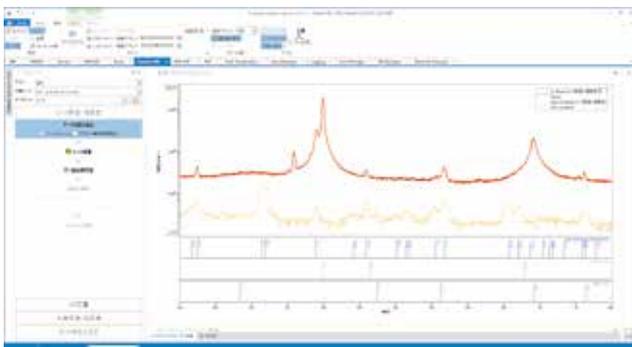




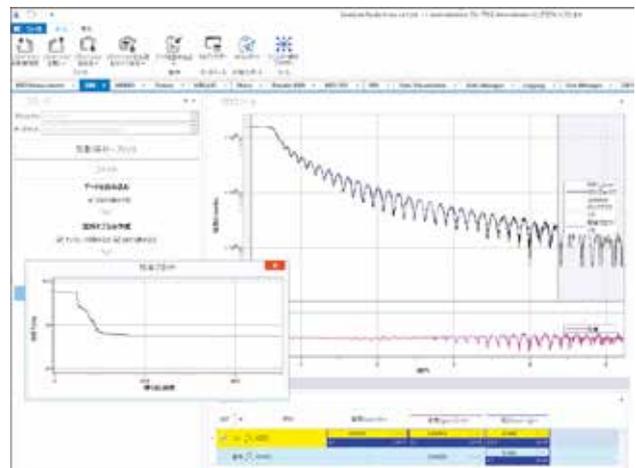
- リガク独自のin-plane軸により、X線入射角を精密に制御した面内回折測定が可能です。
- 逆格子マップ測定により基板と膜の方位関係、結晶状態などを知ることができます。逆格子シミュレーションを用いることで、膜の状態を容易に判別できます。
- 2次元検出器HyPix-3000の大面积を活用し、広域逆格子マップを短時間で取得可能です。測定中はリアルタイムに逆格子マップを描画し、解析時間を短縮します。



#### Out-of-plane/in-plane測定



#### X線反射率 (XRR) を用いたIGZO膜の膜厚・密度解析



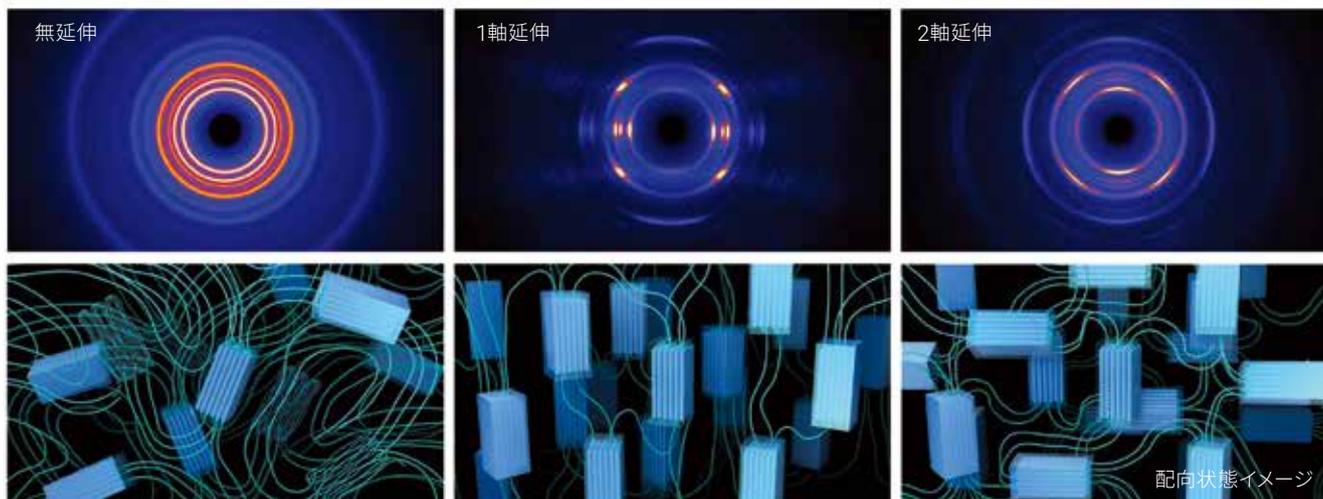
## 放射光に迫る2次元パターン測定



- フィルム材料の透過2次元パターン測定が可能です。デバイリング全周を測定することができるため、配向状態や配向度の評価が容易です。
- 透過WAXS (Wide Angle X-ray Scattering) /SAXS (Small Angle X-ray Scattering) の切り替えが可能で、長周期構造から格子レベルまでの情報を取得できます。
- さまざまな試料形状に適したホルダーにより、粉末・フィルム・繊維試料にも対応しており、サンプル内のマッピング測定を行うことができます。フィルム断面方向からの測定も可能です。



透過WAXSによるポリプロピレンの結晶状態観察

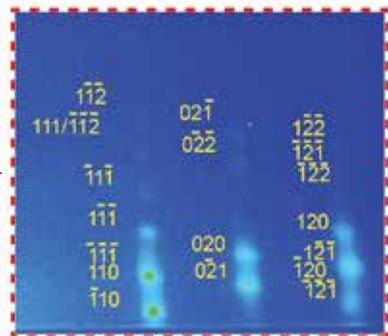
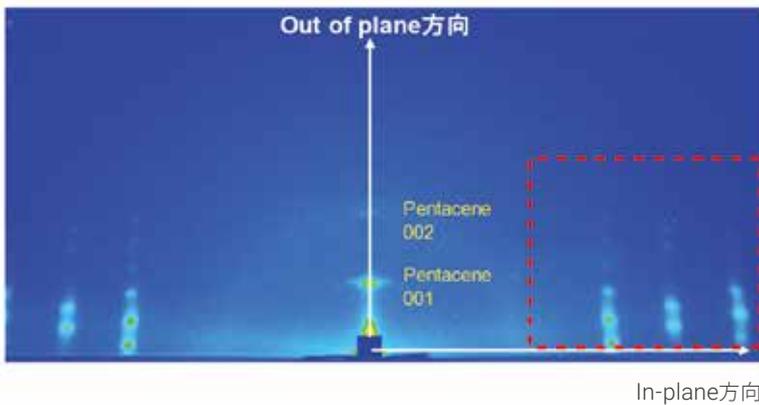




- GI-SAXS/WAXSユニットを用いることで、薄膜材料の2次元測定を行うことができます。
- 新開発のアーチャースリット（特許出願中）でin-plane方向のプロファイルをより鮮明に捉えることが可能です。
- 積層方向と面内方向の情報を1回の測定で取得できます。
- 有機薄膜層の配向状態や結晶性などを短時間で評価可能です。



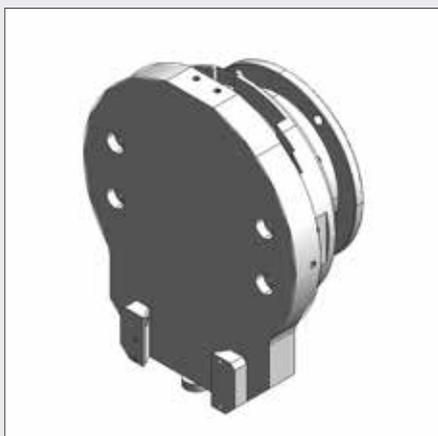
GI-WAXSによるペンタセン薄膜の相同定



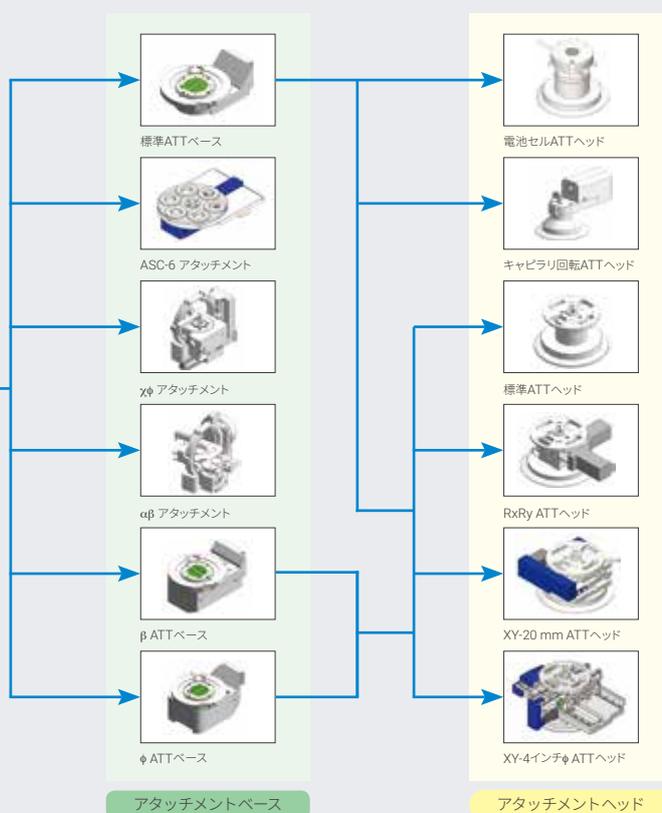
薄膜相を検出

# アタッチメント

SmartLab  
粉末測定用



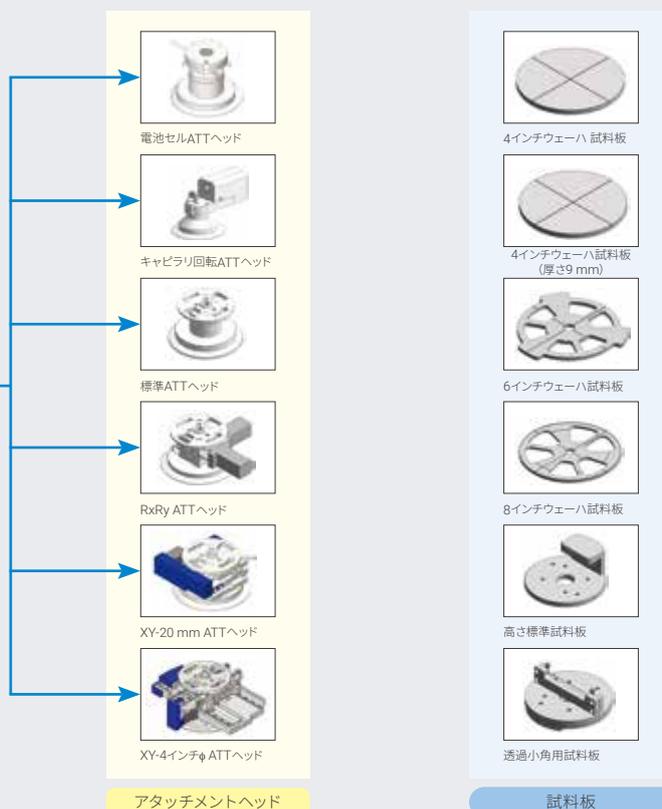
汎用アタッチメントプラットフォーム



SmartLab  
薄膜測定用



$\chi\phi Z$ アタッチメントプラットフォーム



# 仕様

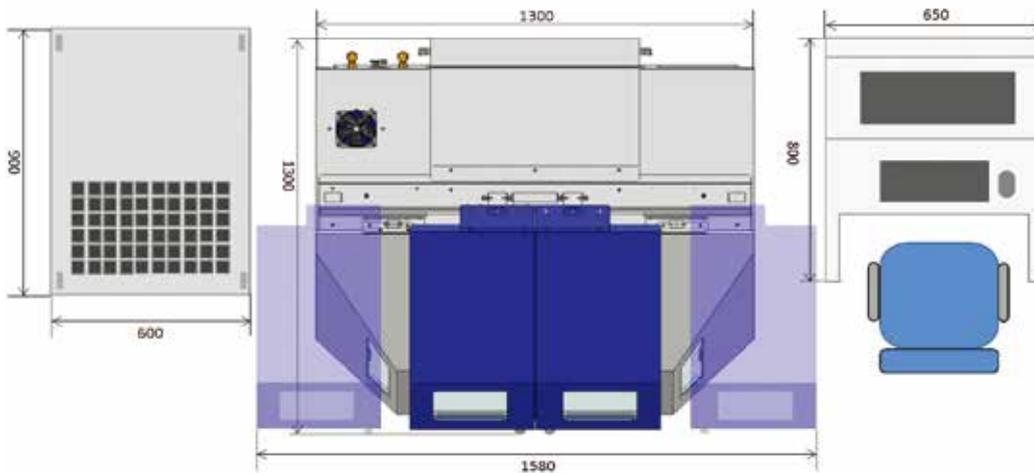
X線発生部*		
出力	3 kW	9 kW 回転対陰極式
管電圧可変範囲	20 - 60 kV	20-45 kV
管電流可変範囲	2 - 50 mA (60 mAはオプション)	10-200 mA
設置条件		
外形寸法	1,300 x 1,300 x 1,880 mm (W x D x H)	
質量 (標準仕様)	約750 kg	約850 kg
電源	3相 AC200 V 50/60 Hz, 30 A 単相 AC220 - 230 V 50/60 Hz, 40 A	3相 AC200 V 50/60 Hz, 60 A
接地抵抗	≤ 100 Ω	

\*最大定格値は管球の種類 (ターゲット、フォーカス) により決まっています。詳細は使用する管球の取扱説明書をご確認ください。

寸法図 (単位 : mm)



設置レイアウト例



## リガクの技術



多目的高輝度 X 線発生装置  
MultiMax-9



高輝度 X 線発生装置  
MicroMax-007HF



人工多層膜 X 線集光ミラー  
Confocal Mirror



人工多層累積膜  
RXシリーズ



高輝度マイクロフォーカス  
X 線発生装置  
MicroMax-003



超高輝度 X 線発生装置  
FR-X



光学系切替ユニット  
CBO シリーズ



K $\alpha_1$  光学系

## X 線発生装置

リガクは1952年、世界で初めて回転対陰極型 X 線発生装置を製品化しました。現在は山梨工場、及び米国で 50 W ~ 9000 W 出力のラインアップで、高輝度、高出力型から封入管タイプのマイクロフォーカス X 線発生装置までを開発生産しています。高電圧発生電源も小型で従来よりも安定したモールドタイプの電源を開発生産しています。

## X 線光学素子

2000年にグループ化した Rigaku Innovative Technologies, Inc.にて、X 線分光・集光素子の開発・製造を行っています。人工多層累積膜の高度な技術で製作された光学素子による X 線の単色化・集光・平行化は、高精度・高感度の X 線分析の重要な一部分です。大阪工場では、波長分散蛍光 X 線分析用の分光結晶を開発・製造しています。光学系の切り替えを容易にする CBO (Cross Beam Optics) シリーズも X 線分析の可能性を広げています。



ハイブリッド型  
2次元ピクセル検出器  
HyPix-6000C/6000HE



ハイブリッド型  
2次元ピクセル検出器  
HyPix-3000



ハイブリッド型  
2次元ピクセル検出器  
HyPix-400



高分解能・高速1次元検出器  
D/teX Ultra250/250HE



シームレス多次元ピクセル検出器  
XSPA-400ER



【放射光施設向け】  
超高速ハイブリッドピクセル  
2次元検出器  
XSPA-1M



【放射光施設向け】  
超高速ハイブリッドピクセル  
2次元検出器  
XSPA-4M



【放射光施設向け】  
超高速ハイブリッドピクセル  
2次元検出器  
XSPA-500K

## X線検出器

リガクのX線検出器には、1次元のD/teXシリーズや2次元のHyPixシリーズなど、高速・低ノイズ・高分解能などの特長を合わせ持つ直接検出型の半導体検出器が主力です。山梨工場には、クリーンルームと半導体プロセスライン、ボンディング装置をそろえ、検出器の自社生産をしています。また、2008年に設立したRigaku Innovative Technologies Europe s.r.o.では、超高分解能CMOSなどの開発も行っています。0/1/2次元の簡単な切替えなど利便性も追求し、検出器の革新を続けています。



Management System  
ISO 9001:2015  
ISO 14001:2015

www.tuv.com  
ID 9105040952



当社山梨工場は国際的な品質システムであるISO 9001およびISO 14001認証を取得し、お客様に信頼性の高い製品を提供できるよう、PDCAサイクルによる継続的な改善に取り組んでいます



# SmartLab

## 全自動多目的X線回折装置

- \* カタログ中に掲載されている性能上の数値は、株式会社リガクによるテスト結果であり、他の環境下で常に同様の結果となることを保証するものではありません。
- \* 「SmartLab」、「SmartLab Studio」、「D/teX」、「HyPix」、「XSPA」は、株式会社リガクまたはその関連会社の商標または登録商標です。
- \* カタログ中の社名、製品名は各社の商標および登録商標です。
- \* このカタログに掲載されている製品は、外国為替および外国貿易法の安全保障輸出管理の規制品に該当する場合がありますので、輸出する場合、または日本国外に持ち出す際は、日本国政府への輸出許可申請等、必要な手続きをお取りください。

製品改良にとまない、やむをえず仕様・外観などを予告なく変更させていただく場合があります。ご了承ください。

株式会社リガク 〒196-8666 東京都昭島市松原町 3-9-12  
☎ (042) 545-8111 (代表電話案内) FAX. (042) 544-9795

東京支店 / 〒151-0051 渋谷区千駄ヶ谷 5-32-10 ☎ (03) 5312-7077 FAX. (03) 5312-7078  
大阪支店 / 〒564-0063 吹田市江坂町 1-23-101 ☎ (06) 6879-1660 FAX. (06) 6879-1664  
東北営業所 / 〒980-0804 仙台市青葉区大町 1-2-16 ☎ (022) 264-0446 FAX. (022) 223-1977  
名古屋営業所 / 〒461-0002 名古屋市東区代官町 35-16 ☎ (052) 931-8441 FAX. (052) 931-2689  
九州営業所 / 〒802-0005 北九州市小倉北区堺町 2-1-1 ☎ (093) 541-5111 FAX. (093) 541-5288