

東大ライナック・レーザー施設報告 2016

STATUS REPORT OF LINAC/LASER FACILITY OF UNIVERSITY OF TOKYO IN 2016

上坂 充^{*A)}、山下 真一^{A)}、上田 徹^{A)}、土橋 克広^{A)}、三津谷 有貴^{A)}、橋本 英子^{A)}、小山 和義^{A)}、
矢野 亮太^{B)}、竹内 大智^{B)}、Jean-Michel Bereder^{B)}、
草野 譲一^{C)}、田辺 英二^{C)}、
吉田 光宏^{D)}、夏井 拓也^{D)}

Mitsuru Uesaka^{*A)}, Shinichi Yamashita^{A)}, Toru Ueda^{A)}, Katsuhiro Dobashi^{A)},
Yuki Mitsuya^{A)}, Eiko Hashimoto^{A)}, Kazuyoshi Koyama^{A)},
Ryota Yano^{B)}, Hiroaki Takeuchi^{B)}, Jean-Michel Bereder^{B)},
Joichi Kusano^{C)}, Eiji Tanabe^{C)},
Mitsuhiro Yoshida^{D)}, Takuya Natsui^{D)}

^{A)}University of Tokyo, Nuclear Professional School

^{B)}University of Tokyo, Department of Nuclear Engineering and Management

^{C)}Accuthera Inc.

^{D)}High Energy Accelerator Research Organization.

Abstract

The linac/laser facility of Nuclear Professional School, University of Tokyo is equipped with several accelerators; S-band linacs, heavy irradiation system, and X-band linacs. New fiber laser oscillator and regenerative amplifier are installed for the laser driver of the photocathode RF gun of a 18 MeV S-band linac. TEM system is installed at a beamline of 1.7MeV tandetron (RAPID) for in-situ measurement of irradiation field. Portable X-band (9.3GHz) 950 keV linac and 3.95 linacs have been developed for transmission nondestructive test of PC (Prestressed Concrete) for bridges. These systems have been successfully performed on-site.

1. はじめに

Sバンド電子ライナック・レーザーシステム、重照射研究施設 (HIT) においては順調に研究・共同利用が実施されている。レーザー誘電体加速については、KEKとの共同で開発中で、今年度中に電子・イオンの加速を目指している。950 keV/3.95 MeV Xバンド電子ライナックはX線源として、産業・社会インフラのその場透視試験が進展している。特に950 keV Xバンド電子ライナックX線源は平成27年11月に実橋の検査に成功した。3.95 MeV Xバンド電子ライナックにBeターゲットを付けて、中性子の発生にも成功した。今後、橋梁鉄筋コンクリート内の水分の検出、および核物質の測定に適用していきたい。

2. Sバンドツインライナック

昨夏に35Lで加速管の真空漏れによる緊急保守を行ったことでいくつかのマシントイムはキャンセルとなったものの、それ以外は順調に共同利用を実施できた。今年度は順調に稼働し共同利用(表1)に供することが出来ている。

平成24年度末に納品され、平成25年度に据え付け調整を行ってきた18Lの新しいフェムト秒ファイバーレーザーは、昨年度より本格的に稼働し、着々と成果が出始めている[1]。最新のシステムで得られたデータを図1に示す。上段フォトカソードに入射しているレーザーパルスと加速後の電子線パルスの同期精度を二時

間にわたりモニタした結果で、高い安定性が確認できる。下段はこのシステムを使った時間分解過渡吸収スペクトル測定の結果の一例で、従来は数時間かかっていた測定がシステム全体の安定化により数分で行えるようになった。

長期に渡り使用し経年劣化した空調設備については、メンテナンスを実施した。メンテナンス後は問題なく稼働している。

3. 重照射施設 (HIT)

1.7 MV タンデトロンを原子力国際専攻より移設して放射線発生装置の変更申請を行い、共同利用を再開できる状況とした。

新たにTEMを導入し、照射下でのTEM観察が可能になった。

また、表2の28H10のように、海外ユーザとの共同研究が本格化した。

4. レーザー駆動誘電体加速器

放射線生物学研究への応用を目指したレーザー駆動誘電体加速器とパルス高電圧誘電体加速の開発を行っている。光学顕微鏡下で生きた細胞を観察しながら細胞核の狙った位置に照射可能な小型のマイクロビーム発生装置は、放射線生物学研究にとって重要なツールとなり得る。そのために高エネルギー荷電粒子(電子/イオン)をオンチップで発生するための基礎技術を開発する。将来的にはオンチップ加速器やオンチップ

*uesaka@nuclear.jp

Table 1: Themes of Joint Use Experiments with S-band Linac

テーマ番号	テーマ名
28L-01	水溶液の放射線効果の研究
28L-02	パルス&プローブ法を用いる超高速反応の研究
28L-03	不定比金属組成を制御した高温超電導体のピンニング特性に及ぼす電子線照射効果
28L-04	高温・超臨界溶媒の放射線化学
28L-05	フォトカソード RF 電子銃の高性能化
28L-06	高速応答シンチレータの開発と性能評価
28L-07	パルスラジオリシス法による金属タンパク質の電子移動反応の研究
28S-01	フェムト秒ライナックのためのマシンスタディ

Table 2: Themes of Joint Use Experiments with HIT

テーマ番号	テーマ名
28H-01	Bepi Colombo 水星探査機搭載用宇宙塵測定器の校正実験
28H-02	超高速微粒子衝突現象に関する研究
28H-03	原子炉構造材料の照射劣化機構の研究
28H-04	タングステンにおける欠陥による水素捕捉挙動に関する研究
28H-05	先進原子炉構造材の照射効果
28H-06	軽水炉圧力容器鋼の経年照射脆化メカニズムの解明
28H-07	陽電子ビームを用いた照射下欠陥挙動のその場観察
28H-08	低放射化フェライト鋼の照射下相安定性に関する研究
28H-09	固体飛跡検出器の校正実験
28H-10	Study on Physical Characteristic Changes of Neutron Damaged Tungsten for Fusion Plasma Facing Material
28H-11	はじきだし損傷によるマイクロ組織変化の測定手法高度化
28H-12	原子力新材料及びモデル合金のイオン照射劣化試験
28H-13	ジルコニウム合金の照射変化
28S-02	イオンビーム実習

X線レーザー、さらには癌治療器に発展できる可能性がある。

4.1 電子加速器

矩形波状の断面を持つバイナリー回折格子にレーザーを照射すると回折格子の表面近傍に格子に溝と直行方向に定在波に似た電界分布が形成される。定在波は対向する進行波の重ね合わせによって作られるので、その一方の進行波に捕捉された電子は定常的に加速されて高エネルギーになる。加速に必要な回折格子の格子定数は電子の運動との同期条件から $d/\lambda = v/c$ であり、格子の高さは $H_p/\lambda = 1/2(n-1) \approx 1$ である。ただし、 λ, v, c, n は夫々レーザー波長、電子の速度、光速、屈折率である。正確な値はシミュレーションによって求める。今年度は、物財機構の協力を得て加速実証実験に必要な透過型回折格子の試作を行い、透過型電子顕微鏡および原子間力顕微鏡によって観察を行い評価した。

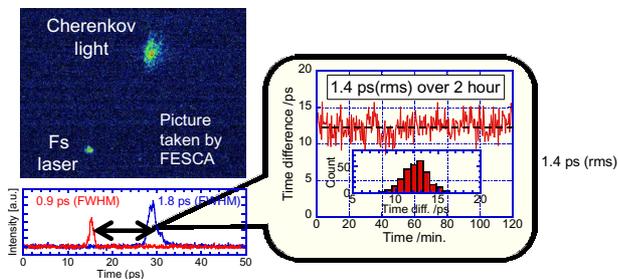
4.2 イオン加速器

レーザーは周波数が 1 PHz 程度でありレーザーによるイオン加速のためには約 1020 W/cm^2 の超高強度レーザーパルスが必要である。イオン加速を小型装置で行

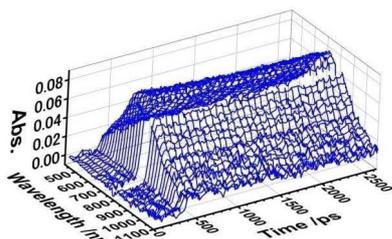
うためには短パルス高電圧の使用によって絶縁破壊の閾値を上げ、イオンの進行に伴って高電圧の印加部を順次進めて行く「擬似進行波」を使う。高電圧パルスのパルス幅はイオンの通過時間に合わせ(約 100 ns) する必要があり立ち上がりは急峻なほど望ましい。100 ns の伝送線路は長さが 20 m にもなるのでミアンダ構造(蛇行)のマイクロ・ストリップラインとした。基盤の候補には光伝導スイッチを兼ねて使えるようシリコン(Si)、ガリウム砒素(GaAs)などの半導体を使った。今年度は必要なレーザー強度の計算を行い、絶縁耐力試験を兼ねて試作した伝送線路の試験を行い評価した。

5. Xバンドライナック群

ブランケット棟医療用小型ライナック室には4台のXバンドライナックが設置されている。このうち3.95 MeVと950 keVのものは、日本学術振興機構(JST)による平成22年度の拠点整備事業により整備されたもの(可搬型高出力X線非破壊検査装置)である。6 MeV ライナックは、NEDO プロジェクトにより設置された。NEDO プロジェクトによる癌治療用の加速管のテストや、X線検出器の開発のためのX線の発生に利用している。



(a) synchronization between fs laser & EB pulse



(b) an example of time resolved measurement

Figure 1: Result of a joint use experiment with 18L S-band linac.

5.1 可搬型 3.95 MeV 小型 X 線源 (X 線非破壊検査装置)

9.3 GHz(250kW) のマグネトロンを使用した 3.95 MeV の X 線源である。筐体は、X 線ヘッド、RF ユニット、コントロールラック、チラーの 4 台で構成されている。図 2 に 3.95 MeV X 線非破壊検査装置の外観を示す。平成 26 年度に、日本初の屋外での放射線発生装置の橋梁検査への使用を、土木研究所 (PWRI) 敷地内で実施した。平成 27 年度に、土木研究所に X 線非破壊検査用のヤードが新設された。新ヤードにて、今年度中に再度試験を行う予定である。

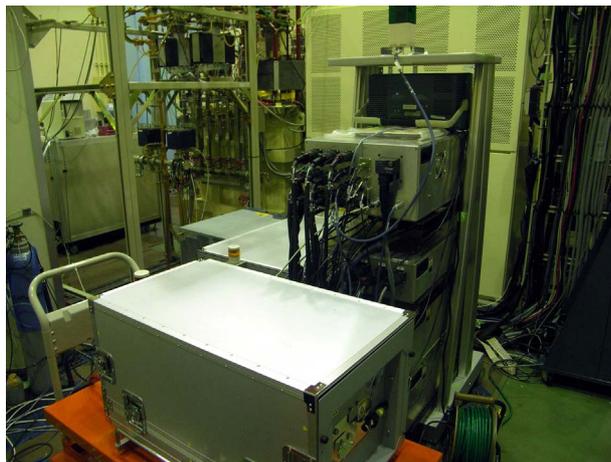


Figure 2: Photo of 3.95 MeV X-ray source based on X-band linac.

5.2 可搬型 950 keV 小型 X 線源 (X 線非破壊検査装置)

9.3 GHz(250kW) のマグネトロンを使用した 950keV の X 線源である。筐体は、X 線ヘッド、RF ユニット、コントロールラックの 3 台で構成されており、総重量は 400kg 以下である。RF ユニットと X 線ヘッドはフレキシブル導波管で接続されており、配置に自由度を持たせてある。

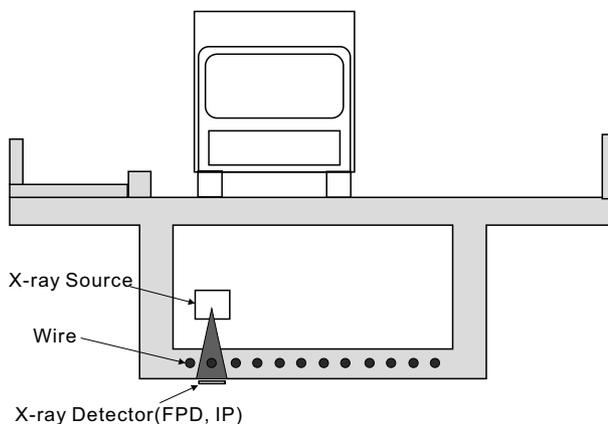


Figure 3: Sectional drawing of NDT for Myoko-bridge.

昨年度は、この 950 keV 小型 X 線源を用い、長野県と新潟県の境付近にある供用中の一般国道 18 号妙高大橋において、X 線非破壊検査装置を用いた実橋の非破壊検査実証試験を行った。



Figure 4: Photo of NDT for Myoko-bridge.

妙高大橋はボックス型と呼ばれる構造であり、ボックス壁の側面及び下面に PC 鋼材が埋め込まれている PC(プレストレスコンクリート) 橋である。一般的に、橋梁の PC 鋼材は金属シースの内部に直径 7mm のストランドワイヤーが束となって設置されており、このストランドワイヤーによって橋梁の荷重の大部分を支えている。したがって、このワイヤーの腐食による減肉や破断によって橋の許容荷重が低下することになる。このストランドワイヤーの減肉の定量的評価や破断の発見が X 線非破壊検査装置での検査の目的となる。検査対象は一度コンクリートをはがして内部を確認した部分であった。

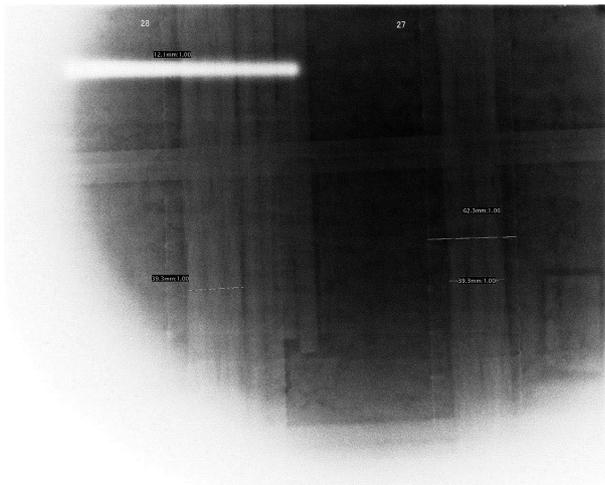


Figure 5: Result of Bridge NTD.

これまで、土木研敷地内の橋梁撤去材を対象とした屋外での非破壊検査試験の実績はあったが、供用中の実橋梁に対する 950keV X 線非破壊検査装置の適用は初めてである。橋梁検査車による他の検査も平行して行われたため片側通行止め規制が行われたが、放射線防護上は、交通規制無しでも一般公衆の被曝は問題にならないレベルであった。

X 線発生装置本体は図 3 に示すように橋梁ボックス内に設置し、X 線を下方へ照射した。図 4 に橋梁ボックス内に設置された X 線発生装置の写真を示す。X 線検出器としては、フラットパネル検出器 (FPD) とイメージングプレート (IP) を使用した。前述の通り、X 線は下方へ照射して撮像した。検査部位は、教養ボックスの内部では床面に相当し、外部からはボックス下面になる。X 線検出器は外部に組まれた検査用の足場を利用して、ボックス外部の下面に設置した。

イメージングプレートによる撮像結果を図 5 に示す。内部のストランドワイヤーの破断を視認できる。

平成 28 年度秋頃に、解体作業工法の決定に必要な情報を得るための X 線非破壊検査を 950 keV 小形 X 線源を用いて行う予定である。

また、土木研究所構内に新たに整備された非破壊検査用のヤードにおいて、撤去部材を用いて非破壊検査試験を行った。手始めに PC 橋テストサンプルを用いて、グラウト未充填/充填部分が検知できるかを目的として試験を行った。

X 線非破壊検査装置自体の改良も進めている。平成 27 年度は、高圧電源装置の故障の原因を特定し、故障の原因を取り除くことに成功した。また、本 X 線非破壊検査装置は X バンドライナックを用いているが、加速器に不慣れな人でも操作可能なように、各種操作の半自動化を行った。

本稿では触れないが、X 線非破壊検査装置の産業インフラへの適用も進んでおり、今後、稼働中の化学プラント等への適用も拡大されると期待している。

6. 小型中性子源

3.95 MeV 電子ライナックを用いた、小型・可搬型・短パルス中性子源の設計開発を進めている。本研究ではモンテカルロシミュレーションを用いた中性子発生ターゲットの設計および開発を行った。可搬型中性子源は社会インフラ構造物の非破壊検査としての応用が期待できる。そこで、開発した中性子源を用いてコンクリート中の水分検出実験を行った。また、高精度な中性子計測のためには検出器の性能向上が重要であり、今回、ガンマ線と中性子の識別能が高いシンチレータを用いた中性子検出器の開発を進めた。

謝辞

本研究へ日頃からの協力いただいている、独立行政法人土木研究所 CASER の石田雅博氏、大島義信氏、吉田英二氏に、厚く感謝いたします。

参考文献

- [1] J. Ma, S. Yamashita *et al.*, Phys. Chem. Chem. Phys. 17(35) 22934-22939.