

MEASUREMENT OF TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE LEBRA-FEL RESONATOR LENGTH

Kyoko Nogami^{#,A)}, Manabu Inagaki^{A)}, Keisuke Nakao^{A)}, Ken Hayakawa^{A)}, Toshinari Tanaka^{A)}

^{A)} Institute of Quantum Science Nihon University

7-24-1 Narashinodai, Funabashi, Chiba, 274-8501

Abstract

The resonator length of the free electron laser (FEL) at LEBRA in Nihon University has been correlated with the temperature of the floor concrete in the accelerator room. This has suggested that the change in the resonator length due to expansion and contraction of the floor may be compensated by monitoring the temperature to keep the constant FEL output power. For more precise monitoring of the temperature around the FEL system a new thermometry system has been installed in the accelerator room, since the data logger system was deteriorated due to a long period of use under the strong radiation. The dependence of the FEL resonator length on the floor temperature has been estimated to be approximately $-81.4 \mu\text{m}/^\circ\text{C}$. However, the measurements over the period of 24 hr have suggested a stronger correlation with the temperature of the air surrounding the undulator rather than the floor concrete.

日大LEBRAにおけるFEL共振器長の温度依存性測定

1. はじめに

日本大学電子線利用研究施設(LEBRA)では、125 MeV電子線形加速器を基盤とした近赤外線自由電子レーザー(FEL)の利用実験を行っている。これまでの測定結果から、加速器本体室の床は約1年周期で温度変化があり、そのため鉄筋コンクリート製の本体室床が伸び縮みし、これに応じてFEL共振器長も伸び縮みしていると考えられてきた。したがって、FELの発振調整や維持のためには温度によって変化した共振器長を戻すように補正する必要がある。測定結果から、その補正量は約 $-90 \mu\text{m}/^\circ\text{C}$ であった。そしてこの関係はFELの発振調整に役立っている^[1]。今まで使用していた温度測定機器より精度良く温度を測定するために、新しい温度測定システムを導入した。このシステムを用いて共振器長の温度依存性を詳細に調べた。

2. 共振器長の温度依存性

2.1 温度測定システムの更新

今まで使用していた温度測定システムは、Type-K熱電対にPico Technology社製のデータロガー(TC-08)を組み合わせたものである。このデータロガーは、周囲の温度によってゼロ点変動しやすく、また、加速器本体室に設置していたため放射線の影響などにより劣化していると考えられた。そのままでは、温度と共振器長の関係性が徐々に変化してしまい、FEL発振調整の指標として利用できなくなる可能性がある。そこで、まずは放射線の影響による劣化を防ぐために、測定機器を本体室の外に設置すること

にした。しかし、これでは測定機器から実際に温度を測定する地点がかなり離れてしまうことになる。そこで、このような場合でもより正確な温度を測定できるように、4線式白金測温抵抗体(Pt100)を採用した。実際に使用しているPt100の長さは約20 mである。また、データロガーとして横河電機社製のMW100を組み合わせて、新しい温度測定システムを構築した。

本体室床の温度として、アンジュレータのほぼ中間地点の床に開けられたアンカーボルト用の穴にPt100を挿入し、断熱材で覆いできるだけ室温の影響を直接受けないようにしている。この場所は旧システムと比較ができるように同じ場所を選んだ。また、本体室の室温としては、アンジュレータの中間地点で、その上部約1 mほどの温度を測定している。

2.2 温度依存性の長期変化

図1に2004年4月から現在までに測定された本体室床の温度を示した。ただし、FEL利用実験が行われているある時点での本体室床の温度である。この結果からわかるように、本体室床の温度は約1年周期で変動している。新しい温度測定システムを設置してからまだ半年ほどしか経っていないが、このような周期的な温度変化を測定できていることがわかる。また、システムを更新したときに同じ場所の温度を測定した結果、2つのシステムで測定された温度には約 4°C の差があった。

2004年8月からの測定データを、旧温度測定システムによる測定は2004年から2007年まで(Type-K

[#] nogami@lebra.nihon-u.ac.jp

2004-2007とする)と、2008年から2009年まで(Type-K 2008-2009とする)、新温度測定システムによる測定(Pt100 2010とする)の3つの期間にわけて共振器長の温度変化を比較した(図2)。ここで、LEBRAでは共振器長の絶対値を測定できないので、共振器ミラーの更新に伴う共振器長のずれは、各共振器ミラーで得られた温度との相関の近似曲線から補正している。また、それぞれ3つの期間を比較しやすいように、測定された温度が26°Cのときの共振器長を基準として、そこからの補正量をプロットした。その結果、それぞれの温度係数は、約-90.5 $\mu\text{m}/^\circ\text{C}$ (Type-K 2004-2007)、約-66.2 $\mu\text{m}/^\circ\text{C}$ (Type-K 2008-2009)、約-81.4 $\mu\text{m}/^\circ\text{C}$ (Pt100 2010)であった。図1からもわかるように、2008年から2009年にかけて温度変化の振幅が大きくなっているために、温度係数が小さくなってしまったと言える。これらの結果から、実験中のある時点で測定された共振器長は、本体室床の温度と相

関があり、本体室の床の温度はFELの発振調整を行う場合には共振器長を補正する目安になると考えられる。

2.3 長時間連続測定

旧温度測定システムを用いて2009年7月の約24時間にわたるFEL利用実験の際に、本体室床の温度と共振器長の補正量を連続的に測定した。その結果、少なくとも2つの温度変化の異なった成分があることが示唆された。さらに新しい温度測定システムを導入してから、FEL利用実験中(主に半日程度)に、温度に対する共振器長の変化を測定してきた。その結果から、測定開始後から急激に共振器長は変化し、その後、図2で示した長期的な測定結果で見られるような温度依存性(温度係数：約-80 $\mu\text{m}/^\circ\text{C}$)を示す傾向にあることがわかった。さらに、電子ビームエネルギーおよびFEL波長が違っていても、ほぼ同じような傾向を示していることがわかった。しかし、半日程度の測定時間では、過去に得られたようなこれらの成分をはっきり区別することができなかった。そこで、さらに長時間測定(24時間程度)を行い詳しく調べた。図3には、長時間測定による本体室床の温度に対する共振器長の補正量の変化の例を2つ示した。測定条件として、1)同じ電子ビームエネルギー(92 MeV)、同じFELの波長(2000 nm)のまま、2)途中で電子ビームエネルギーを変更し(92、76.5、71 MeV)、それに伴い違う波長(2000、2940、1470 nm)で測定を行った。ただし、比較をしやすいように測定初日の午後12時頃の室温および共振器長を基準とし、そこからの温度変化および補正量をプロットしている。また、電子ビームエネルギーを変更するたびに、共振器ミラーの向きが変わってしまうので、相対的な共振器長の位置がずれているが、絶対値を測定できないので補正していない。この結果から、92 MeVでFEL発振しているときは、ほぼ同じような相関を示しているが、1)のデータに比べて2)は、共振器長が急激な変化をする成分が認められない。他の半日程度の測定結果を考慮すると、これはすでに急激な変化が起こってしまったあとで測定を開始している可能性があると考えられる。しかし、電子ビームのエネルギーを変更すると、本体室床の温度に対して共振器長が急激に変化していることがわかる。そこで、この急激な変化は何に起因するのか調べるために、本体室の室温との相関を調べた(図4)。その結果、図3で急激に変化していた成分も合わせて、一次関数で近似できることがわかった。このことから、共振器長の変化は床温度より室温に強く依存していると考えられる。すなわち、加速器立ち上げ直後は、冷却水や各電磁石を励磁することに伴う発熱などで、電子ビームエネルギーを変更したときは、偏向電磁石の励磁電流の違いによる温度変化が起こり、それによって変化した室温が、共振器ミラーチェンバやその架台などに影響をおよぼして、共振器長を急激に変化させていると推測される。

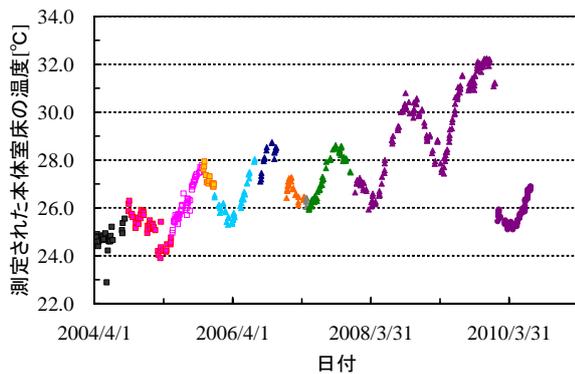


図1：加速器本体室床の温度の時間変化。旧温度測定システム(四角形・三角形)と新温度測定システム(丸印)により測定された温度をそのままプロットした。同じ色の印は、同じ共振器ミラーで得られた測定結果を表している。

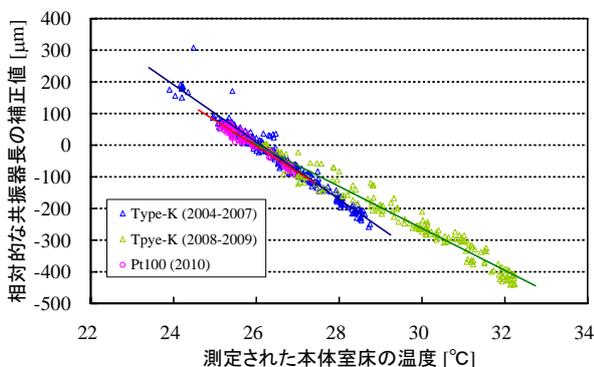


図2：共振器長の温度変化。2004年8月からのデータを3つの期間(Type-K 2004-2007：青、Type-K 2008-2009：緑、Pt100 2010：ピンク)にわけて比較した。ここで、測定された温度が26°Cのときの共振器長を基準として、そこからの補正量をプロットしている。

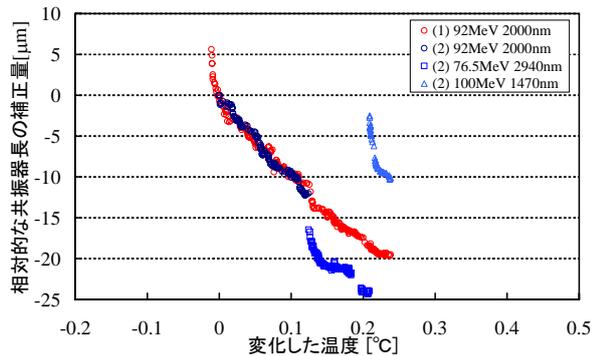


図3：長時間連続測定における共振器長の本体室床の温度に対する温度依存性の2つの例。1)同じ電子ビームエネルギー(92 MeV)、同じFEL波長(2000 nm)、2)途中で電子ビームエネルギーを変更し(92、76.5、100 MeV)、それに伴い違うFEL波長(2000、2940、1470 nm)でそれぞれ測定した。比較しやすいように、測定初日の午後12時頃の本体室の室温および共振器長を基準とし、そこからの温度変化および補正量をプロットした。

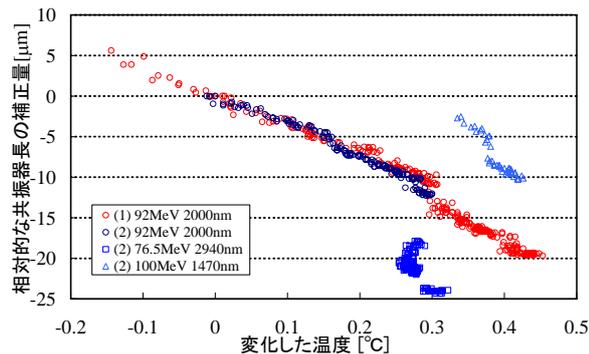


図4：長時間連続測定における共振器長の本体室の室温に対する温度依存性。測定条件および基準点は図3と同じである。

3. 考察とまとめ

今までLEBRAでは、本体室床の温度変化を目安に共振器長の伸び縮みを補正し、FELの発振調整を行ってきた。しかし、使用していた温度測定システムが劣化したため、あまり有効にこの関係が利用できなくなってしまった。そこで、新しい温度測定システムを導入し、より詳細な共振器長の温度依存性を測定した結果、過去のデータと矛盾がないことがわかった。また、長時間連続して共振器長の補正量と本体室床の温度を測定したところ、FEL発振直後に急激に変化する成分が認められた。これは、時間が経つと、FEL発振調整の目安としている本体室床に対する共振器長の長期変化にほぼ一致することがわかった。そこで、本体室の室温に対する共振器長の補正量を比較したところ、一次関数でよく近似できることがわかった。このことから、共振器長の変化は本体室の床温度より室温に強く依存していると

考えられる。しかし、これだけでは共振器長の変化をすべての場合において説明できないので、さらに温度を測定する最適な箇所を見つけるために、測定場所を増やすなどして、より詳細な測定が必要であると考えられる。また、温度以外の寄与についても考慮しなければならないと考えられる。

参考文献

- [1] T.Tnaka, et al., "Performance and Application of FEL and PXR Sources at Nihon University", AIP Conf. Proc. 1234, pp. 587-590, 2010