

28YEARS PROGRESS REPORT WITH 35MeV LINAC

Toru Ueda, Akira Sakumi and Mitsuru Uesaka

Nuclear Professional School, School of Engineering, The University of Tokyo

2-22 Shirane Shirakata Tokai-mura Naka-gun, Ibaraki, 319-1188 Japan

Abstract

We have constructed the 35MeV electron linear accelerator (LINAC) at Tokai-mura in Ibaraki during 3 years from 1973. We had improved the electron gun, the grid-pulsar and etc. for increasing the electron beam. The experiments of the pulseradiolysis, the plasma wake-field accelerations and the free-electron laser had been much more upgraded the qualities with stabilizing the beam currents. This paper is the status report of the 35MeV electron LINAC operation until 2006.

東大 35MeV ライナックと 28 年間関わって

1. 計画からビーム発生まで (1973 年～1977 年)

東大 35MeV ライナックは、1977 年 3 月に茨城県東海村に建設された。この計画は 1973 年頃より開始され、ビーム性能や機種選定に 1 年近く検討し、1974 年から建屋建設と平行して三菱電機に加速器の設計、製作、据付調整を依頼した。また、当初より、原子炉パルス運転との連動を想定していたため、ライナックは原子炉付属実験設備として建屋建設から、ビーム性能試験まで文部科学省(旧科学技術庁)の厳しい使用前検査を受けて合格した。このライナックの最大の特徴は、非常に時間的に短い、ピコ秒単パルス電子ビームを発生することができる。当時 S-バンドライナックでピコ秒単パルスビームの発生に成功したのは世界で最初であった。方式は、高速短パルス電子銃(～1ns)と 476MHz サブハーモニックバンチャーの組合せで行われ、パルス幅の計測はこれも世界で初めてストリークカメラにより、ビームに伴う空気チェレンコフ光を測定することにより、達成され、当時で 18ps と発表した事は印象深かった。

2. 利用運転開始からビーム性能向上へ

(1977 年～1987 年)

利用は、ピコ秒単パルスビームの発生を待ち望んでいたかのごとく、放射線化学の分野でピコ秒時間分解での発光実験がすぐ行われた。また、1 年後にはストリークカメラ(時間分解能 10ps)や、サンプリングオシロスコープ(20GHz)を使用しての吸収実験も行うようになり、放射線化学の分野で大いに貢献した。ライナックは全国共同利用を行っていたので全国の大学から多くの実験者が利用しに来ていた。ライナック管理部は、利用者に対して安定なビーム供給ができるように、安定性の向上を計り、また、ビーム電荷量増大のため多くの改良を行った。

<ビームの安定化向上には>

1. 電源同期によるライナックの運転
2. マイクロ波との同期回路の改良(ジッターの低減)
3. トリガ伝送ケーブルの布設(温度による位相変動の低減と耐ノイズ性の向上)
4. サブハーモニックバンチャー系マイクロ波(476MHz)のフェーズロックシステムの構築
5. 各種ビームモニターの開発(特にアモルファ

スコアモニターは高速、高感度であった。)

<ビーム増強としては>

- 1.大電流、短パルス高速応答電子銃の開発 (Y-796 ディスペンサーカソードや東芝製オキサイドカソードの試験)
- 2.高速応答電子銃用グリッドパルサーアバランシェ回路集の開発
- 3.入射部ビーム誘導系の試験 (ヘルムホルツコイルによる Hollow Beam の試験)
- 4.加速器全体の真空系の強化 (イオンポンプの増強、クライオポンプの設置等) 以上の改良を行うことにより、安定性の良い利用しやすい加速器になった。

3. ツインライナックシステム (1987 年 ~1994 年)

10年間近く 35MeV ライナックでのピコ秒シングルビームでの利用が行われたが、より高時間分解能の実験を行うため、ツインライナックパルスラジオリシスシステムが考え出された。従来、ライナック1台でのストロボスコピックパルスラジオリシス法は行われていたが、S-バンドライナックではビームを分けて分析光として利用するとどうしても少ない電荷量がより少なくなり、吸収反応の信号が少なくなる。そこで、ピコ秒シングルビームを出せるライナックをもう1台作り、ビームチェレンコフ光を分析光として利用し2つのビームの位相を変化させることにより、ストロボ方式でピコ秒パルスラジオリシス実験の時間遅延を行う。これが新たに予算化され、ツインライナックパルスラジオリシスシステムが完成し、当時で~20ps の立上がりで吸収測定ができた。ここに東大では 35MeV と 18MeV のピコ秒シングルビームライナックを2台維持、管理、利用していくこととなる。ここで新たに設置された 18MeV ライナックにより2つの大きな利用実験が行われた。1つは 18MeV ライナックと 35MeV ライナックにより、ツインライナックによるプラズマビームウェークフィールド加速実験である。これは正にツインライナックシステムの応用が生きた実験

であった。即ち、実験方法は 35MeV ビームをプラズマ中に通過させその時できたウェークフィールドにより、次に 18MeV ビームをウェーク場にのせ、ウェーク場加速をする。この実験ではエネルギーの異なるビームを同一軸にビーム調整することが非常に困難であった。また、プラズマチェンバーの真空とライナックの真空を直結したため $10^4 \sim 10^8$ torr 程度の差圧が出来るような大きな差動排気を作った。それでもアルゴンガスをプラズマチェンバーで使用した後にはイオンポンプアルゴンインスタビリティが観測され、後にイオンポンプの交換をしなければならなかった。18MeV ライナックの利用実験で自由電子レーザーの実験も行った。この実験のため 18MeV ライナックの主な改修は電子銃を従来の短パルス大電流電子銃 (Y-796) から長パルス低電流かつ低エミッタンス電子銃 (Y-646-EorB) に交換したこと。また、ビームのパルス巾をできるだけ長くしたいとの事で、クライストロンパルサーの PFN 部分を改修し、4 μ s から 6 μ s まで広げると共に微妙なパルス内の位相が調整出来るようにインダクタンスの微調を取り入れた。その結果、S-バンドライナックにおける自由電子レーザーの発振に国内で初めて成功した。また同時に自由電子レーザーの発振のためには今まで以上にエネルギー安定性が求められるので、種々の不安定な要因を見つけだし、何が最もエネルギー変動に大きな要因かを測定したところ、加速管の冷却装置の温度コントロールが $\pm 0.5^\circ$ (実際は $\pm 0.25^\circ$ 位) がエネルギー変動に影響している事が分かった。

4. ピコ秒からフェムト秒へ (1992 年~

ピコ秒パルスビームをより短くしたい要求で最初に 35MeV ライナックの 90° 偏向バンチコンプレッサーシステムにより実験を始めた。この頃新しいストリークカメラ (Fesca200 : 分解能 250fs) が納入され、ビームのバンチ内の形状も測定でき、かつ、ジッターも非常に少なかったことに驚いた。確か、rms で~6ps 程度ではなかったかと思う。本ライナックの性能向上は同時にそれをモニターするス

トリークカメラの性能にも大きく依存している。従ってより分解能の高いストリークカメラが開発されるとライナックの電子ビームもよりパルス巾の短いビームが発生できる気がする。当時で～400fs ビームが観測された。

5. ライナックとレーザーとの組合せ(1996年～)

本格的にレーザーとの同期実験が始まったのは、レーザーウェークビーム加速実験が始まった頃からである。同時にフォトカソード RF-電子銃の開発が行われた。18MeV ライナックの入射部をそっくりフォトカソード RF-電子銃に置きかえた。また、18MeV ライナックにシケイン型のバンチコンプレッサーを設けフェムト秒ビームの発生も行った。それまで国内では RF 電子銃は開発されておらずフォトカソードRF-電子銃を国内では最初に成功させた。フォトカソード RF-電子銃は従来の 10 倍 (100MV/m) の加速電界強度を与え、かつレーザー光でカソード面を励起して発生した光電子を加速する。レーザーは最初は YLF レーザーでビーム発生を行ったが、後にチタンサファイヤレーザーを用いることに

なった。これは、ストロボスコピックパルスラジオリシスシステムを目的として 100fs のフェムト秒レーザーパルスで、分解能の良い吸収測定を行うためである。現在、水和電子の吸収の立上り時間で 4ps の時間分解能が得られている。

6. リニアック技術研究会の思い出

今回リニアック技術研究会が 31 回になるとの事であるが、ちょうど東大 35MeV ライナックの建設が始まった頃である。第3回リニアック技術研究会が東大 35MeV ライナックの地 (東海) で開催された。当時の出席者は 50～80 名程度であり、宿泊場所も同じ場所であり夜はお互い仲間同志あるいは私的な交流もあった。発表も、技術的な事も多かったし、失敗も発表していた。最近では、失敗談はあまり発表されず成功例ばかりアピールするような風潮である。もっと角のとれた技術研究会であってほしい。最後に、本ライナックに関わっていただいた多くの皆様にこの紙面をかりてお礼を申し上げます。ありがとうございました。

下図にいままでのライナックの利用の経過を示す。

