

Design and Construction of Twin Linac Pulse Radiolysis System [I]

H. Kobayashi, T. Ueda, T. Kobayashi and Y. Tabata

NUCLEAR ENGINEERING RESEARCH LABORATORY
THE FACULTY OF ENGINEERING
UNIVERSITY OF TOKYO

Abstract

A 20 ps time resolved pulse radiolysis system using two parallel linacs which can accelerate picosecond single beams has been constructed at NERL, Univ. of Tokyo. We named the system "Twin Linac Pulse Radiolysis System".

One linac of the two is used to produce Cerenkov light pulses and the other is used as irradiation sources. The time scanning of analyzing light pulse is performed by shifting three phase shifters which are contained in trigger system of the gun, in the microwave system of the SHB (476 MHz) and in the microwave system of the klystron (2856 MHz) respectively. The system has a wide time range of from 20 ps to 2 ns and a wide wavelength region of from 200 nm to 800 nm.

<序>

東大35 MeV、S-バンドライナックはシングルバンチ加速=ピコ秒シングルビーム=を行い、パルス幅10ピコ秒以下の超短パルスビームを加速し放射線化学等の初期過程の研究に役立ててきている。今迄の多くのデータの蓄積により時間分解が数ピコ秒のごく速い時間領域での実験に対する要求が高まってきている。我々は今迄、加速器からの短パルスビームと、高速度のディテクターを用いたいわゆる直接検出法を用いて時間分解能50ピコ秒を得ていた¹⁾。この時間分解能を更に1桁改善しようとした場合には、現状では直接検出法を用いてはかなり難しい。そこで検出器そのものには高時間分解能を要求しないストロボスコープ法を行うため、ライナックビームの同期性の良さを利用して2台のピコ秒シングルビーム用加速器を用いた新しい高時間分解、広時間領域、高感度のパルスラジオオリシスシステムを設計、製作した。2台のライナックが完全に同期しており、かつ独立性があるところより=ツインライナックパルスラジオオリシス=と呼ぶことにした。

<ツインライナックシステムの必要性>

ストロボスコープ法は1970年にカナダのトロント大学、Hunt²⁾らによってはじめられた。原理的には、短パルス放射線源とそれに完全に同期した短パルス光源があり、その電子線と光の相対時間が正確に変化できれば良い。但しここでひとつ非常に重要なことがある。放射線源で出来た活性種を光でプローブするのであるから光は放射線源より少

し時間的に前にサンプルに到達し、光のみを遅らせることにより、その時間以後を計測していく。ところが直線上で加速しているビーム自身の出すチェレンコフ光は絶対にそのビームよりも早くサンプルに到達することはできない。これが非常に重要である。このために以下2つの例を述べるがこれら従来の方法ではいずれも実験上に大きな制約が加わることになる。

一例-1. ハントらの方式一

ストロボスコープ法の創始者であるHuntらのシステムではビームはマルチバンチを用いる。ここで短パルス放射線源は1つ1つのビームの微細構造、光源はその微細構造が真中で発生するチェレンコフ光である。

図-1に示すようにチェレンコフ光はミラーで構成される遅延系を通過してからサンプル中を通すことになる。このシステムは後述するビームを回転させてビームを遅延させる系に比して直線上でビームを用いるため時間分解能は良い。しかし一方プローブ光は何パルスか後にきたビームの作る活性種をプローブするのであるからマルチバンチである必要がありビームの間隔350ピコ秒以内で完アする現象以外は解析が非常に困難となっている。(その他文献3)参照)

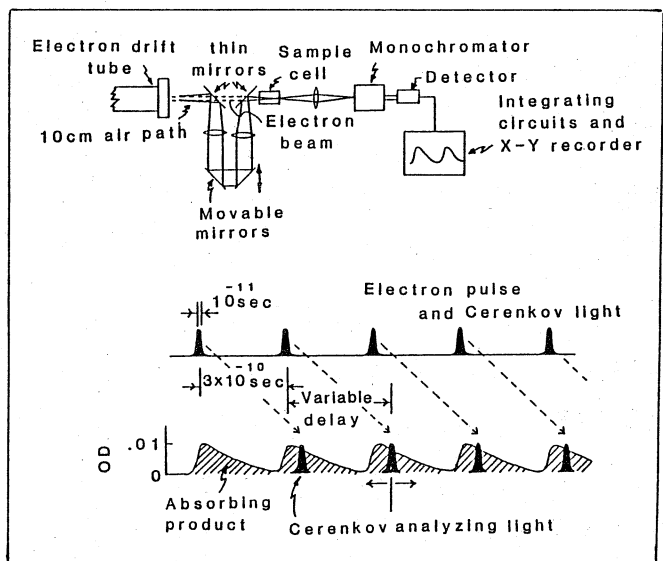


Fig. 1 Stroboscopic pulse radiolysis system developed by Hunt et al. at Tront Univ.

一例-2. ANLの方式一

米国 Argonne National Laboratory ではHunt の協力を得て上述の測定可能な現象の制限をとり除くため新しいシステムを開発し成功している。⁴⁾それはビームをシングルバンチ化したことである。ところがそのままでは先に述べたようにプローブ光がビームより先にサンプルに到達しない。このため図-2に示すようにビームを270°まげて遅らせて用

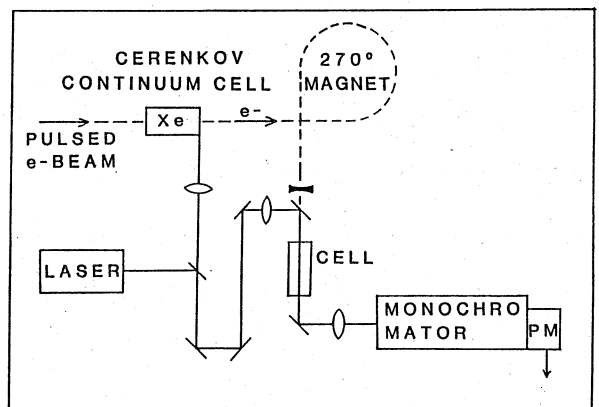


Fig. 2 Absorption spectroscopy system at ANL

いる。このためビームのエネルギー分散がパルス幅を増大させることになり、100ピコ秒近い時間分解能となってしまふ。(その他文献を参照)

—ツインライナックの必要性—

ツインライナックシステムでは、上述の2つの長所を生し、欠点をとり除く形となっている。つまりビームは直線上で利用できる。又シングルバンキ加速を用いるため計測可能な時間範囲に制限がない。これらのことより高時間分解能と広い測定可能な時間範囲の両方を有している。

<ツインライナックシステム>

ツインライナックのシステム図を図-3に示す。このライナックでは今回はACC-II(チェレンコフ放射発生用)は従来の2本目の加速管を移して設置した。このためACC-IIは、バンチャー部のないシグナセクションのみであるが、このシステムの有効性を証明するには十分であった。入射部は別に報告するが電子銃テストベンチとして用いていたものにサブハーモニックバンチャー(SHB)を追加して用いた。

—2つの加速器の同期性—

ライナックで加速したビームは当然のことながらマイクロ波のある一定位相に集群している。直列に接続して加速している際にも加速管Iと加速管IIに供給しているマイクロ波の位相は通常良く合っている。もしパルス毎に加速管Iと加速管IIのマイクロ波がジッターを有していれば、それはパルス毎のエネルギー変動として現われる。これから推定して、たとえ加速管を並列にして設置した場合であっても出カされるビームの時間位相はかなり良く合っているはずである。その2つのビームのパルス毎の時間位相のジッターは図-3のクライストロンIとクライストロンII(KLY-I, KLY-II)の間の位相のゆらぎがそのまま現われると考えられる。クライストロンはビームの走行距離が長いのでアノード電圧の変動によって比較的出カ位相の変動を受ける。その変動は先に述べたようにエネ

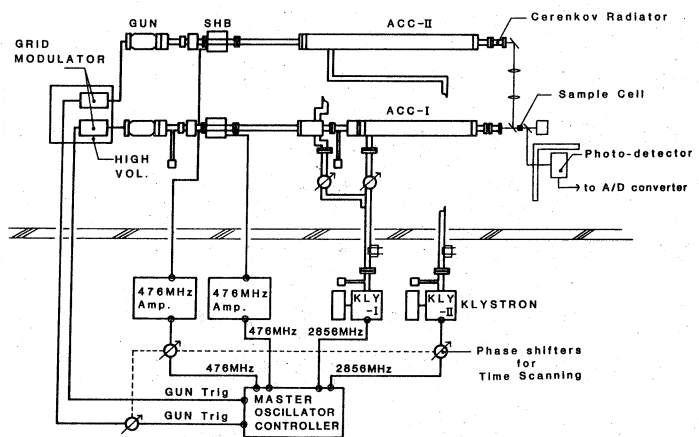


Fig. 3 Twin linac pulse radiolysis system at NERL of Univ. of Tokyo

ルギーの不安定性として現われるので通常よく調べられているし、又どの加速器も念入りに設計されていると考えると良い。現在使っているクライストロンでは、0.5%の変動で3ピコ秒のジッターとなるはずであり、問題となる程のジッターはないと推定される。

一ビーム同志のタイムスキャン

前述のようにACC-IIのチェレンコフ光は、ACC-Iのビームがサンプル用セルに到達する少し前にサンプル用セルに到達し、パルス毎にデータを取りながら少しずつチェレンコフ光を遅らせて時間軸を形成する。従来の方ではミラーで光を遅らせていたが、今回はマイクロ波用の精密な移相器をパルスモーターで駆動した。詳細は別の発表で行うが、重要なポイントを次に述べる。移相器の公称精度は±0.7ピコ秒になり本システムでは十分の精度である。しかしこの移相器に少し反射が存在するためその使用には注意を要する。反射波と進行波のベクトル和で表わされる実際の加速位相が移相器での移相量と異なる可能性があるがこれは高い方向性を有するサーキュレーター等で十分要求した精度内に入れることができる。

一ビームのスイッチング

ストロボ法では、活性種が吸収した真の光の量を算出するために、ビームがサンプル中で発生するバックグラウンド光をさしひいてやる必要がある。このため従来は回転する鉛ビームシャッターと、同じく回転する光シャッターの組合せで、さしひきの演算を行い真の吸収量を算出していた。このためビームとり出し窓とサンプルセルの間にシャッター用の鉛ブロックを入れていた。これはビーム窓とサンプルの距離を遠ざけることになり線量の低下を招く。ツインライナックではこれらのスイッチングは簡単なゲート回路で行うことができ、ビーム窓とサンプルセルはごく接近する。このため吸収線量が大きくとれ、後述するように高時間分解パルスラジオリシスへの道が開かれた。

<結果>

以上述べてきたようにツインライナックによるパルスラジオリシスは原理的に数ピコ秒の時間分解能を有することができる有望なシステムである。全体の据付、調整、化学のデータ取り、加速管の復帰をすべて含めて1.5ヶ月で行うことができた。これはこのシステムが比較的単純であり扱いやすいシステムであることを示していると思う。今回は予定通り、ツインライナックの原理的な証明として20ピコ秒の時間分解能で行った。これは単にサンプル中の光とビームの速度の差による時間的ななまりであり前述のように吸収線量は大きいのでサンプルをもっと小さくすれば時間分解能は良くなるはずである。今回

得た波形の例として図-4に水和電子の吸収の立ち上りを、図-5に東大の3つのシステムで同じサンプルをとったデータを示す。勿論まだ1回目のトライをやったばかりであり多くの問題点がでてきたが、それら进行处理して次回には更に一歩進めたシステムにしたいと考えている。

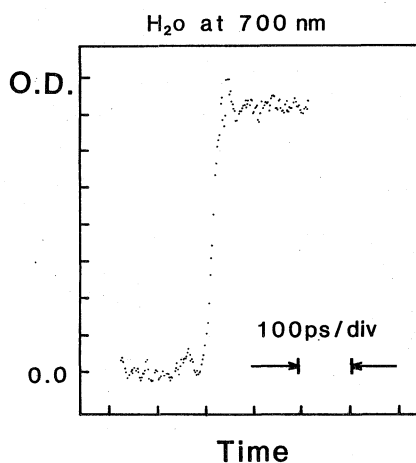


Fig. 4 Absorption signal of e_{aq} obtained by Twin Linac Pulse Radiolysis System

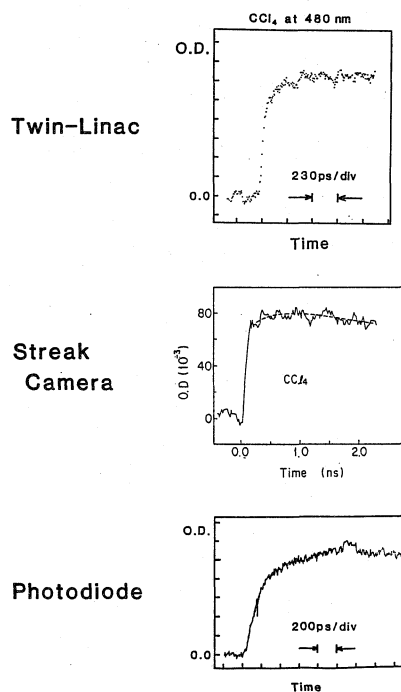


Fig. 5 Comparison of absorption signals of CCl_4 at 480 nm obtained by Twin Linac System, Streak Camera System and Photodiode System.

References

- 1) H. Kobayashi, T. Ueda, T. Kobayashi, S. Tagawa, Y. Yoshida and Y. Tabata Radiat. Phys Chem. 23 (1984) 393
- 2) M.J. Bronskill, W.B. Taylor, R.K. Wolff, and J.M. Hunt, Rev. Sci. Instrum. 41 (1970) 333
- 3) T. Sumiyoshi, S. Sawamura, Y. Koshikawa, and M. Katayama, Bull. Chem. Soc. Jpn 55 (1982) 2341
- 4) C.D. Jonah, Rev. Sci. Instrum., 46 (1975) 62
- 5) S. Toki, K. Tsumori, S. Takeda, and S. Takamuku, 日本化学会第49春季年会 1C02