

### (3) c-ERL の現状と ERL (KEK-PF 河田教授)

[質疑応答]

**田中**：私は ERL をいじめていると評判が悪い。ひとつだけ最初に言うが、あそこにいる ERL のファンクラブの会長さんと同じように、私も熱烈な ERL の応援団(の一人)である。本当にこれをきちんとやって欲しいと思っている。今の話の、特に ERL の要素技術の開発のところ、電子源については原理的な困難が解消されたとか、Super Conducting Cavity のところ、本当は色々問題があると思うのだが、問題なしというようなことを言っているのだが、我々もう、ここにいる方ほとんど全員が、とっても難しい技術だということを知っていて、それでも応援している。それを、変な風にオブラートにくるんで、誤解を与えるようなコメントは避けるべきだと思う。そもそも色々あるのだが、電子銃のところに戻って、加速器のヘッドの小林さんがいるので、小林さんが答えた方が良いと思うが、コーネル(大学)のところ、これは IPAC2013 に出たもので、それは生出先生から送ってもらって、我々全部チェックしているし、コーネルのデータも全部チェックしているんですけども、そもそも、エミッタンスの測定とライフタイムのデータ、これはとりあえずマルチアルカリで、これは 65mA だったと思うが平均カレントで言うと、それは 25 分くらい出して電流が激しく低減した。その時のクォタムエフィシエンシーマップがちゃんと出ていて、かなりカソードが死んでいるということが明らかになっていた。色々言われて、カソードは出来るというような感じで発表しているが、カソードはまだまだすごく大変だと、基本的に 100mA で 1 $\mu$  を達成しようとするときに、とってもまだ距離があると思う。加速器の研究者がそう思っていることに対して、基本的な困難はない、もう数年で出来そう、というようなコメントはどういう実験事実にもとづいてされているのか分からない。

**河田**：これが実験事実です。

**田中**：だけどこれは組み合わせたものではないのか。色々な条件でとったものを。

**富澤(JASRI)**：例えばマルチアルカリのところは、レーザーのスポット径が書かれていないとエミッタンスと両立するかどうか分からない。

**田中**：我々がチェックした限りでは、大電流が出ている時は、カソード径 2.5 ミリ $\phi$ ではないですか。小林さん違いますか。

**小林**：そこまで把握していない。

**田中**：それはまったく低エミッタンスと両立しない話である。特に ERL の人たちの悪いところは、1つの物理量を測る、特別な条件で。ERL のオペレーションのときもそうなのだが、全部同時に出来ないものをテーブルに並べる、それでそのテーブルをバツと見ると、同時に達成されるように見えるけれど、それは大きな嘘であって、そういうことをしてはいけない。これは、なぜそんなことを言っているかということ、きちんと開発して頂きたいから言っているのである。そうでないと、現場でやっている研究者の方達、こんな難しいテーマなのですごく大変な状況で多分やられていると思うが、その人たちが浮かばれない。

**西森(JAEA)**：電子源は難しい技術である。電圧を印加するのも 350kV から 500kV というのはかなり大変だし、電流についても 10mA から 100mA、今 60 まできているが、30mA っていうのは 20 年くらい前に達成されて、それが 20 年くらい破られていない。今、Cornell が 60 までいっているけれど、確かに同時やっていないというのはもちろんそうなのだが、でももしかしたらもうエミッタンスを測っているかもしれないし、我々は非常に危機感というか、彼らにどんどん先を越されるのはまずいと思っている。

**田中**：ただ、さっきのデータは 2.5 ミリ $\phi$ ですよ。

**西森**：いや、だけどその 80pC の時も、多分サイズは 1 ミリ以上あると思う。ガリヒ素のデータの時。上がガリヒ素で下がマルチアルカリなので、同じでないカソードだし、これは Cornell のデータなので我々は知らないが、上はガリヒ素でとったデータだから、マルチアルカリでどれくらい出るかというのは我々も分からない。興味はあるが。

**田中**：そうなのだけれども、私が言いたいのは、そういう風にやっていったら良いと言う事。まだ分からないことだらけではないのか。

**西森**：これが同時に、1、2 年の間に達成出来るかどうか私は言えないが、今非常に急速な勢いで発展しているというのは確かだと思う。しかもこれは 350 キロでのデータなので、500 キロになったらそれ

は当然エミッタンス上げることが出来るわけですし。さっき河田さん、500 キロで河田さんが最大瞬間風速と言っていたが、450 ではちゃんと 30 分出しているし、ライフタイムはガリヒ素でしかやっていないが、今コンパクト ERL で運転していて、4 月の 20 何日かからスタートして一度もカソード交換していない。QE の劣下もそれほどではない。

田中：それはどういう状態で。

西森：だから毎日オペレーションして。

田中：どれくらいのカレント出しているのか。

西森：だからカレントは  $1\mu\text{A}$  以下である。施設検査の関係で。最大でも  $300\text{nA}$  しか出していない。それが SPring-8 みたいに  $100\text{mA}$  を毎日出せるようになるのがいつになるか分からないが。

田中：そういうことなのである。これは、本当にまだ R&D なのである、まだ。かなり初期段階の。

西森：いや、かなり初期段階ではあるが、1、2 年前に比べるとすごい進化である。

田中：わかっている。もちろんわかっている。だからこれは本当に難しいのである。

西森：だから、難しいって今まで言っていたが、かなり手の届くところまできている印象がある。

田中：いやいや、手の届くところにきているという印象はない。いや、進んでいるという印象はある。

西森：私はこの 500 キロの電子銃は SACLA に使ってもらいたいと思っている位である。使えるのではないかと思う。

田中：パルスだから？。

濱：今の二人の研究者のお話、噛み合うような、合わないような。いや、噛み合っていると思う。ただ、ここのこれを見て、河田さんの表現ではないかと思うのですが、手の届くところにきているという言葉というのはとてもエモーショナルなので、あまりこういう場ではふさわしくないと思う。それから、あそこに 3GeV になったときのエミッタンスを書いているが、なぜそういうものを書くのか。Gun だけのエミッタンスから、単純にガンマで割っただけに思える。

河田：8MeV から加速した後に、マージャーを通して、確かにマージャーで若干落ちるかもしれないけれど。

濱：若干ではない。そこはまだ誰も確かめていない。

羽島 (JAEA)：いや、これマージャー入っています。

濱：加速管のトランスバース効果も入っているのか？

羽島：マージャー入っているので x の方が大きくなっている。

濱：エミッタンスのディグラデーション(劣化)の起源というのはまだ他にもあるので、このエネルギーからすぐにそれを書くというのは意味が分からない。

河田：それは僕も恐れたのだが、いやでも、ここのナチュラルエミッタンスだけで書いていても、放射光のコミュニティの人は全然実感が出ない。それで、今日ここに来る前に、中村さんに軌道オプティクスとして、入射器のところではエミッタンスがこれだけ出来ていたときに周回部でどれだけ劣化するのかメールで確認をした。その答えは、3GeV の場合にはほとんど劣化しないというのが答えだということ。

濱：いや、それなら結構です。そういうエクスペラネーションがあるということを使うべきである。

河田：それはその通りである。

濱：きちんとそれを言わないと、R&D がどこまで達成して、何が次に出来るだろうか、そういうものを区別して我々が聞くこと出来ない。

河田：了解した。それは私のミスだ。

濱：今までも常にそういうことがあったと思う。だから、ある意味では色んな人が誤解していたと思う。

河田：これに関しては理解してもらえるか。

濱：これは理解した。でも、例えばマージャーまで入っているという話を、CSR の影響が入っているというようなことをきちんとっておかないと、それはある意味では嘘になってしまう。

河田：分かった。

田中：阪井さんは居られます？HOM の入熱のところというのは、あの辺の熱状況というかあの辺はどうなのか。全然問題ないのか。

阪井 (KEK)：いや、問題はあります。真面目な現場の話をする。二つある。入射器空洞が稼働しているところであるが、HOM の発熱ということで Q 値が劣化している。これはまず開発が必要になる。これは HOM の問題ではなく、実は Fundamental がもれているところの問題になっていて、それは

ちょっと場所を遠ざけるとか、そういう開発でもよけることが出来ると思うが、HOM が 100%来たときにはどうなるかというのは、これと入熱が同じくらいになる可能性があるので、フィードスルーの冷却を強化しないといけないという、そういう問題になる。ビームに対しては、HOM カプラーの配置がビームに影響しているのではないかという事はこれからスタディするところになる。そのキックを今ちょうどオペレーションでマッピングを入れたときに、コーネルと同じように、どう蹴れるかというのをいざやって、昨日やった段階では割とそんなにアシンメトリーではないという感じだったのだが、これはまだ加速をしていないとか、加速してとか、そういう色々な状況でとっている段階で、それをやって、そこからまたチャージアップしてやるとか、そういう段階が 6 月くらいからになると思う。現状は、入射器のところはまずそうである。

それで、主空洞。私は本当に主空洞をやっていますけれども、こういう場に来た理由は、今までは開発段階で、このような場に来るまでも、まだ発表することも出来ないから、来ても仕方ないかなと思っていたのだけれども、これに関して言うと、まず言い訳させてもらおうと、まずシステムとして動くというところを大前提で持ってきた。言う意味は、2K に冷えて、チューナーが動くとか、冷えたら動かなくなるという、そういうメカニカルな問題があり、1.3 ギガで冷えて、Q 値が低いレベルで  $1 \times 10$  の 10 乗を達成出来るかという、そういうところが、まずそこまでを組んで夏までで 12 月までというのが結構タイトなスケジュールで、それを持って行って、一応その部分は達成したが。

**田中:** 去年の 12 月ということか。

**阪井:** 2012 年である。それで、それはそれでやったのだが、やはりその組み込みの段階が、この一番上に書いている単体性能、縦測定、先ほど STF の絵が色々出てきたが、これは本当にジャバっと浸けて、空洞だけを測るというテストをやる。それはその、こういう性能、25 メガが出るとか。ILC でもリニアコライダーでも同じような事をやるが、これが全世界で問題になっているのが、この後、加速器に横に組み込んで、全部組み込むときに、クリーンルームで作業するが、開けて閉めての段階で埃が入るとか。我々は多分埃が入ったから、埃がマイクロン以下なのだが、そういうのがどこかフィールドの強いところにペタッと着いて、そこから CW なので、ダーっとエレクトロンが出てくる。それが 10 メガ以上で、Q 値はまだ変わらないが、X 線センサーとか、そういうのをやるとエキスポネンシャルが上がっていくというのが見えている。これを我々は問題だと思っているので、それをもう 1 回ちゃんと検証しないといけないと思っており、先ほどのスケジュールのような工程を組まないといけない。スケジュールがオンタイムでいかないというのは我々のせいかもしれない。要するに、冷凍負荷がめちゃくちゃ大きくなる、1 つは、Q 値が劣化するというのはフィールドエミッションにからんで来るので、そこを、13.5 メガを保証出来るかという、私はちょっと保証出来ないと思っていたので、そこは改善する。それはその ERL に特化した空洞で、このアイリスと言われる、非常に電場が強いところがあるのだが、そこをちょっと弱くするとか、そういう根本的なところをちょっとやらないといけないというので、空洞のそのもうちょっと改良したものを 4 台組み込むというのを、ちょっともう一度きちんとしてやろうかというところを考えている。

**田中:** それは 2014 年から 15 年のところにかけて。

**阪井:** それで、もう一つは、ここまで時間がかかったというのは、クライオモジュールを作るまでというのは、我々本当に経験がなくて、メインでは KEKB をやっておられる古屋さんと一緒にやって、でもほとんど超伝導をやっている人は年配の方である。ほとんど若手に継承するような、そういうのに時間がかかったというのがあり、それを我々でやると、初めてモジュール組んだと。そういうところまでやってきたので、今度イメージがやっと持てたので、それを今度 4 連にするのは、6 年までいかなければ、もっと早いスパンでいけるだろうというところで、この 4 連の実機に向けたイメージを持たせて、3GeV に向けたものがいけるのかというのをやっぱりワンステップ置きましようという風な方針で、今考えている。

**田中:** その 4 台モジュール動作の後に、ハイカレントテストみたいなものはなくて良いのか。

**阪井:** ぜひやりたい。cERL、僕は 100 ミリアンペア出ると思っているんで、それは別にエミッタンスは関係ないが、100mA まず出るという事を大前提で、先ほどのマルチアルカリ使って、レーザー当てて 100 ミリやるというのも良いと私は思ってる。

**田中:** エミッタンスを大きくして、スポットサイズを大きくしてとかしてそういうことをしても良いと。なぜなら、ハイパワー試験はまず行うものであるからだ。

**阪井:** そうである。HOM の評価はそれでしかできないので、そいつを真面目にやりたいというか。もともと 100 は、100 のターゲットはまだ下げているので、逆に言うとこれでやらないと、次の見通しが立たないということに。

田中：いや、もう全く言う通りだと思う。私と KEK の方達の齟齬は無いのだけれども、だから今言ったように、そういうステップを踏まないと、実機に行かない。

阪井：だから、この絵は初めて見せると思います。そういう意味では。

田中：いや、この絵にさらに付加されるような気がするのだ、さらにステップが。

阪井：だから、多分河田さんのデリケートな言い方が、そこの DDR という言い方になっていると思うので、あくまで、次に行くと言ってない。

田中：言っている。それは。

阪井：まあ、ここで要するに 4 連化で、しかも STF は我々ずっと一緒にやっているのだから、そこでは常にやっているのだが、モジュールを組むというのはそこではやっていない。

田中：だから、まあ、外の放射光学会の方々が感嘆されるくらいで、内側の一生懸命やっておられる方々が着実に R&D をずっとそれに関係なく積み上げていけば、どこかで、時間は折り合わないかもしれないけれど、どこかで出来るのだと思います。だけど、その外に向かって言う方が、実質的な速度にくらべて強調してしまうものだから、時間軸を短くしてしまう。そこに、良くないところがあるような気がする。

阪井：それは現場レベルとは本当に、色々議論はしているので、プレッシャーをかけながらというのはあるので、そういうプレッシャーは良いとは思うのだが、本当にどこかというのは、ちょっとまだ。ようやく cERL が動き始めて、我々が意見言えるようになったところだと思って欲しい。現場レベルでは。

河田：cERL というのが動き始めて、これが今テストベンチになっていると。ですから、それが動いているということは、ある意味で動かせるレベルが足りたものと、それからさらにカレントを上げていく、フィールドを上げていくといった時には、それも R&D が、どこが必要かというのを、この場所を使って、R&D をしていくという状況が、今実現出来ているという事です。ですから、確かに田中さんが言うように、じゃあここでまたこの 4 連の空洞が、4 連のクライオモジュールが、うまくやるつもりでやったけれども、うまくいかなかったからやっぱりここで TDR 出来ないですね、出来ないかもしれないじゃないかと言われれば、それはそうかもしれない。

阪井：それに関しては、次はちゃんと落としどころをつけようと思っています。今のイメージを持って、加速勾配を、もうちょっとマージンをとるか、低くするという意味ですけれども。それにあわせて形状をもって、フィールドエミッションもこれで出るというイメージがあるので、そこから逆算して、ERL の長さもそれで決めて、という風にして、なんとかする。

濱：あんまり色んなことを言うつもりはないですけども、今日、阪井くんとかがこの場に来てくれて、今まで現場で R&D の開発をやっている人の声が、正直言うと河田さんのプレゼンから出てこなかった。この計画がどこか蹴つまずく場合もあるかもしれないが、それはこれから新しいものを作ろうとしているんだから当然のことだと思うし、今その努力を本当の意味で R&D をやっている、今 cERL というのが、本当の光源加速器になっていくかどうかというのを試す、まさに試験機じゃないのか。その試験機で勉強して初めて次のプロジェクトが作り上げられるものだと思う。もちろん目標として光源加速器を作りたいということがあって良いと思う。ただ、去年 KEK の中で ERL の委員会がありました。その時に cERL を河田さんはやっぱり R&D の土俵だという風には言わなかった。それは兎に角とありえず練習台みたいなことしか言っていなかった。そこで新しいものが見えてきて、それで問題をつぶしていくという、いわゆる普通の開発スタイルではないようなことを表現していた。それはその場でも、色んな人からそれはおかしいのではないかという声が出た。それは多分、加速器の専門家ではなくても、そういうプロセスを踏んで、新しい装置が出来ていくのか？、という風に思った。ところが今、今日は西森さんの話とか、阪井さんの話とかを聞いて、着実に進んでいるということが、とても実感できて、非常に価値があったと思う。だからこれは続けて欲しい。兎に角、どこかで ERL やめましょうなんていう話を絶対して欲しくない。だからこそこういうソサエティーがそれを支えていく意味を持つんじゃないかと思う。なので、何回も言うけれど、やはりプレゼンする時の話というのは、とても注意してやって欲しい。兎に角、誤解が今までたくさんあったと思う。違いますか。

河田：そうですね。

濱：もし違うというんだったら、違うとおっしゃっていただきたい。さっきも言ったように、中規模リングを作るという話、ERL との間をつなぐためにという話は、完全に別で現れてきたものなのか。この ERL の進捗というのとは、別に現れたものなのか。今日の話は別だが、これまでの話では、ERL に係わるプレゼンテーションでは、実際 KEK で加速器をやっている人たちをどういう風に扱っているのだろうかという風にしか思えなかった。

富沢：私は是非やっている人に聞きたいのだが、このように計画がふらふらするのはどうなのだろうか。現場でやっている。ERL をやっているんだから、ERL をずっとちゃんと研究できたほうが良いわけである。腰をすえて。それで、突然研究所の所長の方が、まあ機構長かもしれないが、例えば東北リングみたいなものを作るという話が出てきた時に、多分現場の人は、非常に一生懸命やって、今ちょうどコミショニングやっていて、私はちょうど友人がちょうど沢山いるので、やっているところでこういう風に出てくるというのは、河田さんは実際どのように考えられているのか。河田さんは大体こういう計画があるというのをいつ頃知ったのか。

河田：それは去年の放射光学会の時に。一年ちょっと前ですよ。

富沢：KEK の中で話し合われたのはいつなのか。要するに現場の人達というのは先週初めて聞いてびっくりしたっていう人が多かった。3GeV の話。それはやっぱりこんな計画でやっているときに途中でそんな風が変わってと言ったら、なにこれとなる。

河田：ERL としてはですね、今お見せしたように、R&D は変わらない。

富沢：いや、変わらないと言っても。

河田：このまま続けていくというのが KEK のスタンス。

富沢：それは詭弁であって、実際マンパワーが足りないが出ていた、先ほど生出さんの資料で。実際に現場でやっている人達は、実際これどうするのってことになる。実際にマンパワーとか、計画性とかそういうのを分かった上で言って頂かないと、こういう大きい計画をやっている時に、適当に最後の辻褄だけ合わせても、物事は動かない。もちろん言われていることは KEK だけじゃなくて他の日本のいろんなところと協力してやるって事を言われているので、それでうまく辻褄合わせることができるとはかもしれないが、そういうことも含めて聞かないと。色々なことを聞くが、やっぱり全然話聞いてなかったという話を聞く。それはぜひ中身がどうなっているのか教えて頂きたい。

村上：これはですね、正直に言って、PF 中での議論を全体で始めたというのは本当にごく最近である。ただ、PF 執行部レベルで、今後の PF の将来計画をどうするかという問題自身はずっと前から議論してきた。一方、去年の夏に、我々は ERL だけを考える今までのロードマップをコミュニティの皆に示した。それに対して、相当色んな方からいっぱい意見を頂いて、それを PF-UA あるいは放射光学会のほうから意見をまとめてもらった。それが去年の秋ぐらいだと思う。そのあたりから、これはどうもコミュニティ全体が、ERL を続けていくというのは重要だという事はどの意見も明記はされているが、今の時点で KEK は責任を持って、3GeV の計画にきちんと関与すべきだという意見が非常に強く聞こえてきた。それに対して KEK の執行部、機構長はじめ、かなり深刻に受け止めて、ずっと議論してきた。最終的に、マスタープランにコミュニティからの意見として、今後の放射光の計画をどうするのかというのを出す時点で、随分議論して、水木学会長も御助力されて、KEK まで来ていただいて、ぜひこれを KEK に協力して頂きたいという事があって、機構長もそういう事であれば、我々は共同利用研なので、コミュニティあっての存在だから、その意見を十分に考えて、但し、やればやります。しかし、コミュニティがそこまで言うのだったら、KEK としてはきちんとそれに対して応えていきましようというのを今決心したところです。これから、機構の内部、それから外部と色々議論しながら、我々としては KEK 単独でやろうという風なことは思っていない。あくまでも、コミュニティはオールジャパンの一員として KEK がちゃんとやってくれよということを言っているのです、我々がどういう形でその 3GeV の計画に協力を、あるいは一定の役割を果たしていけるのかっていうことを、コミュニティと議論していきたい。そういう状況です。

富沢：そしたら今は KEK の中では全然コンセンサスは取れていないが、これから中で議論してどれくらいマンパワーが出せるかや、どんなことが出来るかっていうのをこれから詰めるのか。

村上：そうです。今コンセンサス取れているのは、こういうことに対して機構長と理事レベル、それから所長とか我々 PF 執行部と物構研の執行部、KEK の執行部あたりではコンセンサスちゃんと取れています。加速器の部分で実際にマンパワーどう出そうとか、そういうことは今やっている途中である。

富沢：私はその辺のレベルの人とは友達がないので、私の友達レベルのところは困らないようにやっていただきたい。

富沢：あと一個、サイエンスの話。XFEL-0 の応用について、どういうユーザーに使うかっていうことを聞きたい。先ほど玉作さんのやつを見せていたが、私もシード FEL もやっていて、いつもどういう用途があるのかと、ぜひ意見を聞きたい。普通の非線形効果とか多光子吸収は単なる強度の問題である。ただ、XFEL-0 とかをやったときには、実際モードロックまで行くとか、時間コヒーレンシーがあ

るっていう特性がせつかくあるのだが、それを使うような実験とかそういうの、河田さんだけではなくて、想定している方はいるのか。イタリアのフェルミのところに行って聞いても、実はなかなかプロポーザルがないと言われた。実際それくらいの光源をせつかく作っても、それがないと出来ない実験がないというのが悲しいところである。私は是非それはあったら良いと思うんですけど、それを知りたい。

**河田：**時間コヒーレンスという意味では、例えば非常にクラシカルな系で、結晶っていう媒質をもつてくれば、それでのブラック散乱を使ってスタンディングウェーブと言うのが出来るわけである。しかしそれは結晶という媒体があるからそれが出来るのであって、ところがこの XFEL-0 みたいに自分自身がもうコヒーレントなやつを、なんらかの形で二つに波を分けて、またあわせ込むというようなことをすれば、別に結晶という場がなくても、ある意味スタンディングウェーブのような状態が実現出来るであろうというのと思う。それから、もう一つは、時間コヒーレンスを使うというわけではないが、非常にブルートフォースな話ですが、XFEL-0 というのは 1 バンチあたりに大体 10 の 9 乗フォトンぐらいのフォトン数が、しかも元々もう共振器を組んでいるので、meV でくるんですね。ですから今例えば、だから 1 秒間でいえば 1 メガヘルツで繰り返せば 10 の 15 乗フォトン、/秒の光で 1 meV の光がくるというのは、X 線の非弾性散乱ではもうものすごい、10 の 6 乗倍ぐらいの、ある意味で強度だけだといえそうなのだが、10 の 6 乗ぐらいのジャンプというのはとんでもないジャンプだと思います。

**富沢：**それはその時間コヒーレンスを使うような実験があるかというのが質問の趣旨だった。誰か他の人でも意見があれば聞きたかったです。

**足立：**レーザーで既にコヒーレント制御をやられているようなトランジェントグレーティング、4 波混合的なのを X 線領域でやるとどうなるかっていうのは理論としてはあって、ちなみにハイ Q のところまで見られる、そういうところは非常にいいじゃないかと思っている。もちろんフェーズ枠の中でだ