

[P8-33]

MEASUREMENT SYSTEM FOR LEBLA USING A THERMOELECTRIC COOLED CCD

Y. Hayakawa, I. Sato, K. Sato, K. Hayakawa, T. Tanaka, Y. Matsubara, I. Kawakami,
H. Nakazawa, K. Yokoyama, K. Kanno, T. Sakai,

*S. Anami, *H. Kobayashi, *A. Enomoto, *K. Kamitani, *M. Kato, *K. Tsuchiya

Atomic Energy Research Institute, Nihon University
7-24-1 Narashinodai, Funabashi, 274-8501 Japan

*High Energy Accelerator Research Organization
1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801 Japan

Abstract

The measurement system for FEL at the Laboratory for Electron Beam Research and Application (LEBRA) of Nihon University was improved. A thermoelectric cooled CCD camera was introduced as an imaging device for the spectrometer or the streak tube.

It makes possible to obtain a spectrum of undulator radiation generated by one beam pulse at real time practically. It will be useful for adjustment of the linac and the cavity mirror in order to achieve lasing. The CCD also gives better performance to the streak tube than an usual sit camera because of its spatial resolution and quantum efficiency. Moreover, it has an advantage that it is easy to take the digital data by a PC.

冷却 CCD を用いた日大 FEL 測定システム

1. はじめに

日大原子力研究所電子線利用研究施設 (LEBRA) では 1998 年に電子ビームの加速に成功し、それに引き続いてアンジュレータ自発放射光の発生を確認した。以後、FEL 発振を目指して基礎的な実験を行なってきた [1, 2]。アンジュレータ自発放射光の分析は最も重要な基礎研究であり、そのスペクトルの測定は回折格子による分光器と光電子増倍管で構成されたシステム [3] を用いて行なわれてきた。このシステムではスペクトルを得るために多数のビームパルスによる放射光のデータを蓄積する方式を採用している。当初はビーム電流が少なく、放射光の強度が非常に弱かったためにこの方式で実質的な問題はあったが、電子ビーム 1 パルスごとの放射光スペクトルを実時間で取得することができないという大きな欠点があった。また、スペクトルの測定が加速器の状態の変動に強く影響されるという問題もある。これは加速器や光共振器の調整にとって障害となり、FEL 発振の実現を困難にしている。そこで今回、市販

の分光用冷却 CCD カメラをアンジュレータ放射光の測定系に導入し、実時間での測定を可能にした。そして、実際に自発放射光のスペクトルを得ることに成功した。また、この CCD カメラをストリーク管の画像読み取り装置として使用することも検討した。これらについて報告する。

2. 冷却 CCD

今回導入したのは、Apogee 社製分光用冷却 CCD カメラ (SPH5) であり、これはペルチェ素子によって電子冷却を行なうことができる。アンジュレータ自発放射光を分光器で分光し、それを実時間で測定するには高感度の素子であることが要求されるため、背面照射 CCD 素子を用いているものを採用した。この電子冷却 CCD カメラの仕様を Table I に示す。日大 FEL 発生装置のアンジュレータで発生させることが可能な放射光の波長は可視光領域であり、この領域での冷却 CCD の量子効率率は 70 %~90 % 程度である。現在

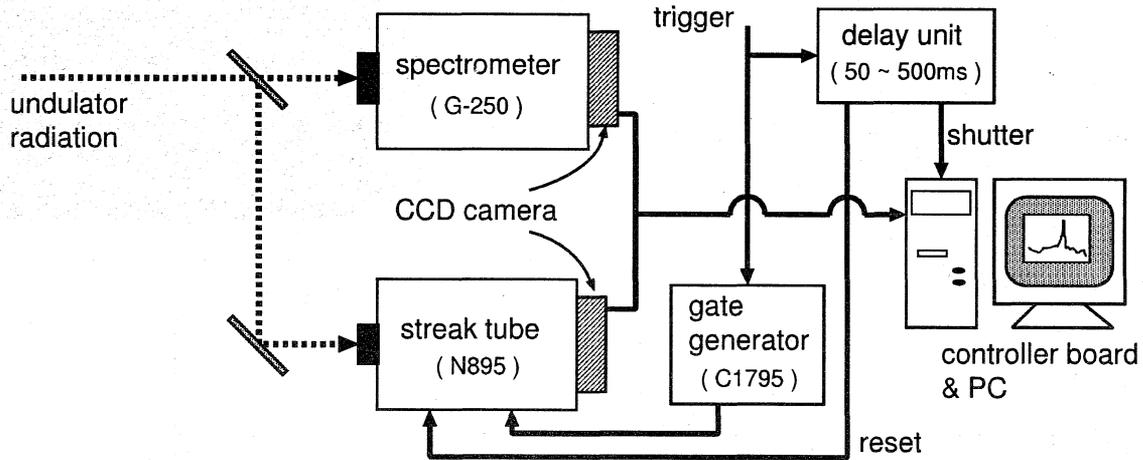


Figure 1: 冷却 CCD を用いたアンジュレータ放射光測定システム。CCD の物理シャッターの制御には1つ前のビームパルスのトリガーが用いられる。

Table I: 電子冷却 CCD カメラ (SPH5) の仕様

CCD 素子	Hamamatsu S7030-1007
画素数	1024 x 122
画素サイズ	24 μm
容量	$>3 \times 10^5 e^-$
ダイナミックレンジ	$>86\text{dB}$
AD 変換	16bit at 30kHz
露光時間	0.03~10400sec
冷却	環境温度 -50°C

は 488 nm での発振を試みており、この波長での量子効率はおおよそ 80 % である。

この CCD で得られた画像データは、ISA バス用のコントローラーボードを介してパソコン (PC/AT 互換機) に取り込まれ、MS-Windows 用のソフトによって解析される。カメラのコントロールもこのソフトによって行なわれる。

3. リニアックとの同期

アンジュレータ放射光が発生する時間幅はビームのパルス幅が上限となり、日大リニアックの場合はマクロパルスの最大が 20 μs である。バックグラウンドの影響を減らし、放射光測定における S/N 比を向上させるためには CCD カメラの露光時間を最小 (約 30 ms) にして測定する必要がある。しかし、リニアックではマクロパルスの繰返し数が少なく、ビームのデューティーが低いため、ビームパルスと CCD のシャッターとを同期させることが不可欠である。今回導入した CCD カメ

ラには物理シャッターが装備されており、コントローラーボードに外部トリガーを供給することによってこのシャッターを制御することが可能である。物理シャッターは反応が遅いため、これを制御するには1つ前のビームパルスのトリガーを用いることにした。日大リニアックの繰返しは 2 Hz ~ 12.5 Hz であるため、50 ms から 500 ms まで可変な遅延回路を製作し、リニアックと CCD シャッターの同期を可能とした。

この冷却 CCD カメラを分光器およびストリーク管の画像読み取り装置として使用する測定システムの概略図が Fig. 1 である。CCD トリガー用に製作した遅延回路にはストリーク管用のリセット信号を生成する回路も組み込んである。

4. アンジュレータ自発放射光の分光

冷却 CCD カメラを回折格子方式の分光器 (ニコン製: G-250) 用の画像読み取り装置として設置し、それを使ってアンジュレータ自発放射光のスペクトルを測定することを試みた。電子ビームエネルギー 84 MeV、アンジュレータギャップ間隔 11 mm (K 値: 1.07) という条件で発生した放射光を反射鏡を使って約 30 m 輸送して測定したところ、1つのマクロパルスによる放射光スペクトルが問題なく得られた。バックグラウンド (CCD の熱雑音を含む) を差し引いたスペクトルを Fig. 2 に図示する。分光器の前スリットの幅は 0.2 mm で、これは 2 nm の分解能に相当する。また、波長の較正はこの領域では逆分散値がほぼ一定であるとし、He-Ne レーザ (633 nm) を用いて行なった。測定されたスペクトルの半値半幅はおおよそ 3 % あり、理想的な場合の理論値 (0.5 %) に比べて広く

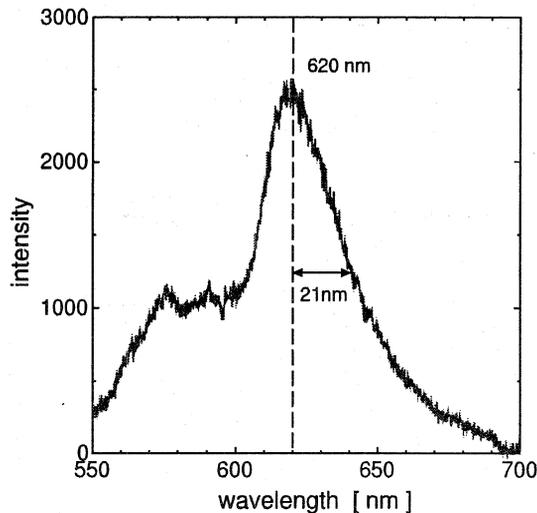


Figure 2: 冷却 CCD による測定で得られたアンジュレータ自発放射光のスペクトル。電子ビームエネルギー: 84 MeV、アンジュレータギャップ: 11 mm で測定。

なっている。この原因としては電子ビームの質の影響や、分光器に入射する放射光の光量を多くするために望遠鏡(絞り直径: 3 cm)を使って集光していることなどが考えられる。

5. ストリーク管への応用

分光器と同様に冷却 CCD をストリーク管の画像読み取り装置として用いることも検討した。このストリーク管は浜松ホトニクス製の N895 であり、イメージ・インテンシファイヤーとして MCP を搭載している。従来はシットカメラによる画像読み取り装置を使用していたが、画像解析システムの分解能が低くストリーク管本来の性能を生かせないという問題があった。また、データをデジタルとして取り出すのが容易ではないという欠点もあった。このシステムを冷却 CCD によるものに置き換えることによって性能や利便性の改善が期待できるため、アンジュレータ放射光をストリーク管のフォーカスモードで測定するテストを行なった。シットカメラを用いて測定した場合(ストリーク管入射口のスリット幅: 100 μm) と、冷却 CCD を用いた場合(スリット幅: 100 μm , 30 μm) の結果を Fig. 3 に示す。同じ 100 μm 幅のスリットを用いた場合でも CCD のほうが良い位置分解能が得られ、感度に関しても問題はなかった。スリット幅 30 μm で CCD を用いて測定した場合の位置分解能は 0.17 mm であり、ストリークモードでの時間分解能に換算するとおよそ 11 ps に相当する。

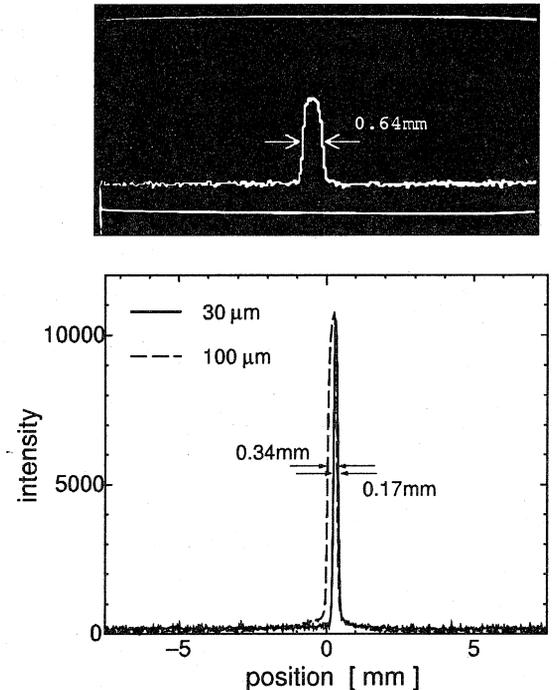


Figure 3: ストリーク管のフォーカスモードによるアンジュレータ放射光の測定。(上):シットカメラによる撮像。スリット幅は 100 μm 。(下):CCD による撮像。実線がスリット幅 30 μm 、破線が 100 μm 。

6. まとめと今後の課題

冷却 CCD を FEL 測定系に導入することにより、実時間でのアンジュレータ自発放射光のスペクトル測定が可能となった。これによりスペクトルを参照しながらリニアックおよび光共振器の調整を行なうことが可能となった。また、ストリーク管の画像読み取り装置への応用を試み、フォーカスモードでのテストでは従来のシットカメラよりも良い位置分解能で測定できることがわかった。

現状では CCD 画素の幅が狭いため、アライメントが難しく、広がった象を測定する場合には効率が悪いという問題がある。今後はこの点を改善し、ストリークモードによるビームバンチの測定を試みる予定である。

References

- [1] I. Sato et al., Proc. of 23rd Linear Accelerator Meeting in Japan, p. 22 (1998)
- [2] I. Sato et al., Proc. of this Meeting.
- [3] Y. Hayakawa et al., Proc. of 23rd Linear Accelerator Meeting in Japan, p. 334 (1998)