

プログラム名：ユビキタス・パワーレーザーによる安全・安心・長寿社会の実現

PM名：佐野 雄二

プロジェクト名：レーザー加速 XFEL 実証

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 2 7 年 度

研究開発課題名：

マイクロアンジュレータの開発

研究開発機関名：

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構

研究開発責任者

山本 樹

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

本研究開発プログラムにおいては、X線自由電子レーザー (XFEL) の小型化開発を目標にする。本研究開発においては、そのために必須となるアンジュレーターの小型化を追求する。その磁場周期長を従来の数十 mm から数 mm へと約一桁短縮するための要素技術開発と装置化するための開発を行い、マイクロアンジュレーターを実現する。

平成 27 年度においては、(1) 極短周期アンジュレータ磁場生成法の確立 (2) 極短周期アンジュレータ磁場の測定・評価法の確立 (3) 極短周期アンジュレータ製作技術の確立、の 3 項目について研究を開始する。

項目 (1) は本研究開発の主要部分を占める。これまでの科研費等の研究において開発した多極着磁法に改良を加えることによって、より短周期・より高強度・より高精度のアンジュレータ磁場を生成する方法を探索する。

項目 (2) の磁場の測定・評価法の確立は、本研究開発に非常に重要である。微小な磁気感受域を持つホール素子を極薄のホルダーに装着した測定子を自作して開発に用いる。さらに、精密スライド機構を整備し、上記測定子と組み合わせることで、磁場測定装置を作成する。

項目 (3) では、項目 (1) で開発した磁石を利用して、アンジュレータ本体を製作することによって、極短周期アンジュレータ製作技術の確立をはかる。この時、狭小な磁石間ギャップを実現するために、磁石を真空中に収納する真空封止型アンジュレータとして実現する。また、狭小な磁石ギャップを精密に駆動できる高精度の駆動機構を開発する。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

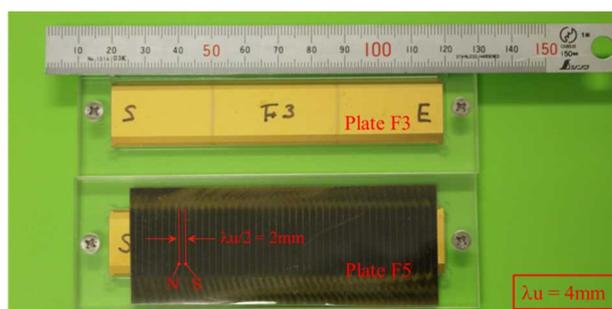
平成 27 年度においては、上記 (1)、(2) および (3) の各項目について、以下の様に研究開発を実施した。

項目 (1) については現在、周期長 4mm を目標としてパルス電磁石を含む着磁器の作成を行い、磁気回路作成を試みる。この場合長さ 100mm×厚さ 2mm×幅 20mm の板状の NdFeB 磁石を上記着磁器で着磁することにより、約 25 周期分のアンジュレータ磁石列を 1 枚の磁石板上に作成する。着磁状況を図 1 に示した (磁石板 F3 と F5 : 図 1 参照)。このようにして作成した 2 枚の板状磁石を互いに対向させることにより、その隙間 (磁石間ギャップ) の中心軸上に極短周期アンジュレータ磁

場を生成することができる。

項目 (2) については、微小な磁気感受域を持つホール素子を極薄のホルダーに装着した測定子の開発に着手した。精密スライド機構の整備と極薄のホール素子によって、ギャップ 1mm 程度までの磁場測定・評価を可能にする。

項目 (3) については、アンジュレータギャップ駆動機構を開発することによって、極短周期アンジュレータ製作技術の確立をはかる。この時、狭小な磁石間ギャップを実現するために、磁石を真空中に収納する真空封止型アンジュレータとして実現する。



(a) 着磁後の磁石板: 100mm x 20mm x 2mm; 25 periods

図 1. 着磁された磁石板 (F3 と F5; 表面は TiN 処理)。周期長 4mm の着磁パターンを示した。寸法は長さ 100mm × 幅 20mm × 厚さ 2mm。

2-2 成果

平成 27 年度においては、上記の各項目について、以下の成果を得ることができた。

項目 (1) 板状の NdFeB 磁石の製作において、上に示した長さ 100mm×厚さ 2mm×幅 20mm のものよりも長尺の素材（長さ 152mm×厚さ 2mm×幅 20mm）の製作に成功している。

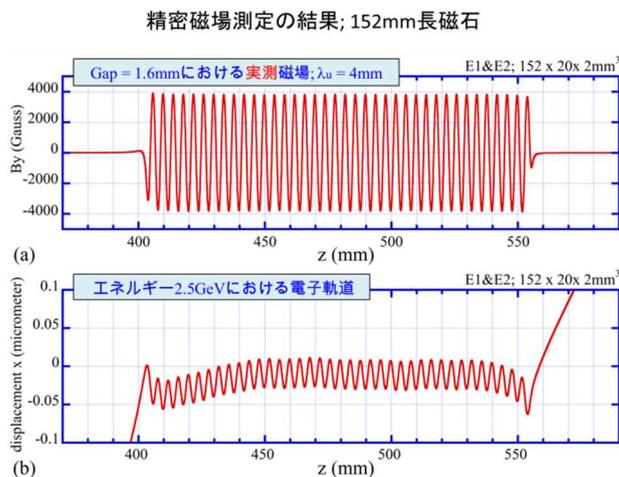


図 2. 長さ 152mm の磁石板 (E1 と E2) に対する精密磁場測定の結果; (a) ギャップ 1.6mm におけるアンジュレータ磁場 (周期長 4mm), および(b) その磁場中の電子軌道 (電子エネルギーが 2.5GeV の時の計算結果)。

この磁石板を対向させてギャップ 1.6mm において行った磁場測定の結果を図 2 に示した (磁石板 E1 と E2 : 図 2a 参照)。図 2a はギャップ 1.6mm におけるアンジュレータ磁場を, 図 2b はその磁場中を通過するエネルギー 2.5GeV の電子の軌道を示している。約 4kG のアンジュレータ磁場をギャップ 1.6mm において得ることができた。着磁ヘッドと磁石板の長手方向の位置関係を調整することにより, 長手方向の磁場分布は磁石板の中心に対してほぼ反対称となっている。得られた電子軌道はアンジュレータ磁場が非常に良好なものであることを示している。上記の成果により周期長 4mm に関しては極短周期アンジュレータ磁場生成法の開発を完成することができたと考える。

項目 (2) については、微小な磁気感受域を持つホール素子を極薄のホルダーに装着した測定子の開発を行っている。現状では、ホール素子を装着した銅製ホルダの厚さは 1.3mm であり、ホール素子の空間分解能 (感受領域) は 0.05mm × 0.05mm である。アンジュレータ中心軸に沿ってホール素子を駆動する精密スライド機構の整備も行った。

項目 (3) については、極短周期アンジュレータギャップ駆動機構の設計・製作を行っている (平成 28 年度納期)。設計仕様は、狭小な磁石ギャップを精密に駆動できる高精度の駆動機構に対する要求を満足している。また、磁石を真空中に収納する真空封止型アンジュレータとして開発している。

2-3 新たな課題など

平成 27 年度の研究開発において、周期長 4mm の 100mm 長磁石に加えて同じ周期長で 152mm 長磁石の製作ができるようになったことは、より長い磁石を製作する試みの一つの成功例である。しかし、現在開発している薄型磁石板の製作においては長さの限界があるはずである。したがって、板状磁石を長手方向に連結する方法を開発する必要がある。平成 28 年度には、そのために必要な新たな着磁器および着磁法の開発を行う。

3. アウトリーチ活動報告

平成 27 年度の研究開発成果は、国内会議、国際会議および論文などで公表していく。またアンジュレータに関するシンポジウムの開催も検討している。