

インドビームライン (BL-18B) の紹介

放射光科学第二研究系 熊井玲児

Abstract

PF 実験ホールの東側に回ると、実験ハッチにインドと日本の国旗が描かれたビームラインを目にしたことがあるかもしれません。このビームライン BL-18B はインドビームラインとよばれていることからわかるように、インド政府科学技術省 (DST) と KEK の協定 (MOU) に基づき、DST からのプロジェクトの支援によってインドの Saha Institute of Nuclear Physics (SINP) により運営されているビームラインです。当初、ビームラインの立ち上げフェーズではインド人研究者による実験を行っていましたが、2014 年度からインド人研究者以外からの一般課題も実施できるようになっています。PF の他のビームラインには見られない特徴のある装置も導入されているので、この機会に紹介させていただこうと思います。

インドビームラインの経緯について簡単に触れておくと、2007 年にインド側より科学技術の振興を目的とした放射光利用研究者育成のために PF にビームラインの設置の提案があり、その後、KEK と DST の間での協議を経て、2008 年に両者の間で MOU が結ばれ、これに基づき 2009 年度よりビームラインの貸与が開始されました。硬 X 線領域の放射光を使った回折・散乱実験一般を目的としたビームラインとして、後述するように 2 つの回折計を設置する予定で立ち上げが開始されました。立ち上げは順調に進んでいましたが、2011 年 3 月の東日本大震災の影響 (PF の運転停止や、設置された直後の回折計の損傷など) で、予定よりやや遅れ、2011 年 10 月よりインド人一般ユーザーからの公募による課題での実験が開始されました。その後、ユーザー実験と並行して種々の回折・散乱実験の整備が進んでいます。KEK のホームページに掲載された記事をご覧くださいの方はご存じかと思いますが、インドビームラインにはインド政府の要人が度々訪れており [1]、また、

日本側も安倍首相が訪印の際にビームラインについて言及するなど [2]、日印両国の科学技術協力において重要な役割を果たしています。最近では、プロジェクトの第二期の開始に併せて 2016 年度から MOU を延長するための手続きのためにインド科学技術・地球科学大臣と駐日インド大使が KEK を訪問され、ビームラインの見学も行われました。大臣から現在行われているアクティビティや、今後の計画について熱心に質問がありました [3] (図 1)。

インドビームラインでは、プロジェクトを運営する SINP による課題選定と、ビームタイム配分が行われ、常駐するビームラインスタッフによるユーザー実験の支援が行われており、インド人研究者による放射光実験のサポートが行われています。2009 年度には 7 人 (unique user, 以下同じ) だったユーザーが、インド人研究者一般に開放された 2011 年度には 26 人、2014 年度には 51 人となりました。また、有効課題数 (インド側での課題選定は、各期ごとに行われるため、PF の一般課題の数とは直接比較になりませんが) も 2011 年度の 16 件から 2014 年度には 28 件と、ユーザー数、有効課題数ともに年々増加してきています。さらにこれまでにインドビームラインで実験をしたユーザーの所属機関は 33 の大学や研究所にわたっていて、インド人研究者にとって放射光実験のハードルを下げるために一役買っているのではないかと思います。インドビームラインユーザーによるユーザーズミーティングもこれまでに 2 回開催されています。私も参加しましたが、数多くのユーザーがインド中から集まり、関心の高さを感じました。論文による成果の公表も、ユーザー実験開始直後の 2011 年には 2 報だった論文数が、2014 年には 16 報まで増加し、着々と成果をあげていることがわかります (図 2)。

先に述べたように、BL-18B では、2014 年度より PF-PAC で扱う一般課題も受け入れることとなり、PF の他のビームラインと同じように BL-18B の一部 (50% を上限として) のビームタイムを日本人を含む一般ユーザーに開放しています。申請書を英文で記入してもらう必要がありますが、課題選定手続きは他のビームラインと同様です。こ



図 1 2015 年 11 月に行われたインドのハルシュ・ヴァルダン科学技術・地球科学大臣、並びにディーパ・ゴパラン・ワドワ駐日インド大使らによるビームライン見学の様子。後方はインドビームライン (BL-18B) の実験ハッチ。

Outline of user experiments at BL-18B

Fiscal year		Number of proposals	Unique users
FY2009	Jan. 2010 – Mar. 2010	4	7
FY2010	Apr. 2010 – Mar. 2011	12	18
FY2011	Oct. 2011 – Mar. 2012	16	26
FY2012	Apr. 2012 – Mar. 2013	20	38
FY2013	Apr. 2013 – Feb. 2014	25	45
FY2014	Apr. 2014 – Dec. 2014	28*	51
	total	105	

* Include 2 proposals of general (Japanese) users

output

year	papers
2011	2
2012	1
2013	7
2014	16
2015	1
total	27

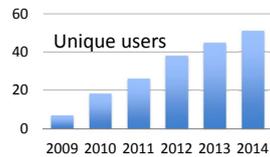


図2 インドビームラインのユーザー数，課題数，論文数の年次推移。

ここで実施できる実験は，BL-18B のホームページ [4] をみていただければわかりますが，低温粉末回折，高温粉末回折，高圧下粉末回折といった，いわば回折実験一般に加えて，固体表面・界面からの反射率測定，液体表面および液体-液体界面からの回折散乱となっています。回折・散乱一般を扱うということもあり，ユーザーの実験内容は多岐にわたっていますが，最近報告された成果としては，ポリマー中にナノ粒子を埋め込んだ，いわゆるコンポジットポリマー材料の X 線反射率によるナノ粒子の分散に関する実験 [5] や，強い光ルミネッセンス効果が期待できる逆量子ドット構造を Si-Ge 合金中に作成した例 [6] など，ナノ材料やナノ粒子などをはじめとする微小試料の回折・散乱実験が目立ちます。また，このほかにもいわゆる強相関系

酸化物をはじめとして，熱電材料や磁性材料などの機能性物質の回折実験なども盛んです。実験装置のセットアップの状況にあわせて，最近では液体試料を用いた表面・界面からの回折・散乱実験や，整備が進みつつある小角散乱の実験も増えてきており，成果が出つつあります。

最後に，PF の実験装置のなかでもこのビームラインでしか行っていないユニークな実験である液体表面・界面からの散乱実験について少し紹介させていただきます。この実験は BL-18B の建設当初からインド側の提案 (図 3) にあったもので，このビームラインで展開するサイエンスの中でもひとつの大きな目玉でした。液体試料は，固体試料のように試料自身を傾けたり回転させたりできないため，液体表面あるいは液体界面にビームをあてるためには，試料に対する入射ビームの方向を制御する必要があります。そのため，BL-18B ハッチには 2 つの回折計が導入されていて，上流側の第一回折計 (図 4，これは単独で通常の粉末回折などにも利用しています) のゴニオメータにとりつけた Ge(111) 結晶によってビームの方向を制御し，下流側の第二回折計上の液体試料にビームを導きます。第二回折計は，全体がエアークッションで移動できるようになっていて，第一回折計によって導いた入射ビームの方向に移動させることができ，液体試料からの回折・散乱ビームは PILATUS 等の 2 次元ディテクタで観測します (図 5)。このように 2 台の回折計を駆使して，液体試料を使った回折散乱実験を実現させています。

以上，簡単にインドビームラインについて紹介させていただきました。測定手法や試料環境条件などの詳細はインドビームラインのホームページ [4] にも記載されています。先に書いた通り，一般ユーザーからの課題の受け入れも始まっていますので，このビームラインでの実験に興味があ

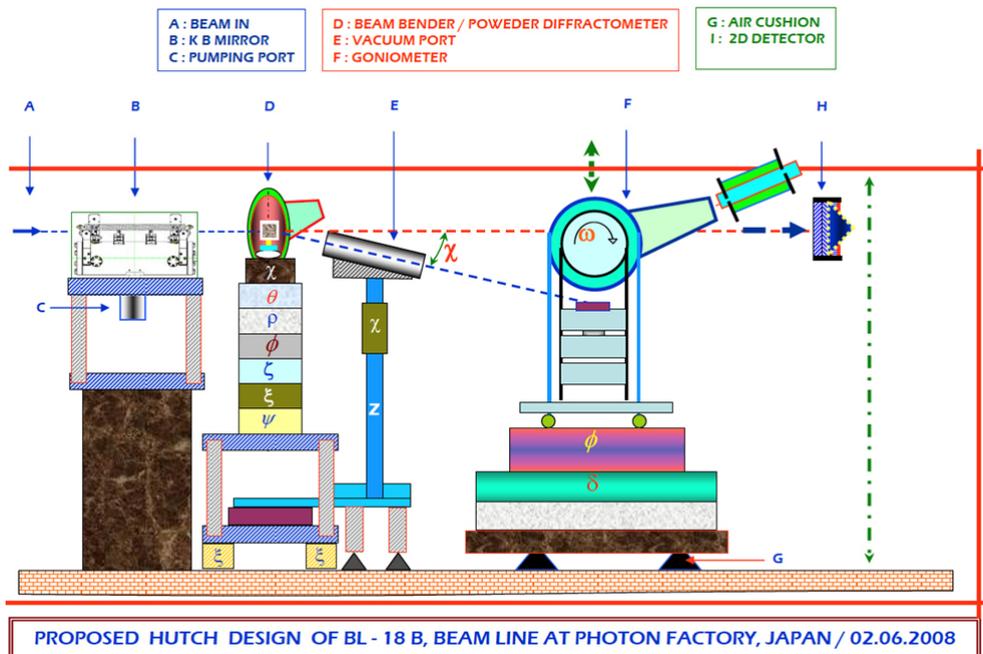


図3 2008年にビームライン建設にあたりインド側から提案された回折計のデザイン。

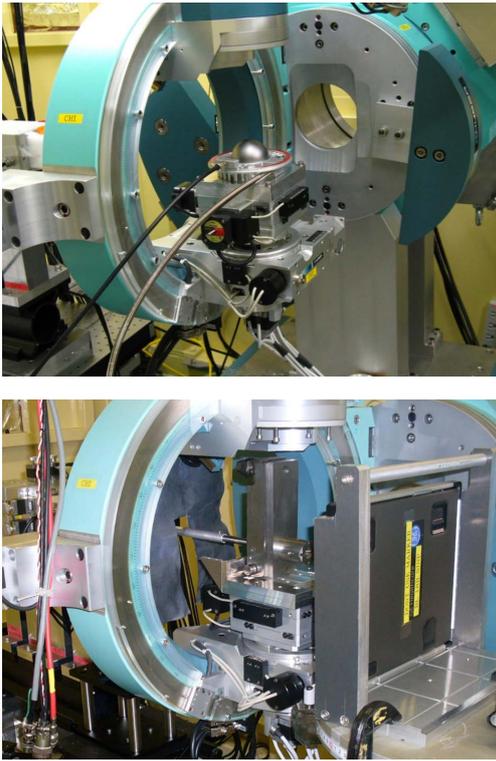


図4 第一回折計での測定の様子。上：高温粉末回折実験。下：高圧粉末回折実験。

る方はお気軽に利用相談窓口 (pfexconsult@pfqst.kek.jp) あるいは担当者までお問い合わせください。

Refereces

- [1] <http://www2.kek.jp/imss/news/2013/topics/0227India-PF/index.html>
<http://www2.kek.jp/imss/news/2015/topics/0610India-MOU/>
<https://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20120227170000/>
- [2] <https://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20140203133000/>
- [3] <https://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20151105173000/>
- [4] <http://www.saha.ac.in/web/photon-factory-home>
- [5] S. Chandran, N. Begam, V. Padmanabhan, and J.K. Basu, *Nature Commun.*, **5**, 3697 (2014).
- [6] M. Sharma, M. K. Sanyal, B. Satpati, O. H. Seeck, and S. K. Ray, *Phys. Rev. B*, **89**, 205304 (2014).

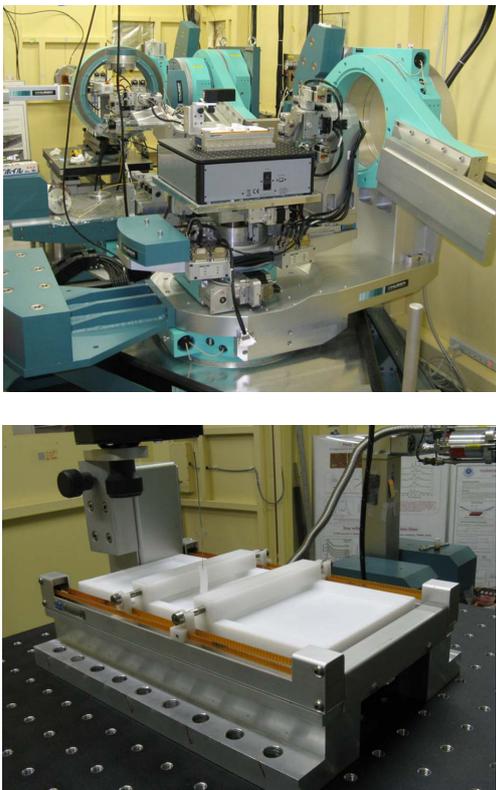


図5 (上) 現在の BL-18B ハッチ内を下流側からみた様子。写真奥(上流側)に見える γ サークルと 2θ アームが第一回折計、手前(下流側)にみえる大きなステージをもつ回折計が第二回折計。(下) 第二回折計上に液体試料を設置するためのステージ、写真では除振台の上に LB 膜作成用のトラフが実装されている。