

500m級超高精度レーザー直尺を用いた 微小地面変動の連続観測技術の開発

SATテクノロジー・ショーケース2017

■ はじめに

高エネルギー加速器研究機構(KEK)の加速器研究施設では、KEK電子陽電子線形入射器の500m長直線部に對し超高精度レーザーアライメントシステムを利用してトンネル床面の微小変動の連続観測を平成28年1月7日から行っています。

本研究では、 $\pm 0.08\mu\text{rad}$ の範囲内に安定化された500m級の超高精度レーザー直尺とトンネル床面に分散配置した光センサーの自動計測技術を独自に開発しました。約半年に及ぶ観測データによると床面は決して不動ではなく、日々の動きは複雑で不規則ながらも全体的には一日当たり約 $5\mu\text{m}$ の大きさでほぼ一様に変位していることが初めて見いだされました。一日当たりの変位の大きさは髪の毛1本の太さと比べても極めて微小で500m級超高精度レーザー直尺により初めて計測が可能となりました。

この成果は、現在KEKが進めているスーパーBファクトリー計画(SKEKB)における入射器の性能向上に貢献するのみならず、次世代の長距離線形加速器における高精度アライメントへの応用や高度なビーム制御技術に大きく貢献するものと期待されます。

■ 活動内容

1. 電子陽電子の効率的な生成と安定した加速輸送

現在、KEKではSKEKBと呼ばれる高エネルギー電子陽電子加速器の試運転が開始されています。この実験では、70億電子ボルトの電子と40億電子ボルトの陽電子を衝突させ、生成するB中間子群の崩壊現象から様々な高エネルギー素粒子反応を検証することを目的としています。SKEKBは、電子と陽電子を供給する入射器とその電子と陽電子を衝突させるリングから構成されます。実験では工場のように大量にB中間子を生成させる必要があるため、いかに多くの電子と陽電子を効率的かつ安定してリングに供給するかが重要になります。

2. 超高精度アライメントへの挑戦

全長600mの入射器の最長直線部は500mにも及びます。リングに安定して電子と陽電子を入射するには、入射ビームの安定した加速・輸送が欠かせません。これを実現するには入射器を構成する多数の加速装置が一直線上に並んでいる必要があります。基準となる長い直尺が必要となります。さらに一時的に直線上に設置しても床面は不動とは限らないので長直尺を利用して微小変位を常時観測する

必要があります。

3. 微小地面変動の常時観測技術の進展

我々のグループは、長直尺としてレーザーを利用することにしました。レーザーの特性の一つは真空中では直進することです。この性質を利用すればレーザーを長直尺として応用することができます。この長直尺を頼りにすれば複雑で不規則に変動する床面変位の高精度な観測を常時行うことができます。

■ 成果・応用

500m長の床面は、日々の変動は極めて小さく長期的に連続観測することで複雑で不規則に変動する地殻変動の要因解明や地震などの大規模地殻変動の予兆現象の観測が可能になるかもしれません。

本成果の主目的は、長距離線形加速器の高精度アライメントへの応用を実証したのですが、500m級レーザー直尺を用いて複雑で不規則に変動する地面の微小変動の高精度観測にも応用可能であることを実証した世界で初めての成果です。本装置は、ダム事業、トンネル構築、堤防建設など高精度な長直尺を必要とする大規模土木事業などへの産業応用のみならず、地震や地殻変動を監視するための大規模観測網にも大きく貢献するものと期待されます。

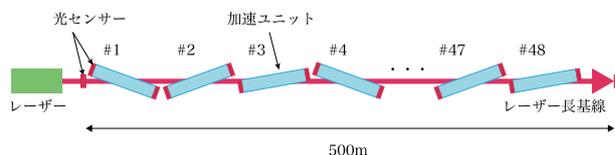


図1. KEK電子陽電子入射器の500m長直線部に並んだ48台の加速ユニット。加速ユニットの両端には高精度な光センサーが取り付けられています。レーザー装置から射出したレーザーは長基線を形成し500m長の直尺となります。レーザー長基線が光センサーの中心に一致するように加速ユニットを機械的に調整すれば48台の加速ユニットを精度よく一直線上に並べることができます。

代表発表者 諏訪田 剛 (すわだ つよし)
所属 高エネルギー加速器研究機構 (KEK)
加速器研究施設
問合せ先 〒305-0801 つくば市大穂1-1
TEL: 029-864-5200-4597
FAX: 029-864-7529
E-mail: tsuyoshi.suwada@kek.jp

■キーワード: (1)レーザーアライメント計測技術
(2)微小地面振動計測技術
(3)長直線加速器のアライメント技術

■共同研究者:

KEK, 加速器研究施設 榎本嘉範
KEK, 加速器研究施設 柿原和久
KEK, 加速器研究施設 三川勝彦
KEK, 加速器研究施設 田中窓香
KEK, 加速器研究施設 肥後壽泰

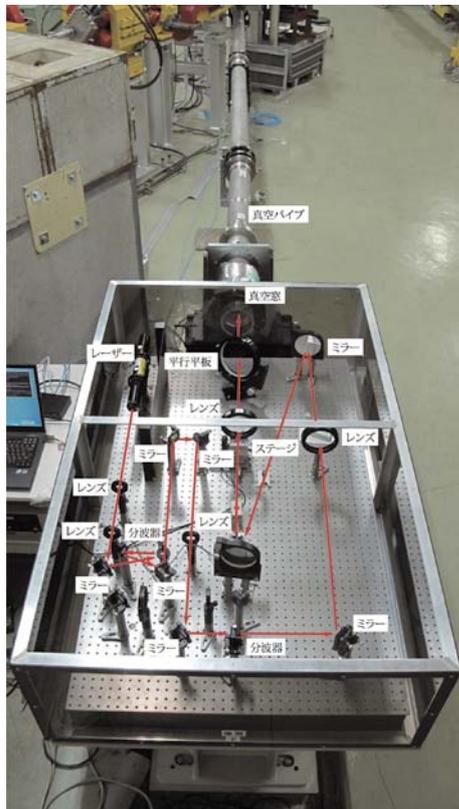


図2. 独自に開発されたレーザー光学系。レーザー管から出射したHe-Neレーザーは幾つかのレンズやミラーによりレーザー径が徐々に拡大され、真空窓で仕切られた金属パイプに入射し500m長のレーザー長基線を形成します。

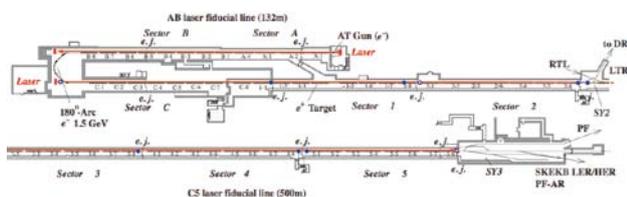


図3. 600m長KEK電子陽電子入射器のレイアウトと500m長及び132m長直線部に設置された超高精度レーザーアライメントシステム。

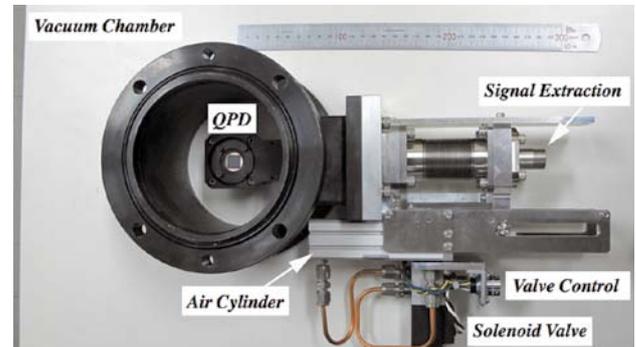


図4. トンネル床面及び加速ユニットに装着される光センサー。本センサー及び自動計測システムは独自に開発したものです。

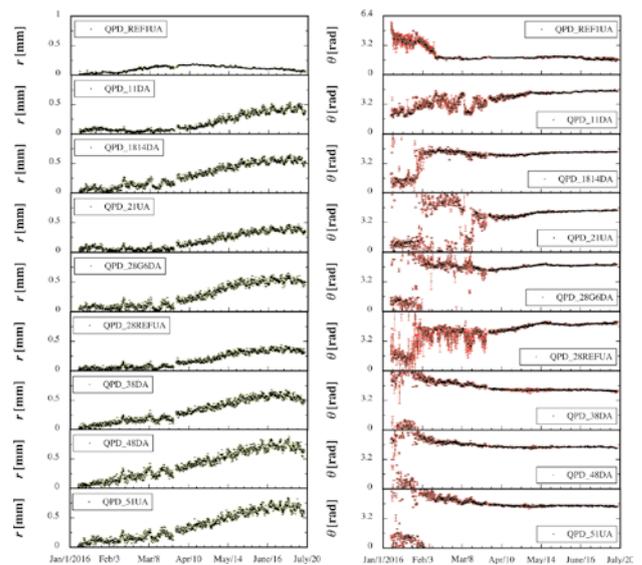


図5. 9箇所に分散設置した光センサーによる微小地面変動の測定結果 (2016年1月7日より計測開始)。左図は地面変動の変位ベクトルの大きさの時間変化を表し、右図は同変位ベクトルの角度変化を表しています。ここでは地面変動の変位ベクトルはレーザー光軸に垂直な面上で定義されます。