

世界初、超高輝度ナノビーム加速器開発

SATテクノロジー・ショーケース2014

■はじめに

将来の加速器で必要となる先端加速器技術の研究開発を進めているKEKの先端加速器試験施設では、世界最高レベルの高品質(低エミッタンス)電子ビームを用いて、世界最小65 nmの極小ビームを達成しました。このナノビーム加速器開発を紹介します

■研究の背景と目的

素粒子の質量の起源となるヒッグス機構やダークマターの正体の解明など多くの素粒子物理学の未解決問題を解き明かすために、超高エネルギーの電子・陽電子の衝突実験を行う線形衝突型加速器である国際リニアコライダー(International Linear Collider: ILC)が計画されています。ILCは全長30kmを超える大型の加速器(図1)です。ILCにおいて電子と陽電子の衝突の頻度を上げることは重要

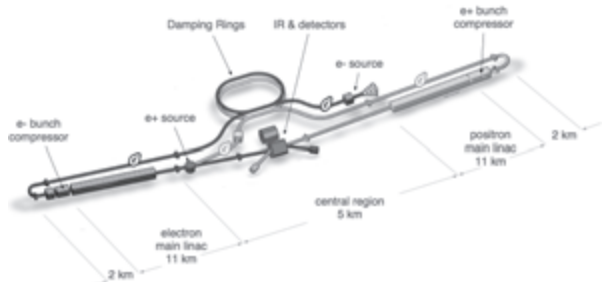


図1: ILC 加速器構成

なテーマです。そのため、電子・陽電子ビームそれぞれを高さ方向6 nmまで縮めた極小ビームとし、密度を上げた状態で衝突させることが想定されています。

KEKでは、ILCの実現に必須となる加速器技術の確立を目指し、先端加速器試験施設(ATF、図2)、超伝導リアック試験施設(STF)、空洞製造技術開発施設(CFF)を利用して研究開発を進めています。ATFは、ダンピングリングと呼ばれる周長140 mの円形加速器を用いて世界最高品質

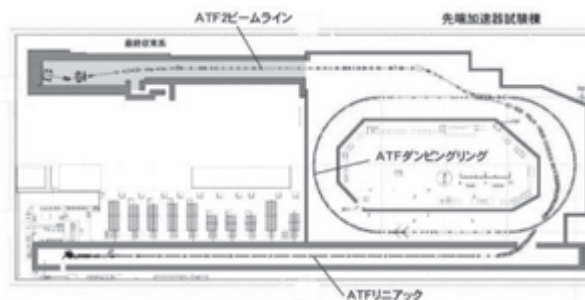


図2: 先端加速器試験施設



写真1: 最終収束ビームライン(ATF2)

の電子ビームを実現し研究に利用する世界的にもユニークな試験施設です。この高品質ビームを利用することで、ILC必須の極小ビームの研究開発を行う事が提案され、国際共同研究開発の場として「最終収束ビームライン(ATF2) (写真1)」が建設されました。

■ 研究内容

1. ナノメートル極小ビームの開発

ATF2ビームラインは、ILC最終収束システムの設計をビームエネルギーで縮小したものであり、且つ様々なビームに対する影響が同程度となる様に作られています。ここでの研究開発を通して得られる経験と技術の蓄積は、ILCの技術実証とともに更なる高度化に大きく寄与することが

代表発表者 照沼 信浩(てるぬま のぶひろ)
所 属 高エネルギー加速器研究機構
加速器研究施設
問合せ先 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1
TEL: 029-864-1171 FAX: 029-879-6049
nobuhiro.terunuma@kek.jp

■キーワード: (1) 先端加速器技術開発
(2) ナノビーム
(3) 国際リニアコライダー

SATテクノロジー・ショーケース2014

期待されています。ILCでのビームサイズ6 nmはATF2での37 nmに相当します。このビーム実現のために、CERN, SLAC, Oxford大など世界中の加速器研究機関と共に、ナノメートルレベルの分解能を有するビーム位置モニターや高精度のビーム制御技術を開発してきました。ATF2でのビーム開発実験は2009年から始まり、現在までに65 nmの極小ビームを達成しています。これは世界最小の電子ビームです。

ミクロン以下の極小ビームサイズの測定は、レーザ干渉縞型ビームサイズモニター(図3)で行います。この測定方式は90年代に米国SLAC研究所で行われた最終収束システム試験(FFTB)においてKEKにより開発実証されました。ATF2用に開発されたものは、20 nmまでの極小ビームを測定することができます。

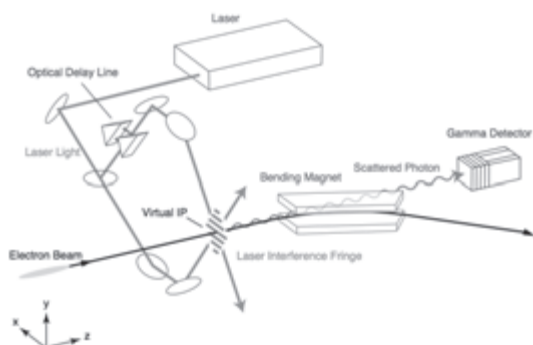


図3：レーザ干渉縞を用いたナノメートル・ビームサイズモニター

3. ナノメートル・ビーム位置制御技術の開発

ILCにおいて6nmの電子・陽電子ビームの衝突を維持するために、ビーム位置のズレを高速で検出・補正する技術が必須になります。ILCでは1msの間に約2600個のビームの塊(バンチ)が約360nsの間隔で衝突点に送られます。床振動などビームを乱す要因はこれに比べてゆっくりであり、バンチ列はコヒーレントに振動していると見なせます。

従って、先頭バンチの位置を検出し、後続のバンチを補正することが可能となります。

ATF2ビームラインには154nsの間隔で3つのビームが連続して送り込まれてきます。このビームを利用して、140nsの応答時間で高速にビーム位置を補正する技術が開発されています。現在はこの技術を発展させ、新たに導入した高性能ビーム位置モニター(目標分解能2nm)の開発を進めながら、ビーム位置を2nm程度で安定化する技術の研究開発を進めています。

■研究成果・技術開発の要点

- ①世界最高レベル高品質ビーム(エミッタンス4pm)
- ②世界最高5nm分解能ビーム位置モニターの開発
- ③レーザ干渉縞型ビームサイズモニターの開発
- ④ナノメートルビーム収束技術の開発
- ⑤140 ns高速ビームフィードバック技術の開発

■実用化状況・今後の展開など

ナノビームの研究のためにATFで開発されてきた幾つかのビーム診断技術は、国内外の加速器で既に利用が始まっています。ATFでは高輝度ナノビームの更なる高度化を追求し、目標である37nm極小ビームの達成を目指していきます。また、ビーム位置をナノメートルレベルで安定に維持するための高速ビーム制御技術の開発も同時に進めていきます。これらの先端的加速器技術開発で得られる成果は、国際リニアコライダー(ILC)に限らず様々な加速器の高度化に広く貢献できるものです。

■関連情報(参考文献・特許)

1. ILC Global Design Effort, "ILC Technical Design Report", Vol. 1-4, (Volume 3 - Accelerator), 12 June 2013, <http://www.linearcollider.org/ILC/Publications/Technical-Design-Report>.
2. ATF2 proposal, KEK-Report 2005- 2 (2005).
3. <http://www.kek.jp/ja/Facility/AAT/ILC/ATF/>