

座談会 No. 7 「光源を操る人たち」

出席者

磯山 悟朗 (分子研)

大熊 春夫 (物性研)

田中 均 (理 研)

芳賀 開一 (高エ研)

八木 一寿 (電総研)

柳田 謙一 (原 研)

佐々木茂美 (原 研) 司会

(1991年10月5日収録)

佐々木(司会) 放射光学会の座談会のシリーズで、初回から年代別にやってきまして、前回は放射光関連の女性研究者の座談会、今回は放射光施設のマシンに携わっておられる方々の座談会を企画いたしました。

最初に、ご出席の方々の自己紹介、それから、ご自分が携わっている施設の概要の説明ということから始めさせていただきたいと思います。

まず、私は原研の佐々木茂美です。放射光の分野に入ったのはいまから4年ほど前になります。それまではどちらかというと利用系に属する格子欠陥であるとか照射損傷とか、そういう分野の研究活動をやっておりました。ちょっとした偶然から放射光の分野に入ることになりまして、現在

は、厳密な意味ではマシンとは言えませんが、挿入光源の仕事をやっております。

磯山 分子科学研究所の磯山です。

縁があって1979年にこの分野に入ったのですけれども、学生のころは原子核物理をやっていました。いまはあまりはやらないのですけれども、25MeVのベータトロンという電子加速器を使って広く言うと光核反応の研究を行っていました。私自身のテーマとしては、 γ 線の核共鳴散乱の実験をやっていました。当時はなかなか就職の状況が厳しくて職がなかった時代ですが、縁あってこの分野に入ることになりました。それ以来、加速器一本でやっておりまして、いまはそれだけしか知らないという状況です。

施設の概要ですが、分子科学研究所は愛知県岡崎市にあります。名古屋から東のほうに電車で30分行ったところに、正式名称が極端紫外光実験施設、略称がUVSORというシンクロトロン放射の施設があります。その主な装置は、ビームラインはあまり知らないものですから加速器だけと言いますと、電子エネルギーが750MeVのストレージリングがあります。これが光源になります。それから、入射器として600MeVのシンクロトロンがあります。そのシンクロトロンのさらに入射器として15MeVのライナックがあって、そういう3段つなぎの加速器になっています。通常、われわ



佐々木 茂美氏

れのところでの光の利用は長いほうは遠赤外から、可視をさすがに使う人はいないのですけれども(笑)、そこを通り越しまして、真空紫外、それから、軟X線。軟X線というのもエネルギーがはっきりしないのですけれども、数keVくらいのところの光が使えます。

佐々木 いま、施設の紹介のところではおられたのですけれども、入射は600MeVでやるといふことですね。

磯山 はい。

佐々木 最大蓄積エネルギーが750ですか。

磯山 ええ。

佐々木 ということは、600から750の間でエネルギーを変えてリングを運転しているということなんですか。

磯山 そうですね。最初の設計としては600MeVのシステムだったんですね。それでフルエナジーインジェクションで600MeVになるということだったんですけれども、やはりエネルギーが高いほうが短波長が出るということと、それから、寿命とも長くなります。しかも、ストレージリングでエネルギーを上げるというのは非常に容易なんですね。電流をただ増やせばエネルギーが上がる。そういうことで、出来上がってから750MeVまで上げて運転するというのが通常になったんです。



磯山 悟朗氏

佐々木 電流を上げるというのは、ベンディングマグネットか何かのですか。

磯山 そうですね。ベンディングだとか、4極磁石の電流。たいていは余裕を持って作ってありますので、その部分を上げれば簡単にできると思います。ただ、シンクロトロンの方のエネルギーを上げるのは難しいんですよ。

佐々木 どうもありがとうございました。

それでは次に大熊さん。

大熊 東京大学物性研の大熊です。

まず自分のバックグラウンドを話させていただきますと、私がこの世界に加速器として入ったのは4年ぐらい前です。その前は強いて言えば利用系のほうに属していました。大学院の研究としては、遠赤外領域の固体物理をやったんですけれども、所属していたのが光物性の研究室で、放射光も使って実験をするということで一緒に実験に参加したりしていたわけです。

その後、ちょっとほかで赤外線センサーをやったんですが、もともと学生のときに少し携わっていた縁で、物性研のほうに加速器の助手として来ないかという話がありまして、それでこの世界に足を染めたという感じなんです。

われわれの施設は田無の原子核研究所の中に物性研の施設としてストレージリングを持っています。日本で最初の光源専用リングで、今も現役で動いていてユーザーの方々がたくさん実験をしている施設です。

リングのエネルギーは、ストレージリングとしては380MeVで、放射光の利用としては主に真空紫外領域、波長のいちばん短いほうで100eV位です。もうちょっと行くかもしれませんが、そのへんです。

入射器は原子核研究所のもので、これは1.3GeVの電子シンクロトロンを用いているんですけども、そこから1日3回入射します。朝の9時半から夜はだいたい9時かそのくらいまで運転されます。あまりはっきり時間は決まっていな

けれども、遅ければ10時、11時ぐらいまで、週に4日ないし5日間運転しています。

芳賀 高エネルギー物理学研究所のPFの芳賀です。

この世界に入ったのが85年です。それまでは大学で原子核物理の実験をやっていたので、主に核研のサイクロトロンでやっていた。核研のサイクロトロンは、いまはどうかかわらないですけども、ぼくらのころはユーザーが運転するという格好でしたから、そのコントロール台に座って運転したのが加速器を運転した初めです。

そのあと、高エネルギー研のほうに口があるのて来ないかということで就職して、主にビームモニターの仕事をやってきました。うちの施設は、2.5GeVのリング、それと入射器がやはり2.5GeVのライナックになります。2.5GeVのライナックはトリスタン加速器との共用という形で使っています。そのまま2.5GeVで入ってきて、2.5GeVのまま回す。ただし最近は、運転モードの多様化ということで、3GeVでの運転もマシンスタディは精力的に行っていて、実際のユーザーの方への提供も前の期から始めました。3GeV運転、それから、シングルバンチ運転というふうに、いろいろな運転の多様化を目指しているところではないかと思います。

運転はいま、うちの研究所全体が年間の2期制運転に移行していく途中でして、10月の頭にすべての加速器が立ち上がりました。このまま12月、クリスマスまで運転して、正月の休みを経て3月まで運転という形になります。運転が始まると3交代24時間体制で動きます。ただ、加速器のほうは、途中にメンテナンスが必要ですので、主に2週間運転すると土、日、月と休んで、次また運転が始まります。ぼくたちは2週間モードと呼んでいるのですが、そういう下で運転が続いていきます。

いまのところ、夏の休み前で言うと、蓄積電流が350mA、1日1回入射です。午前9時から入射



芳賀 開一氏

して、次の日の朝9時で約250mAがまだ残っていますので、残りを積み上げてという形です。ですから、入射器のほうは放射光実験施設のものなのですが、使うのは毎朝10分ぐらい、あとはトリスタンがみんな使っているという状況です。

佐々木 半年ごとにといいか、年2回のルーチンワークでやっているということは、いわゆるマシンスタディをやる期間は全然設けていないんですか。

芳賀 いや、うちのほうは、先ほど言いましたように2週間モードというものがあっていて、もちろん立ち上げのときとそのあとの1日はマシンスタディです。それから、その2週目の頭の月曜日もまたマシンスタディになっていて、その1日はマシンスタディの日ということで取ってあります。

八木 電総研の八木と申します。

私はマシンのほうにはあまり関係ない人間で、実は物性物理学のほうが専門です。放射光にかかわってからもう8年目ぐらいですが、学生時代は光物性とか、固体表面の光電子分光をやっていたので、主にPFで実験をしていました。

電総研に入って3年目です。電総研に入ったきっかけは、私は直線偏光を使って物性実験をやっていたので、電総研に偏光を自由に切り換えることができるアンジュレーターがあるというこ

とを聞きまして飛びついたわけです。光を使うことを目的として電総研に入ったんですが、電総研というのは非常に少人数でリングを運転しているため、私もリングの運転にかかわらなければならない状況になりました。

実際に運転に携わったのは2年くらい前ですから、加速器というものに触れてまだ2年という未熟者なので、この場にいるというのは……。

田中 いちばんベストなパターンじゃないですか。いわゆるマシンを自分で動かして、自分で実験するというのは、王道というか(笑)、いちばんいいですよ。

八木 いや、それだけに大変で、まったく専門外のことなので勉強をしながらやっているところです。

電総研の施設の概要を言いますと、800ミリオンの電子蓄積リング TERAS、それと入射器として500ミリオンの直線リニアックがあります。あとほかに蓄積リングが NIJI-II号、NIJI-III号、NIJI-IV号と合計四つあります。

NIJI-II号、NIJI-III号は住友電工さんが主にやっております、NIJI-IV号のほうは川崎重工さんがやっております。NIJI-IV号はFEL用のリングです。NIJI-III号のほうは超電導マグネットを使った蓄積リング、NIJI-II号のほうはアンジュレーター専用のリングでして、偏光を切り換えること



八木 一寿氏

ができる円偏光アンジュレーターを挿入し、そこで円偏光を使った実験をこれからしていこうと計画しております。

それから、TERASのほうにもやはり偏光を切り換えられるアンジュレーターがあり、私はそれを使って実験をしようと試みているところです。柳田 原研の柳田です。

私がこの加速器の世界に入ったのは3年前の'88年です。その前は、核物理、いわゆる核構造をやっていました。そのとき丁度原研に来てまして、原研のタンデム型静電加速器を使って核融合反応を起こし、インビーム γ 分光を行ってました。そのときに原研から大型放射光をやらないかと言われて、この世界に足を踏み入れました。

まず最初にやったのは、小型電子ストレージリング JSRの建設ということで、メーカーとの打ち合わせなどにも初めから参加し、その次の年からJSRの運転を開始しました。現在、JSRグループというのは存在しているか存在していないのかわからないようなものでして、本来、私の担当はSPring-8入射加速器の内線型加速器のビームモニタとか真空とか、そのへんをやっております。

JSRについてですが、もともと原研には150MeV程度のリニアックがありました。これはいまから30年ぐらい前にできたものです。その先におむすび型のリングを付けたかっこうになります。入射エネルギーは150MeVで、それをだいたい1分間ぐらいのランピングで300MeVまで待っていきます。

ステータスですけれども、今までの最大電流は160mAです。 β に関しては小さいもので運転しています。'91年の8月にアンジュレーターを入れまして、カレントとしては20mA、10mAですが、チューンシフトの測定とか分光をやっている最中です。

田中 理化学研究所の田中です。

現在、科学技術庁が西播磨に作ろうとしておりますSPring-8という放射光施設の蓄積リングの

中の粒子の運動の解析を主にやっております。

今まで皆さんのお話を聞いているとほとんど物理のフィールドからいらっしゃっているのですけれども、私はまったく別のフィールドからで、たぶん私のバックグラウンドでこういうことをやっている人はほとんどいないと思うんです。私はもともと工学部のケミカル・エンジニアリング出身なのですが、これは、もっとエネルギーの全然低い化学反応のレベルを扱う学問です。反応を制御したり、ケミカルプロセスにかかわるいろいろなものをいかにして制御し、うまくプロセスを進めるかという工学的な、方法論的な学問です。理化学研究所に入る前はメーカーに勤めており、原子力発電所のダウストリームというか、そこから出てくるラジオアクティブな廃棄物を化学的に処理する、いろいろなプロセスの開発と設計をしていました。私の作ったものがいまも結構うまくいろいろなところで動いているはずなんです(笑)。

それが理化学研究所のほうでSPring-8をやるので手伝ってくれないかということで、6年ぐらい前に理研にきました。それからずっと——まったく初めてだったのですが——加速器をやり始めて、いまに至っています。

ですから、本当に素人で、もともと物理のバックグラウンドはそんなにないですから、学生に戻って一から勉強するというような感じでやらせていただきました。私にとってはこの6年間は非常に面白くて、何をやっても新しいことなのでたいへん楽しかったですね。SPring-8の説明をすると、私は軌道解析のほうに没頭しているものだから、プロセスパラメーターをあまり正確に把握していないかもしれないですけども、確かにニアックは1GeVでしたね(笑)。

柳田 そうですね。

田中 基本的には電子を用いますが、ポジトロンのオプションも非常に高い優先順位であります。施設はニアック、シンクロトロン、ストレージリングのコンプレックスで、1 GeVの



田中 均氏

リニアックでシンクロトロンにビームを打ち込み、シンクロトロンで8 GeVまでエネルギーを加速し、フルエナジー・インジェクションで8 GeVのストレージリングに入れることになっています。

アンジュレーターで3次光で、いちおうウランのK殻吸収端までカバーできるようにと。

佐々木 5次光ですね。

田中 あ、5次光でした。そのように考えて、エネルギーも8 GeVに決めています。ハイブリリアンなマシンにするということで、エミッタンス、中を回る電子ビームのフェーズスペースでの広がりを小さくするためのいろいろな工夫がなされています。それによって非常に強い、質のいい光を出すことを目指しており、第三世代と言われるマシンになる予定です。

佐々木 どうもありがとうございました。一通り各自の紹介をしていただいたのですが、聞いていますと、もともとマシンをやっていたという人はだれ一人としておられない。みんなそれぞれ別の分野から放射光用のマシンにかかわってくるようになってきているわけです。

原子核の関係から入ってこられた方は、もともと加速器は自分の実験をするための実験用の装置であって、それを触るということからマシンに入ってこられた。つまり利用する側から作る側に回

ってきたような経緯の方が多くおられるわけですが、はじめから放射光関連で、自分の使う装置であるからそれを触るという格好で、利用からマシンのほうへシフトしてこられたのは八木さん一人であったわけです。もともとは利用して何か物性研究をやるという興味から来られたと思いますが、利用するというのではなくていまの立場になったときに、マシンとしてどういうことが面白いのかということをお聞かせいただけますか。

八木 どういうところが面白いのかと言われると困りますけれども、私としてはとにかく質のいい光が出てくれればそれで言うことはないですよ。質のいいというのは、安定していて、明るくて、その偏光が自由に切り換えることができる。自由自在に好きな偏光が得られる。それから、好きな波長が得られる。そういう光源があれば理想的なわけです。

そういう光源は実際にはないので、自分で作らなければいけなくなったという状況です。だから、どういうところが面白いと言われると困ってしまうんですけども。

田中 偏光を変えるのは、磁石が水平、垂直にあって、それぞれの磁場を変えるのですか？

八木 それのギャップじゃなくて……。

田中 回転されるんですか。

八木 いえ、位相を変えるわけですね、水平方向の磁石列と垂直方向の磁石列のお互いの位相を変えて、らせん磁場を作ってやるわけです。

田中 例えば円偏光にすると、非常に強いスキュー4極成分が出るはずですよ。プレーンだと、通常のノーマル4極成分だから、チューンシフトの成分。そのへんを自由に運転中にいじくと、ビームがずいぶん変わるような気がするんです。

八木 そうなんです。

田中 それは自動的に補正するんですか。

八木 するようにしたいと思っているんですが、いまはまったくそういう補正はしていないんです。

それから、波長を変えるためには、ギャップを変えてやらなければいけないですね。それでもいろいろとビームが変わりますから、そういうものに自動的にフィードバックをかけるようにできればいいとは思っていますが、なかなかそうはいかないみたいです。ユーザー側からしてみると、それくらいできるんじゃないかと思っていたら、実際やってみるととんでもないことがわかって……(笑)。

佐々木 アンジュレーターフェーズを変えたりギャップを変えたりするときには、光で見ている位置が動いたり、あるいは振動したりとかいうようなことが起こっているんですか。

八木 はい。その先の光学系で、例えばミラーを振って補正するという方法もありますけれども、それではなかなかうまく追いきれなかったりするので、できれば電子ビームのほうで安定して出てくれればいいわけです。

芳賀 その光を使っているユーザーの方というのは、アンジュレーターのビームライン以外にもいらっしゃるわけですか。

八木 はい。

芳賀 そうすると軌道が動くと、そのほかのラインの方にも当然影響が出てくる。

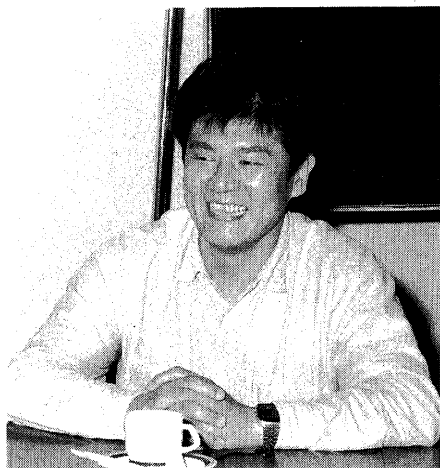
八木 そうなんです。アンジュレーターのビームラインだけで動かないようにしていくと、今度はほかのビームラインに迷惑をかけたりということがあって、いろいろなユーザーがぶら下がっている一つのリングですべてのユーザーが安定して光を使うというのは、大変なことだということがわかってきました。

柳田 でも、アンジュレーターを動かさないと、位置がドリフトしていくとか、そういうことはないんですか。

八木 ドリフトしていくというのは……。

柳田 位置が時間的にズレていくとか、そういうことはないんですか。

八木 いまのところはないですけども……。



柳田 謙一氏

柳田 では1回それを入れてしまえば、ずっとそれで実験して行って、電流が小さくなるまでそのまま光を使えるんじゃないですか。

八木 ええ。

田中 そのドリフトというのは何で生じるんですか。

柳田 いやいや、だから、いろいろな原因で、例えば電源とか。

田中 電源のドリフトですか。

柳田 ええ、あるから。

芳賀 ただ、ユーザーのほうとしては、任意のギャップで、要するにユーザーの都合でギャップを変えたいということがあるんだと思うんですよね。ぼくたちのところも、インサクション・デバイスはいま6台入っているんです。

田中 全部フリーチューニングですか。

芳賀 ぼくたちはフリーチューニングを目指しているわけです。ただ、フリーチューニングという言葉はやめて、インディペンデント・チューニングというのが正しい英語だということで、そう呼んでいます。そのためのスタディは当然、今まで多くの労力と時間を使ってやってきました。

補正コイルを両側に入れてそれで補正しながらやるわけですがけれども、リングのほうのパラメーターとの関連もまたありますので、最初のうちは1回の入射をしたときには、最初に決めたギャ

ップ値からの変更は認めないという運転をしてきたわけです。ところが、ユーザーのほうは当然いろいろな波長でやりたいので、インディペンデントチューニングの方向を希望するわけですね。こちらはほかのビームラインも当然ありますので、こちらへの影響もないようにということで、基本的にはインサクション・デバイスのところでよいな磁場をまず消してもらって、そこだけで閉じてもらう。さらにその全体の軌道を直すようなフィードバックのシステムを作るという2本立てで対応する。例えばぼくたちのビームはそういう対応をしてきたわけです。

佐々木 そうすると現在は、インディペンデント・チューニングがすべてのインサクション・デバイスについて達成できているということですか。

芳賀 いまはまだできていません。

大熊 少し私もかんでいるんで。物性研の施設は、先ほど田無の話をしましたけれども、PFにも物性研のビームラインが2本あるんです。BL-18, 19と言います。そのうちのBL-19がアンジュレーターを使ったビームラインで、皆さんご存じかもしれませんけれども、リボルバータイプという四つ磁石列があるやつです。その仕事でPFのほうに少しかんでいるので、インディペンデント・チューニングのマシスタディとも参加しているわけです。

最終的にユーザーのビームラインに、例えばアンジュレーターのコントロールシステムを置いて何も断らずにギャップを自由に変更するというのは、まだいろいろやらなきゃいけないことがあるんじゃないかと思います。基本的には、いくつかのビームラインで光ビームを見て、それが変動しないような格好でアンジュレーターの上流、下流にある垂直と水平のステアリングの強さを、ギャップに応じて決めていくという方法をとっています。それで何点かでとったのを適当に結びまして、ある関数系でギャップのスキャンと共に設定値を変えていく。基本的にはうまくいっているよ

うな気がするんですけども、完全にユーザーに
 というと、まだちょっといろいろ問題があるのか
 もしれませんね。

そのほかの話は私はよくは知らないのですけれ
 ども、もう少し磁場の強い、マルチポールウィグ
 ラーになってくると、たぶんチューンシフトが効
 いてきて……。

いま、PFではQマグネットをいじるということ
 をやっているんですか。

芳賀 ええ、Qマグネットに電子シャントを付け
 て、そちらに流す電流を変えてチューンを変えつ
 つ、要するに安定点を追っ掛けていくという形で
 す。

田中 直しているのはトータルなチューンだけ
 ですか。

芳賀 トータルなチューンだけです。

田中 β ファンクションのモジュレーションを直
 すということとは？

芳賀 そっちまではしていませんね。

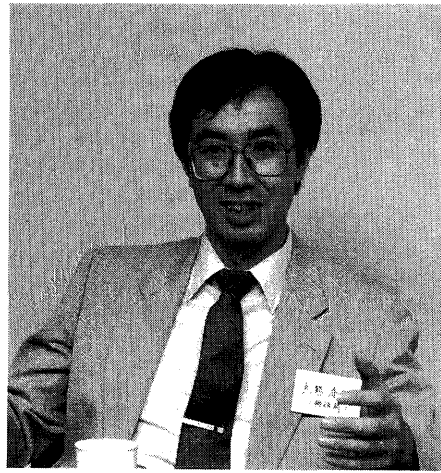
佐々木 インサージョン・デバイスの影響とい
 う意味では、リングのエネルギーが低ければ低い
 ほどそういう影響は大きいと思いますが、物性研
 のリングにはインサージョン・デバイスは入っ
 ているんですか。

大熊 現在の物性研にですか。

佐々木 はい。

大熊 入っていません。入れるフリースペースが
 ほとんどなくて、入れてみてもほとんどおもちゃ
 みたいなものしか入らないので(笑)。ただ、蓄積
 リングにアンジュレーターを入れたのは、たぶん
 世界で最初になるんですか、ちょっとわからない
 ですけども、アンジュレーターを入れて、その
 光を確認するという実験は田無のリングでやられ
 たんです。PFに行くと、歴史的な—これくらい
 のものですけどもこれが—インサージョン・デ
 ィバイスだというのが置いてありますが、いまの
 リングには入っていません。

磯山 日本で一番ですか。



大熊 春夫氏

大熊 ええ、日本で一番最初であることは間違い
 ないですね。世界はちょっとわからないですけれ
 ども。

田中 先ほどのインディペンデント・チューニ
 グというのは、ちゃんとペアのホリゾンタルと
 パーティカルのコレクターがあれば、原理的には
 いくはずですよ。

芳賀 原理的にはいくはずですよ。

田中 それがうまくいかないというのはなぜなん
 でしょうか？

芳賀 私のはっきりとわからない部分があるん
 です。

田中 かなりの精度でちゃんとクローズさせる
 ことができそうな気がする。私はコンピューターし
 かやったことないのですぐそう考えてしまうん
 ですけど。

芳賀 おそらくチューニングのためのスタディを
 やるわけですが、そのときビームがインサージョ
 ン・デバイスの中のどのへんを通過していたか
 ということも微妙に効いてくるらしいんですね。も
 ちろん中心軌道を通れていけばいいわけですけれ
 ども、実際にはCODがあったり……。

田中 じゃ、パターンはかなり変わっているわけ
 ですか。

芳賀 そうですね。

田中 いま、どのぐらいまで抑えられているんで

すか。

芳賀 目標としては、電子ビームの軌道で10 μ オーダーです。

田中 ズレが10 μ ぐらいということですか。

芳賀 はい。もちろん光ビームは何m地点で見るとかによってだいぶ違いますけれども、光ビームでも、例えば10m地点でも20~30 μ 以内に収まるような状態でチューニングできていれば、それはいちおうインディペンデント・チューニングだ、許しましょうということになっています。それはもちろん測定のほうの、どのくらいまでという…。

田中 そうすると、数 μ radで抑えているというわけですね。

芳賀 まで抑えようと。実はそれ以外にもビームを動かす要因がありますので、そちらのほうが多かれくらい抑えられているかというのと兼ね合いにもなってくるわけです。

例えばうちの場合だと、私がこの2、3年グループの中に入ってやっていた、建物の、日照による歪みによるビームの動きが、大きいところではビームラインで10m地点で、最初のころは1mmになんなんとするような動きがあるわけです。そういうものに比べると当然小さいわけですが、そういうものを抑えていく段階で、全体のレベルをどんどん小さいものにしていこうということです。

田中 建物の歪みは、非常に周波数が小さいというか、ゆっくりしているんで、影響は少ないのではないですか？

芳賀 そうです。もちろんそういうゆっくりした動きだから構わないというユーザーの方も、当然いらっしゃるわけですね。例えば1日に昼と夜とで1mm動かれても、5分で実験が終わる方だったら問題はないかもしれない。しかし、8時間、10時間実験をなさる方には、それは当然困るわけです。そういう意味でユーザーの方の希望もまた、いろいろなパターンとして出てきます。

大熊 インディペンデント・チューニングのスタディをやるときにいちばん難しいのは、ギャップをいろいろ変えて測定していくのにどうしても時間がかかります。そうするとその間に、ほかの要因でビームが動いてしまうことが往々にしてあるわけですね。PFのビームは非常に安定なんですけれども、それでもまだいくらかドリフトがあったりいろいろなことがあって、測っているうちに、抑えようという動き以上にビームが動いてしまう場合もあるので、よくわからないことがあるというのが、やはりいちばん難しいのではないかと思うんです。

だから、もともとの電子ビーム自身、それから光ビームも非常に安定していて、短時間できちんと測定することができないと、本当の意味では最終的なところまでいかないという気はしますね。佐々木 磯山さん、分子研のリングでは、そういう問題点というのはどういうものがあるのでしょうか。

磯山 挿入光源は何台かあるんですけども、実際にいまいちばん実験に使われているのがアンジュレーター1台です。そこではインディペンデント・チューニングをやっているわけではなくて、以前どおりに入射直後にある望みのギャップに設定して、次の入射までは動かさない。4時間とか5時間に一度の入射ですので、その期間は同一の状況で使うようになっております。勝手に動かしたいという要望は確かにあるのですが、皆さんおっしゃったように、やはりいろいろなことを調べなければならぬんです。われわれのところはまだそれが実現していないという状況ですね。佐々木 分子研では、ユーザーのための運転のほかにマシンスタディというのはどのぐらいの頻度でやっておられるんですか。

磯山 月曜日の朝から金曜日の夜までマシンが動くわけですが、月曜日をマシンスタディに使っています。残りはユーザービームタイムですが、それ以外に、だいたい半期に1週間ぐらいマ

シンスタディ用のマシンタイムがあります。日常的にやる部分と、ある程度固まって実験ができるという2種類組み合わせせてやっております。それはPFでも同じようなことです。

芳賀 そうですね。PFはちょうどいま立ち上げ直後なんですけど、立ち上げ直後は1週間程度、焼き出しも兼ねたまとめたスタディの時間をユーザータイムの前に取ってやっています。

佐々木 マシンスタディの主な目的は何なのでしょう。

芳賀 やはりマシンの性能向上ということだと思います。何をもちいて性能向上とするかというところは、やはりユーザーの方の希望が実現する方向が向上であろうということだと思います。ですから、例えばうちの場合でしたら、光軸をできるだけ安定化していく。そのためにはどういう手だてをとったらいいかということを考えてそれぞれのグループなりある集団の人たちがテーマを持って、それを実験していきます。

ある程度ユーザータイムにも使えるようなメドがついてくると、今度はユーザーの方たちとは、私たちの施設には測定器系と私たちの光源系、それに入射器系と三つの系があるわけですが、光源系のリングのメンバーと測定器のメンバーとで定期的に持っているミーティングがありますので、その場でユーザータイムの1日、ボーナスタイムみたいな時間があるものですから、そういう時間に、実際にあるシステムを動かしてみます。例えばフリーチューニングならフリーチューニングをやってみる。各ビームラインにそれぞれ人に付いてもらって、実際に動いたかどうか確認してもらおうという形をとっているわけです。

フィードバックのシステムなどの実験のときでも、最初はこちらのスタディの時間にシステムとして動くかどうかを当然チェックするわけです。システムとして動くとなつて、今度は長期的に安定して動くかどうかという問題のときには、ユーザーの方の協力を得ながら調べてみないことには

わからないですね。例えばビームラインでどのくらい光が動いているかというのは、こちらが付けているモニターの数には限りがありますので、実際にすべてのビームラインの人に付いてもらって調べていただくことになります。

ですから、そういう時間を設定したり、その結果をまた集約したりということをやると、やはりなかなかの時間がかかっていきます。

佐々木 言い方を変えると、マシンスタディといえども、ユーザーのためのマシンタイムと言えなくはないということですかね。

芳賀 少なくともリングのマシンのメンバーはそういう考えでいるんじゃないかと思います。

田中 そうは言いながらも、自分たちもエンジョイしているんでしょう。

芳賀 ええ、それは当然あると思います(笑)。もちろんユーザーの方からこうしてくれという要求は出るわけですけども、じゃ、それをいったいどういう方法で解決しようかというのは、私たちに課せられた問題だと思います。

田中 現在、KEKでは、インディペンデント・チューニング用のコレクターの強さは、エネルギーでノーマライズしてどのくらいを準備しているんですか。

芳賀 それは精度としてですか。

田中 いや、精度ではなくて、インサクションデバイスから実際どのくらいのパーティションが出てくるかということですね。ダイポールのフィールドエラーは、ああいうマグネット構造では本来は非常に発生しにくい成分でしょ。

芳賀 実際にどういう成分が細かく出ているのかというのは私は……。

田中 ただ、軌道の軸をズラすのだから、基本的にダイポールフィールドのエラーになっていくわけですよ。それが現状ではだいたいどのくらい出ているんですか。われわれはそれを検討するのに結構もめたんです。補正用のコレクターを準備しなきゃいけないのだけれども、どのくらいのエ

レーザーを考えればいいのかということが、まず問題になるわけですね。たぶんKEKにも聞きに行ったのではないかと思います。

芳賀 実際にマグネットとしては小さなもので済んでいます。ただ、ある程度のコレクターの電流を制御する分解能は必要になってくると思います。

田中 ああ、逆にそっちのほうですね。

芳賀 はい。

田中 強さの絶対値は小さいけれども、設定の分解能は必要になってくるということですか。

芳賀 ええ、1個1個のマグネットとしてはそんなに大きなマグネットじゃありませんが。

田中 ビット数を非常に上げておくとか。

芳賀 ええ、ビット数を上げてということが必要になってくると思います。

田中 非常に微妙な調整が要するというわけですね。

芳賀 そうなってきますね。

佐々木 加速器というと、放射光が始まる前はほとんど原子核、素粒子、高エネルギー物理実験のための装置だったのですけれども、放射光用のマシン特有の性質と言いますか、面白い点というか、どういうところが放射光用の加速器としての特徴的なものであると言えるのでしょうか。もともと放射光以外の加速器をやっていた立場から、磯山さん、どうですか。

磯山 非常に難しい質問で一言では……。一つは私自身が十分わかっているかどうか疑問なんですけれども、放射光用の加速器というのは多目的ですよね。いろいろな種類の要求があるわけです。ある人にとっては、例えばビーム電流なんていうのはどうでもいい。強い光はそんなに要らないけれども、安定であって欲しいとか、ただひたすら積分強度が強いようなものが欲しいとか、または時間構造が非常にいいものが欲しいとか、それぞれいろいろな要求があります。

ほかの分野の加速器を見ていると、だいたい一つの加速器で1ユーザー、または何ユーザーかという程度の話になりますので、あまり多くの要求

はないのではないかと。だけど、放射光の場合は、もちろんたくさんの人が同時に使っているということ以外にも、いろいろな分野の方が来られますので、それぞれ要求するところは違います。ですから、加速器側の対応というのは非常に難しいわけですが、いずれにしても相矛盾するような要求があったりします。

ですけれども、いろいろな要求があるということは、それを少しでも満足できるような加速器側の発展がないかという、研究の非常に強い動機にはなるわけです。ですから、たいへんバラエティの富んだ仕事ができる。こういうことをやっている専門の加速器屋としては、そういうことが言えるのではないかと思います。

加速器自身の特徴は、ハード的にもほかの分野の、高エネルギーのコライダー、ストレージリングと同じものを使わせてもらった時代からだんだん進化して行って、ちょっとずつ……。いま第三世代の光源になると、だいぶ新しい、高エネルギーのときとはだいぶ違う外観になっていると思いますが、まだ発展途上ではないかと理解しています。

佐々木 いま発展途上というお話があったわけですが、ではこれからどういう方向に発展していくのかということについてはいかがでしょうか。

磯山 よくわれわれの話では、先ほどから出ていますように加速器の世代ということを使うわけですが、確かに分類すると、だいぶ機能も違うし、性能も違うし、背景も違うし、大きさも違うというのが順次できてきているわけですね。いま第三世代というのは世界の各地で作っておりまして、日本でも西播磨で作ろうとしているわけですが、何もわからなくても、これが最終的な形だろうというふうにはちょっと思えないんですよね。それですべて理想が尽くされているとはちょっと思えない。

しかし、その先に何が見えるかというのがいち

ばん確実に言えるのは、第三世代の光源が動き出して、その性能と限界が明らかになってきた時点で、こうならないといけないのではないかというのが明確になるのですけれども、そこまでは至っていない。現状の第三世代の光源を設計されている方もおられるわけですが、一般的に言うと、いろいろな妥協の産物なんですよ。技術的な能力とか、そういうものを考えての妥協の産物ですので、将来、そういういろいろな問題が理解され、研究されてくれば、より高性能な第四世代の光源というの、次に来るものではないかと思えます。

柳田 いま加速器のエネルギーも高くなっていていますが、短波長で且つ強度の強いもので、なおかつ小型のものができれば、わりと使いやすくなると思うんです。強度の点からいうと電総研でFELが発振したように、方向としては一方では小型化していったれでも使えるようなものができるだろうし、もう一方では高エネルギーのスケールメリットを生かした光源というものができてくるんじゃないかと思うんですよ。

大熊 エネルギーの問題を言えば、どの領域の光を使うかということによって話が違ってくると思うんです。例えばALSとかELETTRAなんていうのは1.5GeVから2 GeVのところにあるわけですが、これは明らかに利用の領域としては、硬X線は使わないで、そこではVUVから軟X線の領域の光を使う。当然SPring-8もそういう光は出てくるはずなんですけれども、VUV、軟X線だけに限れば、ハイエナジーはかえってありがたいところもありますので、少し分けて考えなければいけないところがあるんじゃないかという気がしますね。

それから、第四世代というのは、何をもちて第四世代と言うのかわからないですけれども、レーザーの発展が大きくこの光源加速器にはかかわってくるのではないかと思えます。それはフリーエレクトロンレーザーという意味も含めてです。そ

れにフリーエレクトロンレーザーではなくても軟X線レーザーとかいろいろなものがありますし。将来、そういうものが非常に発展してきて、チューナブルで、強くもできるし弱くもできるというレーザーができてしまうと、放射光は要らないとまでは言わないですけれども(笑)、ちょっと考え直す必要が出てくるんじゃないかと思えます。また違った目的に合わせた放射光リングというものを考えなければいけないということになってくると思うんです。

そういう意味では、必ずしもそればかりではないのですけれども、放射光も、レーザーも含めて、コヒーレント光源をどうやってこれから作っていくかというのが、一つの課題になるんじゃないかと思えます。加速器から見たらFELということになるんでしょうけれども量子エレクトロニクスレーザーの専門家のほうも、もっと波長範囲を広げてチューナブルでやっていくということになると思います。まあ、ずいぶん先の話になるかもしれませんが、かなり関連はあるんじゃないかという気がします。

芳賀 先ほどの磯山さんの話も考えれば、いまの第二世代の放射光の施設は、そういう意味ではデパートメントストアみたいに、いろいろなお客さんに対応できるような格好だったけれども、第三世代のSPring-8とか、それからもっとALSみたいな小さいものも含めると、今度はどんどん専門店というか、老舗みたいになって、ある程度ユーザーも、軟らかいところから硬いところまでと言わずに、ここは軟らかいところだけで、そのかわり安定性を得ようとか、光はそんなに強くないけれども、波長は非常に短いもので行こうとか、そういう多様化がこのあと増えてくる方向に行くんでしょうかね。

田中 先ほど磯山さんが話されましたけれども、SPring-8もまさに妥協の産物というところがあって、ローエミッタンスにして強い光を出そうとすると、エラーに対して非常に敏感になってしまう

という問題があります。本来はそれもひっくるめた形で根本的に安定で、ローエミッタンスで、しかもインサージョン・デバイスオリエンテッドなので、多数のディスパージョンフリーのストレートセクションが入れられるというリングを作るのが理想ですがそれを達成するのは非常に難しいわけです。

結局、いまやっているわれわれのデザインというのは、非常に多くのインサージョン・デバイスを入れられるということ、ローエミッタンスにすることによって重点を置いて、光軸の安定性に直結するようなセンシビリティ、エラーに対する感度は犠牲にしています。

八木 使うほうの立場からしてみますと、リングは高輝度化、短波長化、高安定化というふうに進んでいますけれども、私は主にVUVなんか使っていますので、あまり短いほうを出してもらっては困るんです。それは要らないんです。ミラーなんかダメージを受けますし、できれば出て欲しくない。VUVを使う者にとっては、もっとエネルギーの低いVUV用のリングが欲しいし、もっと硬いものを使いたい人は、そういう専用のリングを使って欲しい。

私のように偏光特性を切り換えたいとなると、今度はビームラインのほうが、偏光特性を変えないような光学系を考えていかなければならないですから、私の考えとしては、リング、光源、ビームラインといっても、それは全部一体のものなんじゃないかと思うんです。だから、その利用目的に応じて、ビームライン、光学系までひっくるめてリングを設計していく。これからそういう方向へ持って行くといいんじゃないかと思うんです。

特に偏光を切り換えるときに、アンジュレーターの位相を変えるわけです。ただ、右回りだけ出て欲しい、左回りが出て欲しいというのではなくて、右回りと左回りが交流的にスイッチングすることを考えています。

そうすると、先ほどのインディペンデント・チ

ューニングの話になりますけれども、波長だけではなくて、偏光も、しかも交流的に変えてやるというふうな高度なことをさせてやることになるわけです。そうするとリングの運転にかなり厳しい要求をすることになると思うんです。

田中 全員がそんなことをしたら大変なことになりそうな…… (笑)。

八木 大変なことになると思います。もしかしたら、それこそ本当に1リング1ユーザーという形になっていくんじゃないかと思います。

柳田 でも、超電導か何かで小型化して、直線部1本か2本作って交互に使う。そういうふうになるとわりと……。実際にNIJI-II号とかIV号はそういう感じですね。

田中 それは1台どのぐらいするんですか、コストは。1ユーザー1リングなんていったらもう…… (笑)。だって、数億じゃ作れないんでしょう、そんなものは。

柳田 いや、電総研はかなり安く作っているみたいですよ。500MeVのリニアックがあって、分岐してビームを供給してますからね。

田中 確かにエネルギーが低い領域は、いろいろそういう展開もあるんじゃないかと思いますね。

柳田 リニアック1本でリングが10個とか (笑)。

磯山 1.5キロのマルをたくさん作ろうといった…… (笑)。

田中 なるべくいろいろなユーザーが利用できるよということではSpring-8は設計されています。しかし、DESYに行ったときにロス・バッハという人が、「きみたちの考え方はよくない。こんなに無理してローエミッタンスにしたら安定じゃなくなる。通常のFODO型のラティスでもっと周長を長くして、ディスパージョンフリーの直線部も少なくすれば、リングは安定で、ローエミッタンスになる。それが自然の姿なんだよ」と言っていました (笑)。

インサージョン・デバイスを入れられるディスパージョンフリーの直線部を48カ所も1.5キロ

で作らなければ、たぶんセンシティブティはもっと下げられる設計ができるはずです。ただ、第三世代というのは、インサージョン・デバイス用の光源なので、基本的にそれをいっぱいぶら下げることが使命です。どうしてもそこを優先すると、センシティブティは上がらざるを得なかった。そこが本当にトレードオフになるだろうという感じがするんですけどね。でも、どうなるかはやってみないとわからないですね。SPring-8も案外すんなりとうまく行くかもしれない。

佐々木 いまのお話を聞いていて、それぞれ多様なユーザーのためのリングを考えると、それぞれ低エネルギーの人は低エネルギー用のリングを、X線が欲しい人にはそれ用のリングをとということで、将来は行く先が非常に分岐して、多様化していくという感じがしますね。

芳賀 この座談会は、リングのほうの運転に携わっている方が皆さん出てきていらっしゃるわけです。各施設でのユーザーの方とリングを運転している人間の側とのコミュニケーションというのは、もちろんそのコミュニケーションがあって運転にフィードバックがかかっているのでしょうか。けれども、いろいろな状況があるのでしょうか。

八木 電総研は、ユーザーイコール運転者ですから(笑)。

芳賀 ベストですよ、それは(笑)。やりたいことが何でもできていいですね。

八木 私が実験するときは、本当に1日リングを独占して、私の好きなようにやるという形になっていますね。

田中 すごいですねえ、ほんと。

佐々木 それが理想なんでしょうけどね。

田中 理想ですよ。

八木 いや、理想かどうかかわからないですけども。

田中 でも、うまく動いているんですか。

八木 いや、うまく動いていないです(笑)。素人が動かしているものでなかなか……。

田中 いまいちばんの問題は何ですか。バリアブル・ポラライズドアンジュレーターを使っているいろいろやろうとしているときに、そこから出てくるパータベーションをいかに抑え込むかということですかね。

八木 そうですね。まさに先ほど言いましたように、交流的に切り換えることを試みているわけです。そうすると、いったい何がどうなっているのかさっぱりわからない。どういうパラメーターがビームに効いてしまっているのか。

田中 それはゆっくり動かしてというか、ポイント、ポイントで補正量を決めて、全体の補正パターンを決定すればいいわけですよ。

八木 ええ、ゆっくり動かしてやってはいるんですけども、それがスタティックな場合は何とか抑えていきますが、それを連続的に動かしたらどうということになるのか。

田中 制御系もまったくそれに同期して動いているんでしょう。

八木 いや、まだそこまでやっていません。

田中 ただ、ソースの場所が同定されているので、対処は結構楽なような気がするんですけどね。エラーがどこにあるかわからないというような場合は非常に難しいと思いますが。

八木 そうですね。でも私はリングは本当に素人なので、いったい何がどうなっているのかさっぱりわからないんです。

柳田 交流的に動かすといっても、ビームから見れば50Hz、60Hzは止まっているようなものだから、スタティックで大丈夫なら動かしても大丈夫だと思いますが。

八木 それでいいんでしょうかね。

柳田 いいと思いますよ。

佐々木 マシンと利用の関係という観点から見ると、電総研のような状況というのは、使う人と作る人が渾然一体としているということで理想的なんでしょうけれども、実際には施設が巨大化してくると、マシンと利用に分かれてくるわけですね。

これまでマシンの人は、利用の人のご意見を聞いて改善をするという格好で、利用のほうの要望を聞いていくという形があるわけですが、せっかくの機会ですので、逆にマシン屋から、あるいは光源屋から利用系の人たちに対する希望、要望を言っておいていただくと、将来の役に立つかもしれないという気がします。どうですか。

田中 私の印象では、意外と要求が少ないんですね。積極的に何をやりたいというふうなことが明らかになると、それに対する対応は当然とやりやすいわけですが、何となくこちらが提示したものに対して、まあ、だいたいそんなところでいいんじゃないだろうかということになる。たぶん具体的にどう使うというイメージがクリアじゃないからそうなんだと思います。

佐々木 要求がないというのは、利用系からマシンに対してですか。

田中 そうです。いまはデザインフェーズで、まだできていないものを使ってする実験のイメージが、具体的にわからないというのはわかる気がしますけれど、もう少し元気のいい要求、無理難題みたいなものがバンバン出て来て、われわれを悩ませるぐらいなアクティブさがあってもいいような気がするんです。そんなことを言うと失礼かもしれませんが(笑)。

フォトンファクトリーの場合できる前からユーザーがいろいろ言ったかどうかは定かではないのですが、デザインフェーズでは要求が少ないというのが通常のパターンで、できてしまうという言い始めるのかもしれないですね。

佐々木 ということは、ユーザーへの要求は、もっと言いたいことをどんどん言ってくださいということになりますか。

芳賀 私は田中さんほど率直に言わないけれども(笑)、やはり要求をもっと出して欲しいというのがありますね。例えば先ほどのビームの安定度ということ言えば、ユーザーの方が、いま私が実験している地点でこういう理由からこの幅に収ま

ってくれないと困るんだ、それはこれこれこういう実験のために必要なんだという形での要求が出てくると、それに合わせて、じゃ、こちらの安定度はいったいどれだけ要るのかという相談に入るわけです。

ところが、安定なら安定なほどいいですと。

田中 そうなんですね。

芳賀 それは当たり前なんです。もちろんSPring-8の人たちもそうでしょうけれども、光は明るければ明るいほどいい。いったいどのくらいにしたらいのかと田中さんは設計のときに考えるわけですが、そのときにユーザーの方に聞けば、「それは当然、明るいほうがいいです」というわけですよ。

田中 確かにそういう感じですね。

芳賀 ですから、この明るさは欲しい、この明るさがあれば、例えばズレないんだとか、こういうことができるからこの明るさはどうしても欲しいと。

柳田 時間がかかる実験でも、輝度が半分になれば時間を倍かければいいという感じで見ていられるところもありますからね。私自身原子核実験をやるときに、ビームのインテンシティが小さいと、ちょっと時間がかかるかなという感じでやっていたから。

八木 ユーザー側から弁護させてもらいますと(笑)、私はPFでは物を言わぬユーザーだったんですけれども……。

田中 十分だったからですよ、それは(笑)。

八木 いや、ビームラインのバルブを開けてシャッターを開ければ光が出てくるものだと思っていて、光が出てくる壁の向こうは側はまったくわからないんです。ブラックボックスなんです。どの程度安定になって欲しいとか、どのくらい明るくなって欲しいとか言って欲しいと言うんですけれども、それは実際にどの程度安定になるものなのか、どのくらい明るくなるものなのかというのが見当つかないんです。壁の向こう側にあるリング

というのは何なのか、さっぱりわからない。だから、要求するにも、その物が何だかわからないので、要求しようがないという感じがあるんですね。

先ほど言われましたように、弱ければ弱いで時間をかけてずっとため込めば、時間がかかるけれども、何とかデータにはなる実験もあります。その明るさで実験できなければ、できる範囲の実験をやればいい。明るくなければまた新しい実験ができるかもしれないけど、明るくないんだからしょうがない。だから、強く要求しようがない。

田中 そうすると、パラメーターが実験の本質に係っていないということですか (笑)。

大熊 いや、そこまでさかのぼって物事を考えるのは、ユーザーにとっては難しいですね。

八木 難しいです。

大熊 いくらユーザーサイドに立った実験をしたことがあるので言うのですけれども、そんなところまで考えている余裕はないというところもあるんですね。

柳田 結構シビアに効いているのは、タイムストラクチャーとか、あと偏光の問題ぐらいですかね。輝度とかいうのはあまり……。

八木 そうですね。いまの明るさでできる範囲のことをやるし、やることもたくさんあります。

大熊 明るすぎて困るという場合も当然生じるわけで、そういうこともあり得るわけですね。例えば高輝度で今度SPring-8を作った場合に、ビームラインを作って実験装置を作るというのはなかなかの大仕事だと思うんですね。いろいろなことを考えて、ミラーも考えてやらなきゃいけない。ユーザーはそれが仕事ですから、当然そういうところに一生懸命になるわけで、ここまであれをしるとか、こういうふうにしるとかいうのは、その次に出てくるんですね。

田中 まだフェーズが早いから、そこまで煮詰まっていない。実際に動き始めたらもう少し要求が出てくるということですか。

大熊 光を見てもみないとわからないんです。光を見てみれば、この光はもう少しこうして欲しいという要求が出てくるかもしれないし、あるいは、「もうちょっと明るくならなかったの?」という話が出てくるかもしれませんね。それが大半のユーザーだと思うんです。

田中 要は、使いながら進化していくしかないのですね。

大熊 ある意味ではそうだと思います。

芳賀 それと、お互いの使っている言葉が違うというのが、だいぶ大きいんじゃないかという気はしますね。例えばいま皆さんが使っていた言葉で言えば「明るさ」というのも、実験の人が考えている明るさと私たちが考えている明るさとは、煮詰めていくとどうもちょっと違うところが出てきたりする可能性もあると思うんですね。

もちろんブリリアンスなりブライトネスなりという言葉があって、定義も書いてある。そういうふうな言葉で統一しながら話せばいいんでしょうけれども、マシンのほうにしてみれば、いったいエレクトロンを何個一バンチにためて回せば回せるか、それがいったいどのくらいの幅に安定していればいいかと考えます。今度はユーザーの人が実際にミラーを使ったりしていると、おそらくまた条件が変わってきいたりするんだと思うんです。それを実際に測定しているところでの明るさみたいなものになってくる。

だから、私たちはユーザーの人たちの状況を知らないし、先ほどユーザーの方がリングはブラックボックスだと言われたのは、こちらの様子が向こうに見えないということだろうし、やはり相互認識が足りないということが非常に大きいんじゃないかと思います。

大熊 SPring-8なんていうのは、そういう意味では非常に大変になるんじゃないですか。例えばわれわれのところのリングは小さいものなので、マシンにかかわっている人間といっても3、4人しかいないわけです。そういう意味でユーザーと言

葉を交わす機会が多いのですけれども、光源の性能をアップしようといってもなかなか難しい。できてしまったリングではなかなかうまくはいかないのですけれども、SPRing-8ぐらいになると、われわれが町医者だとすると総合大病院ぐらいになるわけで(笑)、中で外科の先生、内科の先生というふうにいる専門に分かれていかれると思いますので、ユーザーとの間のコミュニケーションをどう図っていくかというのは、ますます真剣に考える必要があるんじゃないかと思いますね。

田中 このままいくと、サービスの悪い大病院になってしまうかもしれないし(笑)。

大熊 そうですね。外科に行ったら内科に行けと言われ、内科に行ったら最後は精神科に行けと言われて……(笑)。

田中 たらい回しに扱われる。

大熊 そういうことになるとちょっといかんと思いますので、そのへんは難しいところなんです。そのへんはもしかしたら、最初に佐々木さんが、インサクション・デバイスというのは利用側なのかマシンに入れてもらえるのかとおっしゃっていましたが、いちばんビームラインに近い光源ですから、そういうところが仲裁役ということになるのかもしれないですね。

佐々木 大変な役回りですね(笑)。

磯山さんはユーザーに対するご希望は何かありませんでしょうか。

磯山 いま皆さんがおっしゃったようなことに尽きると思うんです。ユーザー側だけではなくて、われわれもそうなんですけれども、ある程度お互いにお互いのことを理解し合う努力をしないと、いけないと思います。昔の第一世代のリングは、マシン側とユーザー側は独立に進められた。例えば偏向磁石から出てくる光を使っている限りは、マシンにタッチしなくてもよかったと思うんです。だんだん世代が進んでくるに従って、挿入光源などの光の発生装置がマシンの一部になりつつある。そういうふうなことになっていますから、光を

出す点からずっとビームラインを下って、実験でサンプルにあてるまでの総合性能で全体の性能が決まるということがありますので、マシン側は、ユーザーがどういうことを望んでいるか、またはマシンを出たあとの光をどういうふうにするかというのを知らないと、理想的な解は得られないだろうと思います。

ユーザー側のほうも、普通の共同利用の場合、例えばあるマシンから出たこのデータが取れればいい。これは想像なんですけれども、そういうふう考えられるんじゃないかと思います。ある程度長期的な見通しに立ったような要望なり議論なりをしていただくと……。

加速器というのは、あるパラメータにしても、どこかのボタンを押せば容易に変わるというものではなくて、かなり詳細にいろいろなことをやらないとあることが答えられない。一般的な話なんですけれども、そういう性質がありますので、少しお互いに理解し合うことが必要んじゃないかと思いますね。

佐々木 ほかに何か御意見があれば、この際ですからどしどし言ってください。

芳賀 マシン側としてはユーザーがこの程度のコーヒレンスを持ったこの光がいい。そこから来て、そのためにこのエミッタンスでこのカレントをためてくれと言われれば、こっちはそれから考え始めます(笑)。それでだめだったらだめですというわけですからね。

田中 今回のSPRing-8も、こんなことを言っちゃいけないのしょうけれども、すべてのパラメーターが厳密に決まっているわけではありません。もともと6 GeVであったわけですね。

芳賀 よい加減にしたという……(笑)。

田中 ええ、よい加減ですね。よい湯加減というか。エネルギーを6 GeVから8 GeVにしたのは、さっきお話しした様にアンジュレーター光の波長領域を広げるためですが。

芳賀 5次光…?…7次光…?…?

田中 5次光だね。でもその理由づけだってそんなに明確ではありません。もっともらしく聞こえるけれども、ウランのK殻吸収を用いた重要な実験というものがどれほどあるのでしょうか?

柳田 あまりユーザーがいないのね。

田中 ただ、波長可変範囲がギャップをそれほど小さくしなくても十分に取れるというメリットはあります。それでも絶対エネルギーが8 GeVじゃなければいけないというものじゃないんですよ、エミッタンスにしても同様です。

大熊 それはおっしゃるとおりですね。ご存じかもしれませんが、いまVUVのリング計画を物性研もやっていてエミッタンスが5とか6 nm^{-1} とか言っているんですけども、どこから持ってきたかといったら、世間を見回してというようなところが強いわけで、その数字をいま詰めるというのはなかなか難しい。

田中 最終的にどこか落ち着いた先でいいやというぐらいのものでしょうか?

大熊 ただ、芳賀さんが言っているのは多少違うような気がするんです。というのは、芳賀さんのところとか、物性研もそうなんですけれども、現にもう動いているリングです。ユーザーが張りついていて、その要求は何だろうと聞く訳ですが、それに対してSPring-8の場合にはいま作りつつあるリングで、どうしたらよろしいのかという要求をくれという話があるんですね。

田中 作ったあとですとそれからよくするというのは非常に大変なわけですから、本来は設計の点でいろいろ言ってもらったほうがいいわけです。このままいくと使って初めて、やっぱり何か物足りないという感じになるんじゃないかという危惧がありますね。でも、これまでのリングがみんなそうだったのでしょうから、しょうがないのかなとも思うんですけども。

佐々木 PFの2.5GeVというのは、初めにライナックありきでこのエネルギーに決まったんですか。

芳賀 どうして2.5GeVを選んだかという理由は私はよくわかりません。それは50代の座談会に出ていたのかもしれないけれども(笑)、なぜ2.5GeVになったかという理由づけは知りません。

それとどうなんでしょう。これは私だけの勝手な想像になるんですが、例えばX線を使って実験をやっていた方は、放射光施設ができる前はX線管なり何なりがX線源だったわけですよ。それは自分たちの研究室の中でX線管を置いて実験をして、今日終わったらカチャンと止めて、部屋にカギを掛けて帰って行く。次にまた朝やってきて、実験する。

けども、うちのような施設になると、高エネルギー実験とか核物理の実験でも同じですけども、マシンタイムが割り振られて、24時間3交替で運転が始まるわけですよ。そこへ行って、何だかわからないインターロックシステムとかいう中で実験をやっているといけません。そういう実験の周りの状況の違いみたいなものが、いまの放射光のユーザーの方の中に……。もちろん使っているいらっしゃる方は当然いるわけですけども、そういうふうな基盤となってきた実験環境の影響みたいなものがあるということはないんですか。

大熊 よくわからないけれども、ユーザーといっても多様なんですよ。要するに、いま芳賀さんが言ったように、実験室レベルでやっていたことが、放射光施設に行けばもう少しいいことができるからやってみようかという人もいます。

PFにX線のラインができて、実験室で今まで2週間ぐらいかかっていた写真が1時間ぐらいで撮れるというんで行ってみたら、生体試料を扱っていたのでいっぺんに死んでしまった、こんな強いものは使えないと怒って帰った先生がいるといううわさ話を聞いたんですけども、いろいろなユーザーがいるのでなかなか難しいところがあると思います。今言ったようなユーザーの人たちもちろん立派な研究をやっているんですけども、先ほど田中さんが言っていた話は、先進的な

実験を目指すようなユーザーが少ないという意味では、確かにそうかもしれません。これができたらあれをやってやるんだ、これができなきゃあれができないというような考え方をするユーザーは、確かに少ないかもしれません。もちろんいらっしゃるんですけども、なかなか難しいんじゃないですか。いま実験をやって、データをまとめてペーパーを書くというのは実験屋の一つの大きな仕事なんで、これから何年先こうなったらあぁなあっていうところまで考えるのは難しいかもしれません。

柳田 硬いほうを求めようとしたら、ARとかトリスタンを使うとか、いろいろとありますからね、すぐできるものは。

大熊 MR計画は私も少しは知っています。いわゆる第四世代と言っているのだらうと思いますが、エミッタンスがまだ5分の1かそこらに……。

田中 いわゆるビームのエミッタンスよりフォトンエミッタンスのほうが大きくなってしまおうというリングですね。

大熊 まあ、そうですね。

芳賀 例えばMRで、放射光を利用したときに今までの実験方法とは違うこういうものができるというのが前面に出てくる。もちろんいま出ていますけれども、もっとそういうものが前面に出てくると、加速器屋さんとしては非常に力(りき)がつくんじゃないかと思うんですね。

田中 MRでの放射光利用ではエネルギーを下げて、インサクションデバイスを入れるためにキャビティを取っ払うんですか。

芳賀 キャビティを取っ払ってエネルギーを下げないとちょっと無理ですね。真空をよくしないと寿命が……。

大熊 いま、だいたい10GeVぐらいで運転しようと考えているんですか、MRは？

芳賀 いや、流動的みたいですね。このへんは本当にオフレコでしょうけれども。

大熊 この前の物理学会では10GeVぐらいで話が

進んでいましたね。

柳田 SPring-8も早く作らないと。

田中 計画を1年ぐらい前倒しにしたいですね。

柳田 1年じゃない。4年ぐらい前倒しにして。

田中 4年なんてとてもできないんじゃないですか？(笑)。

佐々木 結局、放射光利用のユーザーもマシンのほうもひっくるめてみんなをエンカレッジするようなテーマというか、トピックスがないというのが現状なんじゃないですか(笑)。

大熊 そうというのは本当は放射光学会で作り上げていかなきゃ。それが放射光学会の役目なんですね(笑)。

芳賀 いい意見が出ましたね(笑)。まとめの意見ですね。

田中 みな賛同(笑)。ほんとにそうかもしれないですね。そういうロマンを感じさせるようなテーマがあると、確かに燃えるものがありますよ。やはり必要は発明の母であるといえますから。

八木 放射光の分野では逆なんですね。光があるから、それを使ってできる実験を考えるという感じですね。本当は逆ですよ。こういう実験をやりたいからこういう光が欲しいというのが正当なんです。なかなかそういう実験はないんですよ。ないというか、考えつかない。

田中 八木さんの運転しているところをちょっと見てみたいですね。オペレーションを一人で全部やられるんですか。

八木 いえ。

田中 何人かのチームで運転しているのですか？

八木 全部で7、8人いるのかな。それでリニアックを運転して、リングを運転しています。

田中 リングは自分で全部やっているんですか。

八木 そうですね。リニアックを運転してもらって、リングを運転します。

柳田 リングはTERASですか。

八木 TERASです。教わりながら……。

柳田 リングというのはリニアックのユーザーだ

からね。

八木 ああ、なるほど。

柳田 リングでいろいろな実験をしたいから、リニアックに、例えば1 nsのショートバンチにしてくれとか。タイミング関係とかは自分でやっています、現状では。

田中 最近、PFでシングルバンチをやり始めたと聞いているんですけども……。

芳賀 昔からスタディ自体はやっていましたけれども、要するにユーザー運転ですね、ユーザータイムの中で。

田中 つい最近ですよ。

芳賀 そうですね。この1年ぐらいですね。

田中 あれはユーザーが希望しなかったからやらなかったんですか。それともオペレーションが難しかったからやらなかったんですか。

芳賀 もちろんマシンスタディはやっていて、そのときにはユーザーの方にも実際にビームを見てもらって、実験してもらっていたんです。でも実際にはそれほどたくさんのユーザーでもないですね。実際に使っている方はそれほど多くないと思います。ただ、さっきも言ったような運転の多様化ということでそういうふうになっているわけです。

分子研なんかはもうだいぶ長くやっていますよね。

磯山 そうですね。たいぶ盛んに実験をやっています。もちろんマルチバンチに比べればユーザーの数は少ないんですけども、定期的にやっております。

田中 分子研のリングは小さいので、PFのセブラルバンチぐらいに対応していることになりますね。

芳賀 うちのは1.6MHzです。

大熊 いちばん難しいのは、シングルバンチにすると、マルチバンチでなければ実験のできないユーザーがビームラインが使えないという立場にあるんでしょうね。

芳賀 そうですね。使えないことはないでしょう

けれども、実質的にはほとんど使えないような状況です。いまカレントが60mAぐらいで、寿命がちょっと短い。

田中 60mAまで行くんですか、シングルバンチで。

芳賀 いまは行っています。いちおうユーザー運転では50mAで初めて、数時間にいっぺんの入射でやっています。いま主にシングルバンチの純度を上げるといようなことをスタディではやっています。

柳田 どれくらいですか。

芳賀 いまのところ4乗分の1ぐらいですね。

柳田 分子研は6乗とか言っていないでしたか。

磯山 いえいえ、そんなに行かないんです。

芳賀 ただ、非常にコンスタントにそれを維持するというのが難しいですね。

磯山 だんだん純度が悪くなるということですかね。

芳賀 はい。ですので、その前のバンチだけ何とか削れないとか、それをいま考えています。あと入射のときにスクレーパーで削れないとか。

田中 カレント・ディペンデントチューンシフトを利用するとPFの方がいってましたけれど。

芳賀 ええ、それで後ろのバンチだけ蹴るとかいうことができないかということではやっていますが、常にコンスタントにそういう状況を作り出すというところはなかなか難しいです。

大熊 SPring-8はシングルバンチの運転も考えていたんですけど。

田中 ええ、最初は主要な運転モードとして考えていたんですけども、カレントをためるのが非常に難しそうなんですね。

大熊 どのぐらいに……。

田中 シングルバンチで5 mAを考えていますが、5 mAをためようとする、かなりブロードバンドインピーダンスを下げなければいけないということになります、マイクロウェーブインスタビリティの式からいうと。あれもどのぐらいあてに

なるかというのはちょっとわからないですけども (笑)。

芳賀 私たちも最初のころ、シングルバンチのマシINSTAディのときにはまずビームを入れてみて、ビームを止めてみんなでリングの中に入ってさわりまくるんです。つまり、どこで発熱しているかというのを調べるわけです。

主に熱くなったところからの脱ガスで真空が悪くなって、寿命がそこで制限されて延びないというようなことなので、主に真空のところを徐々につぶして行って、極端なことを言えば、滑らかなリングができれば問題はないんですね。さっき言ったように、例えば真空に引くポートがあって、そこでビームから見ると急にドンと広がったりすると、そこにある種のエネルギーがたまってしまうので、そういうところを極端に少なくしようということで、毎年夏の改造のときには入れ換えをしているんですね。

磯山 光の取り出し穴をふさぐといいんじゃないですか (笑)。

田中 PFでも最近になってようやくシングルバンチをやり始めたということのをわれわれも認識しています。シングルバンチはユーザーも少なそうですし、現状は主にマルチバンチオペレーションのみを考えています。それでもダクト等は、なるべくインピーダンスを下げるように設計しています。

PFはどうなんでしょうか。入射器のところはたぶん非対称になっているんでしょう。あのへんは非常にインピーダンスが高いですね。われわれは入射部は全部軸対称になるように工夫はしているんです。それから、たぶんすべてだと思いますけれども、フランジにもRFコンタクトは付ける予定です。ただ、リングが非常に大きいので、それでもトータルのインピーダンスは結構大きくなってしまいますので、どうなるかはやってみないとわからない。

芳賀 実際にうちでも、RFコンタクターとか付けてやっている場所でも、スタディをした最初のこ

ろは、コンタクターは微妙なものですから、そこですき間がちょっと開いて発熱するとか、放電しているみたいだとかいうことがありました。実際に作ってみると、難しい点は当然出てくると思いますね。

ただ、ユーザーの方は、これから増えてはいかれるのではないのでしょうか。

佐々木 放射光の光の特徴のひとつですからね。

田中 X線の領域のユーザーは増えるんですかね。

佐々木 いや、そういう意味ではなくて、要するにタイムストラクチャーを持っているような光のユーザーです。ほかにはそんな光源はあまりないでしょうから。だから、本当はもっとそれを積極的に利用するようなことを考えてもいいんじゃないかなと思うんです。いまユーザーがいるかいないかにかかわらずね。

田中 さきほどもいった様に一応インピーダンスは極力下げるといようなことは考えています。

柳田 でも簡単に計算は…。

田中 あのへんの解析は結構難しいですよ。だから、逆にマシンの人たちは今後、現実の問題が精度よく取り扱えるような体系化とかを進めていったらいいんじゃないかと思います。私は未だシングルパーティクルで手いっぱいですけども、何しろローエミッタンスというのは題材としては結構面白い。非常に6極が強いので、それだけでもやることはいろいろあります。

佐々木 放射光用のリングに特有の問題というのは、放射光学会というのがまさにうってつけの場なので、ぜひこれを機会に放射光学会に入って発表してください (笑)。

八木 じゃ、田中さん、入りますか。

田中 入りましょうかね (笑)。

磯山 6000円で、3カ月に1回、非常に内容の濃い雑誌が出ます。今日のような座談会も出ていますし (笑)。

田中 分子研はユーザーが意外と保守的で、あまり大胆なマシINSTAディは許されないといううわ

さもあるんですけれども。

磯山 そんなことはないんですけれども、制約があるんですよね。シャットダウンが非常に短いんです。

田中 1週間ぐらいですか。

磯山 最大で2週間ですね。もちろんもっと長期のもの……。真空なんかやろうと思ったらそんなのではとてもできないので、それは前もって半年なり1年前に確保しないといけない。そういう意味では、PFが毎年やっているようなことをやるのは、われわれのところはちょっと難しいということがあります、それ以外のところではそんなことはないです。

田中 マシンタイムを利用してFELにオプティカル・クライストを入れているんですよね。

磯山 まあ、そうですね。

佐々木 それは放射光の利用実験のテーマという格好でやっているんですか。それとは別にやっているわけですか。

磯山 別にです。加速器のほうの仕事としてやっております。どうせ基礎研究ですから。

柳田 FELはエネルギーを下げてやるんですか。

磯山 下げてやりますね。

柳田 300MeVぐらいですか。

磯山 いえ、500MeVです。

柳田 結構高いですね。

磯山 ぼつぼつ発振実験のための準備をやっていきますけれども、なかなか……。やはり専用の機械ではありませんので、1週間に1回ポンとやっているだけなのでなかなか進まない。準備なんかがあるのにすぐできるわけではないので、いいペースだということもあるんですね。

田中 間隙を縫ってやらなきゃいけないから大変ですよね。

磯山 そうですね。

佐々木 JSRはリニアックのユーザーなので、ほかの、例えば陽電子の実験だとか中性子の実験だとかいうのとマシンタイムの分捕り合戦をやって、

せいぜい取っても一月に1週間、場合によっては3日間ぐらいしかマシンタイムがない。そういうところで実験をやっているの、状況としては共同利用の施設でマシンスタディをやっているのと似たような状況ですね。

田中 ライフはどのぐらいなんですか。

柳田 意外と短いですよ。

磯山 数十分？

柳田 マシンタイムが十分ではなくて、光での焼き出しがまだ終わっていないというか、進んでいないんですよ。

田中 真空度が悪いんですか、ダイナミックな真空度が。

柳田 というか、150MeV、300MeVでしょ。だから、たくさんためて、溜らしていかないといけないわけです、チェンバーを。それがまだなんです。あれは確か100A・hぐらいためないとだめなんです。まだそこまでは行ってない

佐々木 先ほど、SORリングのインジェクターは1.3GeVのシンクロという話が出ましたよね。リングは380ミリオンでしたよね。これはシンクロのエネルギーのランピングを途中でやめているんですか。

大熊 入射は実際には308MeVでやっているんです。308MeVで入射が終わったあと、380までエネルギーをアップする。

柳田 何故そういうことをするんですか。あ、セプタムか何か。

大熊 それはほとんど分子研と同じ状況で、あのリングは300MeVで設計されたものなんですね。300MeVぐらいのところが入りがいいわけです。もうちょっとエネルギーを上げて入るんですけれども、ある程度以上のところはトランスポートのマグネットの関係とかでだめなんです。だから、380で入れることはできないんですね。

320とか330ぐらいで入れることはできるんですけれども、普通は308ぐらいでやっています。おっしゃるように、シンクロトロン加速の途中入

射するんです。ですから、シンクロトロンとしては、原理的には308MeV以上で運転してもらえば入るんですが、実際はギリギリでも315ぐらいで運転してもらわないと。それ以下だとちょっと入らないですね。

あそこのESもまだ生きていますから。生きていますからと言ったら怒られちゃうんですけども、原子核素粒子の実験をやっている人たちがいますので。

田中 いまPFはもうポジトロンオペレーションですよ。ユーザーの反応はどうなんでしょう？ポジトロンと電子では、やはりポジトロンのほうがいいとおっしゃるんですか。あまりにもビームがピュアになってしまったために、ポジトロンのカレントリミットが電子に比べて下がってしまったと聞いていますけれど。

芳賀 ただ、寿命の落ちがやっぱりないんですね、ポジトロンだと。

田中 例のゴミというやつですか。

芳賀 ゴミというやつです。ですから、ユーザーのほうのトータルなビームの安定度というか、供給の状況から言えば、ポジトロンのほうがありがたいのだと思います。

田中 評判もいいんですか。実験がやりやすいということですかね。

芳賀 というか、もちろん光としては別に電子、ポジトロンは変わらないわけですけども、いま現在のカレントと寿命であれば何ら問題はないというところですよ。

田中 寿命がガンと下がる、あのときというのは、光はどういうふうになるのですか。何か直接的に光軸がどうのという話ではなさそうな気がするんですが。

芳賀 ええ。もちろんいろいろなパターンがあって、スーッと寿命が落ちてまた戻るタイプと、落ちて少し短い寿命でいて、それからまた元に戻るというタイプがどうもあるみたいなんですけど、光のほうで実際にそのときどうなっていたかという

のを実験している方で、きちんとそのときの様子をつかまえた人はいないんじゃないかと思うんです。

田中 そうすると、電子でもポジトロンでも変わらないということですね。

芳賀 ただ、こちらで見ていて、寿命の落ちというのがポジトロンでは……。

田中 寿命は基本的にカレントの単位時間当たりの変動ですよ。だから、回っているビームの位相空間——厳密にはあるのかもしれないけれども——にダイレクトに影響を及ぼすというよりか、ただ粒子がバンチ当たりで1個なくなるとか2個なくなるとかいうことを反映しているだけなので、光を使っている人にはあまり光軸が振動するという話ではないと思うのですが。

芳賀 もちろん光軸が振動するというようなことは……。もうちょっと速い実験をやっている人はどうかわかりませんが、そのために光軸が不安定になったというふうな報告は受けていません。

田中 ないですよ。

芳賀 ないです。ただ、そのときにカレントは少し落ちていきますので。

大熊 トータルなライフの問題もあるんでしょう。

芳賀 トータルなライフの問題です。

田中 トータルなライフは変わらないんでしょう、電子でもポジトロンでも。そんなことはないんですか。

芳賀 ポジトロンがちょっと長いんです。

田中 どのぐらい長いんですか？

芳賀 これは真空グループの人がいままとめつつあるんですが、微妙なんですよ。

田中 そんな大差はなさそうですね。

芳賀 大差はないんです。

佐々木 ただ、ユーザーの要望でいちばん出てくるのは、ライフタイムを長く、運転時間を長く。これだけは絶対出てくるんですよ。

田中 ライフタイムはやはり長いほうがいいわけ

ですか？

佐々木 それはユーザーは喜ぶますね、安定しているということで。さっきの光の強度がどうのこうのというのは確かなかなか出てこないんですけども、運転時間を長くしろというのは、ライフタイムもなるべく長くしろというのは、皆さん口を揃えて間違いなく言うことです。

田中 それはでも、カレントと時間の積分値という話で言うと、たぶん電子のほうの方が有利なんでしょう、ポジトロンよりも。

芳賀 安定にためるとということから言うと、どうなのかわからないですね。

佐々木 そのインジェクションのためにかかる時間というのは、ポジトロンのほうが圧倒的に長いんですか。

芳賀 それは入射器から来るビームは、電子のほうはずっと多いです。ですから、ある量をためようと思ったら、電子のほうが速いです。ただし、例えばいまポジトロンで350ミリためるのに20分ぐらいで済んでいますけれども、電子にするともちろん数分かからないですね。3、4分です。ですから、その時間差というのは、ユーザーにとってそれほどクリティカルな量ではないですね。

田中 でも電子だったら500mAぐらいたままるんじゃないですか。

芳賀 ただ、そうなってくると今度は、ビームが途中でこんなことを始めますので。

田中 ああ、そうなっちゃうんですか。

芳賀 はい。そうなると、これはユーザーの方にとっては非常に大きな問題になってきます。

佐々木 この前のインターナショナルアドバイザリーコミッティで言っていた、インジェクションの時間を40分取ってというのは、あれはポジトロンの話ですか。

田中 そうです。電子なら1分ぐらいです。1分もかからない。

佐々木 40分というのはいくらなんでも長すぎる

という話がありますね。

田中 だけど、それはユーザーの方々も了承している話じゃないんですか。よくはわかりませんが。アキュムレーターリングを付ければそれよりずっと速くなりますけれどね。

芳賀 ただ、次の入射までが40分だというのだったら、これは非常に問題ですよ（笑）。例えば次の入射までが24時間だというのであれば、それほど問題ではない。

田中 しかも40分はゼロからですから、次の入射のときにはカレントは残っているので。

芳賀 うちの場合も、毎朝継ぎ足しは15分ぐらいで終わっちゃうんです。

佐々木 つい最近、先週だったか先々週だったか、ブルックヘブンの人が来ていてその人と話をしていたんですけども、あそこでは20分ぐらいインジェクションに待たされるそうです。だけどその時間がしょっちゅう落ちて何回もある。

田中 1日中、入射を繰り返すわけですね。

佐々木 ええ。それがたまらないと言っていましたね。

芳賀 それはたまらない。

それともう一つ、うちで今まで問題になっていたのは、入射のときに、数台あるインサージョン・デバイスを入射の位置に戻すわけです。つまり、ギャップを開いて。それが今まで、例えばシリーズにやっていたんです。BL13に入っているものを開ける。次にBL16には入っているものを開ける。全部が開いたところで入射になる。入射が終わったところで、バーチカル・ウィグラーをまた励磁する。それでほかのギャップに……。そうすると、トータルで1時間半とかかかっていたわけです。それを同時に行い、あるいはバーチカル・ウィグラーは永久電流モードでは、励磁したまま入射できる。その結果、入射時間がどんどん短くなったということです。

田中 いまそういうのを全部入れてセットアップの時間はどのぐらいなんですか。

芳賀 9時にビームラインをクローズして、次に開けてユーザーに使っていただくのはだいたい9時半前です。

田中 いまのを全部やってですか。

芳賀 ええ。

田中 超電導ウィングラーのところは、確か水平のアーチャが小さいのでしたよね。

芳賀 小さいです。

田中 あれは入射のときは問題はないんですか。

芳賀 ええ。それもだいがスタディをやりまして、大丈夫な道を見つけたというところだと思います。ですから、いまは励磁したまま入射です。ちょうど30分ぐらいだと、ユーザーの方も朝の食事に行かれたりします。

田中 ちなみに水平のギャップは何mmぐらいなんですか。

芳賀 チェンバを去年、変えたんですよ。私はそのあたりはちゃんと聞いていないんです。あまり変な数字を言って残るとあれだから(笑)。

田中 でも、10mmはあるんでしょ。

芳賀 16とか、そのぐらいじゃなかったですか。

田中 フル幅でですか？

芳賀 ハーフです。

田中 インジェクションするビームをセプタム壁にかなり接近させていますね。セプタムの壁に当てるぐらいにして入れているんですか。

芳賀 そのへんがちょっとわからない。ただ、それと2番のアンジュレーターのところも厳しいんですよ。ですから、入射のほうはだいがそこらへんに苦労していたみたいです。

田中 でも通常のセプタムなんでしょ。パッシブタイプではなくて、カレントをちゃんと壁のところに流すタイプですね。あれは結構厚いでしょう。

芳賀 厚いですね。

田中 ちなみにどのぐらいなんですか、入射ビームのコヒーレントなアンプリチュードは？

芳賀 いや、そのへんは私は残念ながら詳しくはわかりません。

田中 われわれのほうも、インサージョン・デバイスのギャップを当然縮めた状態で入射したいんですけども、それがどのぐらいまでできるかというのが一つの課題になっています。ビームの入射は水平面内で行われますが、垂直方向の振動とカップルしてしまうんですね、6極電磁石が強いので。主に6極電磁石のたて方向のアラインメントエラーでカップリングが生じています。その状態にもよるのですが、入射時の振幅でもほとんどフルカップしちゃうんですね、エラーの大きさは例えばrmsで0.2mmぐらいだとしても。PFの場合は、カップリングが1%程度と非常に小さくなっているから大丈夫なんだろうけど。

「あまり気にしなくても大丈夫だよ。今までのリングでもカップリングを測ってみると案外小さいものだった。」と言う方もいるのですが、SPring-8では、他のリングに比べて、6極電磁石が非常に強いので心配です。通常、アラインメントでは6極電磁石をあまり気にしないでしょ。4極電磁石がメインですから。rmsで0.1mmでアラインメントしたといっても、6極電磁石のマグネティックセンターをまともに測るのは難しいので、6極電磁石は結構ラフに並んでいるはずなんですよ。

佐々木 アラインメントの精度は100 μ 以下とかいう話があるわけですけども、実際に電子の軌道というのは、要するに β トロン振動によって、入射のときにそんなオーダーではなくてもっとたくさんアンプリチュードでもって動くんでしょ。そうではないんですか。

田中 ええ、振幅は10mmぐらいありますね。

佐々木 だから、そういうふうにも動いても電子が回って戻ってくるということが保証されているのだったら、マグネットの位置とかを何も0.1mmに抑えなくても、もっとラフだって電子ビームは回ってくるんじゃないかと考えるのは素人考えなんですか。まあ、素人考えなのでしょうけれども、どうしてそんなに精度が必要なのかというのが、

どうも即座には理解できないんですよね。何か混同しているからそういうふうに思うんでしょうけどね。

田中 アラインメントのエラーというのは、電磁石のリファレンスのズレなので、もともとデザインしたラティスに対してビームが振動しているのと違うわけですよ。だから、例えばもとのラティスに対していろいろな4極成分の誤差が入っているのを回るといふようなことになり、ビームが不安定になったりするわけです。

佐々木 長いこと回っているうちにだんだんズレがアキュムレイトして、回らなくなるとかというふうな意味ですか。

田中 リングのリニアオプティックスが完全に違っちゃうんです。理想的だったら、非常に高い対称性を持っている。対称性が高いということは基本的に共鳴線も全部見えないわけですよ、その対称性の倍数しか見えませんから。だけど、それが電磁石の誤差により崩れちゃうと、すべてのファクターに全部影響を及ぼしていくのです。

芳賀 つまり、最初に設計した軌道のところを実際にもしビームが回れたとして、設計誤差がなければ、例えばQマグネットというのは、中心を通れば何ら磁場を感じないわけです。ですから、設計軌道がちゃんと中心になるようにQマグネットが全部置けたとしたら、そこを回っている粒子は何らQマグネットの影響は受けていないわけです。

ところが実際には、もし0.1mmオーダーで設定した場合には、これはこっちに動き、これはこっちに動き、これはこっちに動きしている。それで最初に決めた軌道のところをずっと回ってみると、何も受けませんが、実はここではこっち向きの力を受け、ここではこっち向きの力を受けている。それは、ここにこっち向きの力のマグネットを入れたというふうな設計になってしまうんですね。そうすると、それは最初に考えていたラティスとは違うラティスがそこに成立している。そうすると今度はその成分が、意地の悪い成分が入

っていると変なレゾナンスを起こすというようなことも……。

田中 佐々木さんの疑問点は、入射時のビームのアンプリチュードに比べてそれが非常に小さいのに、何で効くのだろうかということですか。10mmぐらいのアンプリチュードに対してアラインメントエラーはたかだかそのファクター100分の1ぐらいなだけけれどもという、そういうイメージですか。

佐々木 そうですね。アンプリチュードがそれだけ大きいんだから、もっとエラーが大きくなっていいじゃないかと思うんです(笑)。

田中 そういう疑問はわかるような気がしますけれど、小さなミスアラインメントでもそれは非常に大きなディストーションを生むんです、ローエミッタンスリングでは。自分でローエミッタンスリングを計算していないとなかなか理解できないと思いますが、0.1mmというオーダーはそんなにばかにできないオーダーです。

芳賀 例えば、私たちが建物の歪みが軌道を動かすのではないかというのは、ちょうど私たちもローエミッタンスのラティスに変えて、変えたその日にユーザーのほうから、ビームがなくなったといってクレームが来たんですよ。実際に見てみると、確かに10m地点で1mmぐらい動いているんですね。

それは何だろうという原因を調べる前に、当然、それをフィードバックするシステムを急ごしらえて作って、それからいろいろ調査に入ったんですが、建物が日の光を受けて屋根が伸びる。屋根が伸びた場合に、床はわりとうちはコンクリートパイルを打ってしっかり作っているものですから、壁がこういうふうに反るわけですね。壁が反るとどうしても床も少し持ち上げられます。

この中にリングのマグネットが置いてありまして、実際に床面がどのくらい動いたかというのを測ると、だいたい1日に50 μ から大きいところで100 μ ぐらい上下しているんです。そうするとまさ

に0.1mmオーダー、あるいはもっと小さい量の上下動があるわけです。もちろん各マグネットがいろいろなフェーズで1日の間動いているわけですし、設定エラーが時間ごとに変わっているような設計とは違うようになっているわけです。その結果、ビームがそのくらい動いてしまう。

田中 ローエミッタンスの前はそれが見えなかったわけですね。

芳賀 ローエミッタンスの前は、モニター類の記録をひっくり返してみるとやはりあったんですが、だいたい一ケタ小さい値でした。

田中 じゃ、計算とだいたい合いますね。確か、その前は1とか2ぐらいでしたよね、アンプリフィケーションファクターは。

芳賀 ええ。だから、ざっと言えば10倍ぐらい大

きくなっています。いまはその屋根に断熱材を全面張りつけまして、それとフィードバックで抑えているわけです。

田中 SPring-8は現在のPFのさらに10倍、20倍程度のアンプリフィケーションファクターですから大変です。

大熊 5 μ 床が動く、もうだめなんですね。

田中 ちょっと驚異的なコントロールをしないとビームを安定化することはできないわけです。

佐々木 司会の不手際で非常に散漫な座談会になったようにも思われますけれども、この座談会をきっかけに、利用者のグループと光源のグループの人たちの相互理解が深まっていく助けになればいいかなと思います。

今日はどうもありがとうございました。

バックナンバー紹介 (3)

日本放射光学会特別シンポジウム予稿集 (1991年1月)

Part1 小型光源加速器の現状と展望—リソグラフィへの出番は？

Part2 ソ連の放射光新技術

主催 日本放射光学会 後援 電子技術総合研究所

協賛 応用物理学会

体裁 Part1 B5判, Part2 (OHP集) A4判 (全英文、2分冊)

定価 Part 1, 2, とも各1,000円

内容

Part 1 Status and Prospects of Compact Synchrotrons

May we expect their turn for lithography?

Current Techniques of Lithography

1. Survey of Advanced Microdevice Technology.....S. Namba (Osaka Univ.)
2. The state-of-the-Art ULSI Fabrication Technologies.....S. Asai (Hitachi)
3. Electron-beam Patterning Techniques..... H. Yasuda (Fujitsu)
4. Recent Progress in Optical LithographyM. Nakase (Toshiba)