

「自由電子レーザー東京国際シンポジウム'90」報告

“Tokyo International Symposium'90 on Free Electron Lasers”

電子技術総合研究所 山崎 鉄夫

1990年1月29, 30日の両日, 標記シンポジウムが虎ノ門パストラルで開催された。1987年に原子力委員会が改訂した「原子力開発利用長期計画」を受けて「原子力基盤技術研究」が開始された。中でも各研究機関のポテンシャルの結集が必要な研究が「総合的研究」として選ばれ, 「推進委員会」のもとに「原子力用新レーザーの開発(自由電子レーザー)」が一課題として進められており, その中に「原子力用レーザー交流委員会」がある。シンポジウムはこれら2委員会の主催と科学技術庁の後援により開催され, 国外からの9件を含めて29件の講演が行われた。以下にシンポジウムの内容を簡単に紹介するが, 以前に本誌の解説¹⁾で述べた部分は重複を避ける。国内の計画の多くは文献²⁾にも紹介されている。敬称は略させて頂く。

1. 総合的な講演

冒頭に, 自由電子レーザー(FEL)の発明者であるDuke大のMadeyが「自由電子レーザーの誕生と将来」と題して, FELの原理, 特徴, 技術の現状と展望, 応用等について総括的講演を行った。1 μ mより長波長領域ではFELはすでに実用の域に達しているが, 短波長側では加速器や光共振器の損傷等による制約が大きい。

米国における最近のトピックス(Benson, Duke大)として, 高調波発振の出力の実験値は理論値とよく一致するがスペクトル幅については一致が悪いこと, 光共振器長を完全にtuneするとマイクロパルスがnoisyになること等が挙げられる。

照射量が極端に多くなるとUVによる高反射率ミラーの損傷が回復する現象をDeaconが観測したが, LUREでは否定的な結果が出ており(Petroff, LURE), 重要な問題なので今後詳細な実験が望まれる。

欧州では, LUREでの成功に刺激されてかFEL計画の数が非常に多い(Petroff)。LUREではSuper-ACOで600MeVの陽電子ビームと光クライストロンを用いて実験を続けている。一方LURE-CEAの共同でリニアックからの30~70 MeVのビームを用いて数十 μ mでの発振を目指すCLIO計画, CEAを中心とする大出力FELを目標とするELSA計画もある。ドイツではDuke大の計画に似た長直線部付蓄積リングで短波長領域でのFEL計画DELTA, およびDarmstadtのInst. für Kernphysikにおいて核物理研究用に設計された150MeV超伝導リニアックを用いる近赤外でのFEL計画がある。イタリアでは, Frascatiで20MeVマイクロトロンを用いるENEA計画と, 25MeVの超伝導リニアックを用いるLISA計画があり, リサーキュレーションも考えている。また, フォトカソードと超伝導リニアックを組み合わせて発生する10MeV以下の大電流ビームを用いたFELをプラズマ物理や加速器に応用するELFA計画等もある。オランダでは, 45MeV程度のリニアックと英国で実験に用いられたアンジュレータを用いるFELIX計画等, 英国ではOxfordで10MeV程度のvan de Graaf型加速器を用いるFEL計画がある。

イスラエルでは, Smith-Purcell型FEL, タン

デムvan de Graaf型加速器を用いるUCSB型のFEL等特殊で野心的な研究が多い(Ruschin, Tel Aviv大)。

国内のアンジュレータはFEL用以外のものを含めて十数台にのぼる(北村, 高工研)。実際にFEL実験に入っている研究所はそう多くないが, 計画は非常に多く(三間, 阪大), 近い将来に飛躍的な発展が予測される。

2. 短波長領域FEL

Super-ACOでは633nmでの発振成功の後, 増幅が進むとパルスの時間構造が複雑になるカオス状態の研究が行い, またコヒーレント高調波の発生では蓄積ビームの分散関数が0の場合よりも1の時に好成績が得られている(Petroff)。国内で可視光領域での研究を行っているのは分子研と電総研である(三間)。電総研では, 最近ゲインの測定に成功し, 発振の準備実験も行っている(山田)。ゲインはバンチ当たり1.6mAの電流で 1×10^{-4} 程度, 光共振器損失は最初の状態で 8×10^{-5} 程度であり, ミラーの損傷を考えるとさらに大きなゲインが望まれる。その他計画としては, 高工研でエネルギー回収方式のリニアックを用いる2段階FEL(佐藤)とTRISTANの高エネルギー実験終了後に行う極短波長FELが提案されている(北村)。

3. 中波長領域FEL

三菱電機社は20MeVリニアックで40 μ mのFELを計画して, シミュレーションと準備実験を行っている。(中田) 東大原施では15MeVリニアックを改造して試験中であり, 遠赤外での発振を計画している(大橋)。原研ではFEL専用超伝導リニアックを建設中で, 入射器が完成しつつある(河原崎)。日大では35MeVのdouble-sidedマイクロトロンを完成してビーム試験中である(鳥塚)。東工大ではアンジュレータを設計・製作して阪大産研のリニアックで試験を行ってお

り, またFEL用小型蓄積リングの設計も行っている(服部)。この領域は応用面でも重要でかつ比較的速く達成されると思われる。

4. 長波長領域FEL

この領域での国内の計画は非常に多い。阪大レーザー研では, 最近誘導リニアックからの3.3MeV, 500AのビームでSASE実験を行い, 1.4mmで1パス当り30dB程度のゲインを確認している(今崎)。今後CO₂レーザーを導入して増幅実験を行う予定である。高調波発生シミュレーションも行っている(車)。理研では良質な500keVの電子ビームを用いて導波管モードFEL実験を行ったが, しばしば規則正しい短パルス列が観測された(河村)。これは自己モードロックによるのではないかと考えられている。高工研では誘導リニアックからの750KeV, 2kAの電子ビームで増幅実験を行い, 5kWから50kWの増幅を確認した(尾崎)。電子ビーム収束のためのイオン・チャンネル・ガイディングが効果的であった。このFELはリニア・コライダー計画のRF源として多段にすることが考えられている(平松)。宇宙研では500KeV, 150A \cdot cm⁻²の長パルス(μ s程度)電子ビームを得て, 円形FELの実験を開始しているが, 円形ウィングラによって変調されたビーム・パターンが観測された(斎藤)。原研ではトカマク加熱のために1MeV, 3kAの誘導リニアックを完成してこれからFEL実験に入るが, 現在は計算機シミュレーションを行っている(岸本)。東北大学ではSmith-Purcell型のミリ波領域のFELを分光実験に用いると同時に逆Smith-Purcell効果を高勾配の加速器に応用する研究を行っている(水野)。

5. コヒーレントなシンクロトロン放射の発生

東北大学核理研では, リニアックからの180MeV, バンチ長1.7mmの電子ビームを電磁石で曲げてシンクロトロン放射を観測して, バンチ長付近

の波長でコヒーレントになることを確認した(中里)。これは前出のCLIOでも将来の課題のひとつとして挙げられている(Petroff)。住友重機で最近稼働開始した小型蓄積リングAURORAの電子軌道の周囲に同心円上にミラーを配置してシンクロトロン放射を多数回反射させて光を蓄積する, またコヒーレントな放射を発生するという新方式が提案されている(山田)。ミラーの精度等に工夫が必要で, また高品質ビームが必要である。

6. 高輝度電子ビーム

最近のRFリニアックの進歩はめざましい。特にRF電子銃とフォトカソードによる入射系によって高輝度ビームが得られるようになってきた。フォトカソードについてはLANLで精力的に実験が行われているが, Cs₃Sbカソードは量子効率が高い代わりに寿命が短く, 2×10^{-10} Torrという高真空を必要とする(Schriber)。大電流ビームを質を落さずに加速する加速管にもBBU (beam blow up)や空間電荷の問題等改善の余地が多い(Jameson)。最近FELの方から加速器への要求が多く, 加速器屋はそれを楽しんでいる様子が見られる。

7. FELの応用

FELの進歩につれてその応用が盛んになるのは当然である。加速器への応用について既に述べた。Vanderbilt大学では商品として赤外領域のFELを購入して, 固体物理の研究や医学のユーザーに開放しようとしている(Brau)。短波長領域でも, 化学, 材料科学, 微細加工への応用等夢は尽きない。現状ではFELはまだ高価であり, 特殊目的か研究用に限られているが, 米国での医学への利用は特別なようで, Straight(Utah大)等はStanford大学Mark IIIでの実験で好成績を納めて, 近い将来のDuke大学等での実験を待望しているほか, 8箇所の医療用FELセンターを建

設する予定があるとの噂を聞いた。

このシンポジウムは, 予算執行時期の都合等により告知期間が非常に短かったにも拘らず, 予定したほとんどの講演者から快諾が得られた。参加者数も当初の予想を大幅に上回って200名を越え, 特にその1/3を企業からの参加者が占めたことは, FELに対する最近の急速な関心の高まりと質の変化を示唆するものとして興味深かった。報告書は5月頃刊行の予定である。

29日の講演終了後, レセプションが開かれたが, 和やかな雰囲気の中にも所々で本音ベースの真剣な論議が聞かれた。Madeyは, 次回は必ず奥さんを同伴するつもりだと繰り返し言っていた。シンポジウム終了後, 国外研究者達は大雪にも拘らずあちこちの研究所等を精力的に訪問し, 見学, 講演, 会合に忙しかったようである。「…の加速器はすごくきれいだったよ。」などとお互いに情報交換しているのを洩れ聞いたりした。我々の方も彼等の意見を直接聴くことができ, 忙しいながらも有意義なシンポジウムであった。

- 1) 山崎鉄夫:放射光, 2. 第3号, 19(1989).
- 2) T.Yamazaki: Proc.SPIE, 1133, 62(1989).