

ALS 滞在記

電子技術総合研究所 大垣 英明

科学技術庁原子力関係在外研究員として California の Lawrence Berkeley Laboratory (LBL) にある Advanced Light Source (ALS) に来て早くも半年が過ぎ去った。この間色々なことを見聞きした事やこちらの様子について拙文ながら纏めてみたい。私は ALS の Accelerator Group に属しており、ビームラインやユーザーの様子についてはあまりよくは知らない。ALS には日本からかなり沢山のユーザーが来られているので、ビームラインやユーザーの様子はその方々の記事をお読みいただければ幸いである。

LBL は San Francisco から Free-Way を使って約 20 分ほどのところにあり、University of California Berkeley (UCB) のすぐ上の丘(山?) にあり、非常に眺望のいい所である。ALS から真っ直ぐ Bay Bridge や San Francisco そして Golden Gate Bridge などが見渡せる。が、その反面毎日山登りをしなければならぬ。かなりの人が自転車でこの山を登って研究所に来ているが、私は一度挑戦しようとしてあきらめた。大学-LBL 間の無料バスが 10 分おきに出ているので、これが自転車も運んでくれるのでこれを利用している人が多い。帰りは自転車で、という訳であるが、坂がかなり急なために調子に乗ってスピードを出すと正直いって恐ろしいほどである。それで私は、車で行くことにしたのだが、車は車で問題があった。朝 9 時前に研究所に行けばかなり駐車場が空いているのだが、それ以降は駐車する場所がなくなるのである。遅く行くのなら徹底的に遅く行けば大丈夫である。LBL は先に書いたように Berkeley Hill に位置

しており、地図上の敷地は広いのだが山あり谷ありで実際に使える面積はとても狭い。建物は複雑に建ち並んでおり、地図なしでは分からない。建物には番号があるのだが、おそらく建てられた順に番号を付けたのであろうか、ALS のマシンは Bldg. 6 にあり、それにくっついている建物は Bldg. 80 で、ユーザーの多くが入っている建物は Bldg. 2 である。おまけに建物は山の斜面に建っているものだから、正面から入ると 1 階で、裏から入ると 3 階になったりで始めのうちは迷子になってしまう。特に Bldg. 50 というセンタービルディングは秘境である。ここは 6 つの建物がくっついており computer center や図書室があるのだが、目的地に道を間違えずに行くことは半年たった今でも不可能である。しかしながら、研究者の居室はかなり広く取っており、私のような visitor もありがたことに 1 部屋もらっている。

Berkeley の町は非常にごみごみしたところである。これは町並みが古いことも理由の一つであろうが、Stanford 大学のある Palo Alto に比べると随分雰囲気が違う。学生街は大学周辺に広がっていて本屋などが沢山あり、通りでは flea market が並んでいる。中にはかなり怪しげな店も多い。学生寮が大学と LBL の中間にあり、ここらへんは夜中でも人が(しかも女子学生が一人で)うろうろ徘徊している比較的安全な場所である。しかし、大学を下って San Francisco 湾に向かって行くにつれだんだん様子が変わってくる。さすがに昼間は大丈夫であろうが、それでもいつの間にか財布をすっかり握り締めてしまっている。大学構内もけっ

して夜に一人で歩いてはならないということである。とまあ、くだらない事ばかり書いてもしかたがないのでALSの様子について記そう。

ALSはE. O. Lawrenceの184インチサイクロトロン跡地に、建物をそのまま残して(もちろん多少のつぎたしが必要であったが)建設された第3世代の蓄積リングである。いまでもサイクロトロン名残のクレーンとリターンヨークがリングの中心にどっかりある。そもそもALSプロジェクトは1986年に始まり、88年8月に着工して、93年3月16日にビームの蓄積に成功した。その月の24日には65mA蓄積し、その2週間後には目標値の400mAに達した。この後、2台のundulatorをいれて10月4日にユーザー向けの光がbending部から取り出され、10月18日にはundulator光が実験に使われ始めた。私が来た94年10月には、3台目のundulatorも稼働中で常時400mA-1.5GeVの光が使用されていた。その後、11月から1.9GeV運転のためのビームテストが行われ、95年4月よりユーザー向け1.9GeV運転も行われている。ビームは通常マルチバンチ運転で全部で328バンチあるバケットのうち320バンチを使っている。-10乗Torrという高真空により、電子寿命は400mAの蓄積電流で約14時間である。単バンチ運転は2バンチモードで行われており、328ns間隔で数十ps(σ)のバンチ長のビームとなっている。単バンチ運転は、通常40mA程度の電流で行われ、この時の電子寿命は約1時間である。その他のビームパラメーターは表1を参照していただきたい。施設は50MeV電子LINACと1.5GeVブースターリング、そして蓄積リングからなっている。当初の計画では陽電子を蓄積する予定であったが予算の関係上電子ビーム蓄積型となっている。

このなかで特筆すべきはやはりビームサイズであろう。これによりこれまでにない強力な光子ビームが使用可能となっている。また低エミッタ

Table 1. ALS Machine Parameter

Electron Energy	: 1.5GeV (1.0-1.9GeV)
Natural Emittance	: 3.6nmrad
Beam Size	
Horizontal	: 0.2mm
Vertical	: 0.03mm
Bunch Length	
single bunch	: 47ps FWHM
Circumference	: 196.8m
Number of superperiod	: 12
Lattice Type	: Triple Bend Achmat
Momentum Compaction	: 0.0016
Betatron Tunes	
Horizontal	: 14.28
Vertical	: 8.18

ンス設計のためにエネルギー分散も小さくなっており、これにより非常に小さなMomentum Compactionになっている。このことはバンチ長が短くエネルギー広がり小さい電子ビームが得られる事を意味しており、放射光のみならず電子ビームの利用の点でも魅力的なリングと言えよう。残念ながら現在のところこの電子ビームを直接利用するような実験は行われていない。

このようにビームサイズの小さいことや、挿入光源を主に取り扱うことで、ビーム軌道の安定性は非常に重要な課題である。ALSでは現在ビーム位置のフィードバック制御は行っておらず、undulatorのギャップに応じてフィードフォワード制御を部分的に行っているのみである。しかしながら、ビームの位置の安定性は $5\mu\text{m rms}$ 以下であり、極めて安定していると言えよう。このビーム変動は時定数40分ほどでその原因はまだ完全には判ってはいない。おそらく室温の変化や、冷却水の影響のようだ。

95年2月にはビームライン7のundulatorギャップを14mmに狭められるように直線部の真空チャンバーの取り替えが行われた。真空チャンバーは

フレキシブル型ではないのでチェンバーの中はなんと10mm(垂直方向)しかトレランスがない。これでビームが溜まるのかと立ちあげ時は半数の人間が半信半疑であったが、期待に反して(?)非常にスムーズにビームの蓄積が行われた。ビームコントロールの勝利と言うべきであろうか。もちろんブースター電子輸送系も非常に安定していることも一つの要因であろう。たまに電子の引き出しのためのキッカー電源が故障するトラブルが生じる程度である。トラブルと言えば、これまでに小さなトラブルは2週間に1回程度おきており、そのほとんどはマグネット電源である。これらのトラブルにもかかわらずユーザータイムが影響を受けることはほとんどなかった。つまり、修理の間入射時間が少し遅れる程度で、蓄積電子には直接関係ないので、ユーザーはマシンのトラブルを感じることなく実験を続けている。しかし、最近おきたトラブルはそんな悠長なことではすまされなかった。このことについては後ほど記すことにする。通常蓄積にかかる時間は15分程度で0から400mAまで蓄積される。現在、どこでロスしているのかをつきとめて入射にかかる時間を短縮する努力が行われている。

運転状況は95年4月までは週5日で、1日を3つのシフト(1シフト8時間)にわけて24時間運転をおこなっていた。しかしユーザーからの強い要請によりこれを現在は週7日、1日2シフトの態勢に変更している。月曜日はメンテナンスであり、火曜日午前8時から午後11時15分までと水曜日の午前8時から4時までがAccelerator Physicsのマシントimeであり、その後4時から午後11時15分までと木曜から日曜日まで午前8時より午後11時15分までがユーザータイムである。運転モードは1.5GeV Multi-Bunch Modeと1.5GeV Single-Bunch Modeと1.9GeV Multi-Bunch Modeであり、それぞれ最大蓄積電流400mA, 200mA, 40mAとなっており、ビームがある程度少なくなるとその時点で再入射を行っている。オペレー

ターは常時3人いてシフトごとに交代で運転に当たっている。コントロールシステムはこのような比較的大型の施設としては特異である。現在ほとんどの大型施設ではUnix workstationをベースにしたコントロールシステムになっているが、ここではIntel-PCベースである。ユーザーサイドのいくつかのコントロールはUnixで動いているが、マシンオペレーションは完全にPCに移行している。

挿入光源についてはこれまでも少し書いたが、現在3台undulatorが稼働中である。このうちビームライン7.0(BL7.0)にはU5と呼ばれるundulatorである。U5は磁石の周期長が5cmで、周期89, 最小ギャップ14mmである。BL8.0には同じU5があり、これの最小ギャップは23mmである。もう一台はBL9.0にあるU9で、これは周期長9cmであり、55周期, 最小ギャップ25mmである。このundulatorは95年9月にBL12.0に移してBL9.0には新たにU10と呼ばれる周期長10cmで43周期のundulatorが設置される予定である。また96年の始めにはW16と呼ばれる周期長16cmで周期19のElliptical WigglerがBL5に設置される予定で、これにより5-13 keVの円偏光ビームが利用できるようになる。また、BL4.0にEPUとよばれるElliptically Polarizing Undulatorが1996年の終わりに設置される予定である。ビームラインの状況を表2に纏めた。表中のStatusの数字は利用開始予定年を表しており、“0”は現在利用可能なステーションを表している。

ユーザーはparticipating research team(PRT)とindependent investigatorの2種類に分けられ、PRTはbeamlineや実験stationの建設にもたずさわられ、independent investigatorはPRTによって作られたbeamlineを利用して実験を行う。現在independent investigatorは、beamline 7.0, 9.0, 9.3.1, 9.3.2を利用することが可能である。これ

に関する詳しい情報は

ALS User Administrator

Advanced Light Source

Lawrence Berkeley Laboratory, MS 80-101

1 Cyclotron Road, Berkeley, CA 9472

に問い合わせるか、e-mail (alsuser@lbl.gov) を利用していただきたい。

ALSはつい先週まで(5月12日) ビームが全くたまらない状況に陥って大変であった。原因不明

の状態で約2週間色々ビーム診断やビームテストを繰り返し、ようやく原因を究明できた(であろう)。要は、ビームの不安定性を少なくするために真空チャンバーの継ぎ目に銅のストリップ(フラックスバンド)が入っているのだが、これが大電流フィードバックシステムの実験の際に一部が溶けてビーム軌道に引っかかったようである。まだ、ユーザータイムの確保のために真空を破って中を見てみたわけではないので、完全に修理が終

Table 2. ALS Beamlines

Beamline	Source	Research	Energy Range	Status
3.1	Bend Magnet	Diagnostic	200eV	0
4.0*	EPU	Magnetic Materials	25 - 1800eV	96
4.0*	EPU	Full-filled photoelectron microscopy		96
4.0*	EPU	Zone-plate scanning microscopy		96
5.0.1	W16 Wiggler	Protein crystallography	1.5 - 0.95A	96
5.0.2	W16 Wiggler	Protein crystallography	4.0 - 0.90A	96
5.0.3	W16 Wiggler	Protein crystallography	1.5 - 0.95A	96
6.1	Bend Magnet	High-resolution zone-plate microscopy	250 - 600eV	0
6.3.1	Bend Magnet	Calibration and standards	50 - 700eV	95
6.3.2	Bend Magnet	Calibration and standards	500 - 4000eV	95
7.0.1	U5 Undulator	Surfaces and materials, spectromicroscopy	50 - 1900eV	0
7.0.2	U5 Undulator	Coherent optics experiments	50 - 1900eV	95
7.3.1	Bend Magnet	Magnetic microscopy		95
8.0	U5 Undulator	Surfaces and materials	70 - 1200eV	0
8.5	Bend Magnet	Infrared spectromicroscopy		95
9.0.1**	U8 Undulator	Atomic physics and chemistry, EUV optics testing	20 - 300eV	0
9.0.2**	U8 Undulator	Chemical dynamics	5 - 30eV	0
9.3.1	Bend Magnet	Atomic and materials science	700 - 6000eV	0
9.3.2	Bend Magnet	Chemical and materials science	50 - 1500eV	0
10.3.1	Bend Magnet	Materials science and advanced microprobe instrumentation	3 - 12keV	0
10.3.2	Bend Magnet	Deep-etch x-ray lithography, TXRF for surface analysis	3 - 12keV	0
12.0***	U8 Undulator	EUV projection lithography, optics development	60 - 320eV	96

* I don't know the exact branch number.

** To be changed to U10 undulator in September 1995

*** To be moved from BL9 in September 1995

わったわけではないし、原因が本当にそれなのか、またそれだけなのかは判ってはいない。……と、書いてからしばらく日数がたって実際に真空を破ってみてみたところ、やはり原因はフラックスバンドであった。その後のマシンスタディで他に異状がないことが確かめられ、現在は通常運転が行われている。

ビームラインの項でもお判りであろうがALSはまだまだこれから挿入光源の設置やビームラインの建設、それに対応したマシンのチューニングが

必要であるが、優秀なスタッフに支えられてadvancedな光源施設として各分野での活躍が期待される。以上のようにALSの様子を簡単に纏めてみたが、最新の情報は最近流行のInternet Service (http://beanie.1bl.gov:8001/als/als_homepage.html) を使って、現在のALS machine status やALS News等を見ることができる。

最後にALSで研究できる機会を与えていただいた科技庁原子力局の方々にこの場を借りてお礼申し上げます。

ちょっとひと息

モンペリエ 3 - 2回まわし -

モンペリエの大学の寄宿舎に着いたのは夜半過ぎであった。ロビーの掲示板に、石井宛でのメモがあり、「11時まで待ったが、現われないから、鍵を守衛に預けて帰る」という主催者からの伝言であった。鍵をもらって、寄宿舎の部屋に入った。暑い。ランニングにステテコという当時の典型的日本男児のスタイルになり、トイレで小用を足して寝ようと思った。部屋を出る時、ドアをロックした。

部屋の前に戻り、ドアを開けようとした。鍵穴に差し込まれたキーは、右に回しても左に回してもカチャン、カチャンと音を立てて動作している風情なのだが、ドアは開かなかつた。もう真に草木も眠る丑三つ時である。かっと頭に血がのぼったが、途方に暮れた。その時、突然、仏のような山口先生の顔が目に見えた。「そうだ。山口さんだ」

私は彼の部屋をノックした。山口先生は眠そうな目をこすりながらドアを開けた。

「山口さん。あたしの部屋のドア、開かなくなっちゃった。今夜泊めてよ」

「いいよ」

彼は私を招き入れたが、ベッドは一つ。部屋は狭い。私達は、一つのシングルベッドの長手方向を二分し、足の置き場に椅子を使って、寝ることにした。山口先生はたちまち、大鼾き。私も間もなく意識を失った。

気になることが潜在意識となったのか、4時項目が覚めた。こっそりベッドを抜け出し、部屋を出て、建物

を出て、ランニングステテコのいでたちで、「守衛が居なかったらどうしよう」、なんて心細くなりながら、別棟に向かった。守衛はそこに居た。ヘンな姿の日本人に彼が驚いた様子は全くなかった。さすが、ファッションの国。英語をほとんど解さない彼に、万国共通語も使って、何回も説明して、合鍵をもって来てもらった。彼もやってみたが、結果は昨夜と同じであった。何回か同じことを繰り返しているうちに、偶然、ドアが開いた。私は彼の持って来た鍵をもらって、自分の持っていたものを彼に返した。

会場に向かう道すがら、山口先生にそのことを話した。

「石井さん、あの鍵って、2回まわすんじゃないの」

「そうかあ。そうだったんかあ」

「いや、知らないよ。ただ、そういう気がするだけだけどね」

山口先生の言う通りであった。ロックは同じ方向に2回転するような仕掛けになっていた。知らない人が偶然同じ方向に2度回転させた後、1回づつ、交互に左と右に回しても、開かない道理である。先にマルセユー空港での“ガルサンシャ”の一件といい、この鍵の件といい、山口先生のひらめきは難局を救うのである。こういうのを天賦の才と言うのだろうか。

先年山口先生の定年退官パーティーでのスピーチで、私は、

「実は、私は山口先生と同衾したことがあります」

と試みてみた。出席者一同爆笑した。山口夫人もニコニコしておられた。

(石井武比古)