

Orbit Stabilization at UVSOR-II

Kosuke Suzumura^{A,B)}, Masahiro Katoh^{A,B)}, Yoshifumi Takashima^{B)}, Masahito Hosaka^{A)}, Akira Mochihashi^{A)}, Jun-ichiro Yamazaki^{A)}, Kenji Hayashi^{A)}, Miho Shimada^{A)}

^{A)} Institute for Molecular Science

Myodaiji-cho, Okazaki, 444-8585 Japan

^{B)} Nagoya University

Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603 Japan

Abstract

At a 750 MeV synchrotron light source, UVSOR-II, we observed an orbit drift in the order of 100 microns. We have constructed a feedback system to stabilize the horizontal orbit drift by controlling the RF frequency. In the result, the maximal value of the horizontal orbit shift was successfully reduced from about 150 micrometers to 20 micrometers. The change in the circumference of the ring calculated from the RF frequency can be explained by the change in the temperature of the building floor. The UVSOR-II storage ring is operated for 12 hours a day, from Monday to Friday. The heat produced by the power supplies of the accelerator produces the temperature change. The change of the RF frequency in a long term suggests that the temperature of the outside of the building also contributes partly.

We also measured the position of the BPM heads relative to the magnets by using dial gauges. The results suggest that some of the BPM heads move by a few tens of microns in time scale of hours. The movements seem to be due to thermal deformation of the vacuum ducts produced by irradiation of synchrotron radiation. To realize precise orbit stabilization, we must include the movements of the BPM's in the feedback system.

UVSOR-II における軌道安定化

1. UVSOR-IIの軌道変動

1.1 電子軌道変動

分子科学研究所のシンクロトロン放射光源 UVSOR-IIでは、一日12時間(9時~21時)の運転中、時刻経過に伴った電子軌道変動が観測される。軌道変動の原因としては加速器の運転、停止に伴う室温の変化によるリング室の熱膨張、加速器各部の温度変化による熱変形等が考えられるが、その詳細は明らかとなっていない。本研究は、軌道変動の原因を明らかにし、それらを可能な限り取り除き、また、フィードバック制御による軌道安定化システムを構築することで、放射光利用に障害となる軌道変動を抑制することを目的とする。

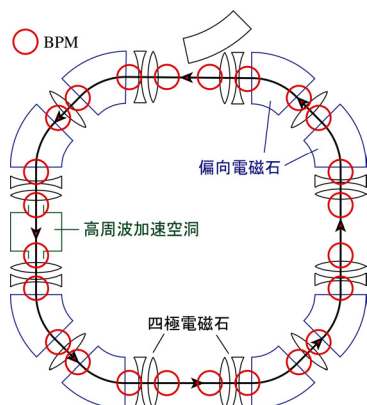


図1 UVSOR-IIストレージリング模式図

1.2 軌道変動計測システム

UVSOR-IIには合計24台のBPMが設置されている(図1)。各BPMは4つの電極で構成され、電極からの信号は市販のモジュールにより処理され、毎秒1回の割合でリング一周分のビーム軌道が計測され、PCに保存される。UVSOR-IIでは10分から数時間の時間スケールで、最大数百マイクロン程度の軌道変動が観測される。この変動の原因を探るためにリング室温、加速器各部温度、加速器用冷却水水温などを連続的に監視するシステムが構築され、稼動している。

2. RFフィードバックシステム

軌道安定化の第一段階として、水平方向の軌道補正のためにRF周波数制御のフィードバックシステムを構築した。BPMによって計測された電子ビームの軌道と、あらかじめ定めた基準軌道との差から、RF周波数修正値を計算しシグナルジェネレータにフィードバックするというものである。

このシステムを導入したことによる水平方向軌道変動の変化を図2に示す。導入前は、軌道は全体としてリングの内側(マイナス側)に移動していたが、導入後はこれが大幅に低減されていることが分かる。このフィードバックシステムの導入により、最大で150 μm あった水平方向の軌道変動を20 μm 程度にま

で抑えることができた。

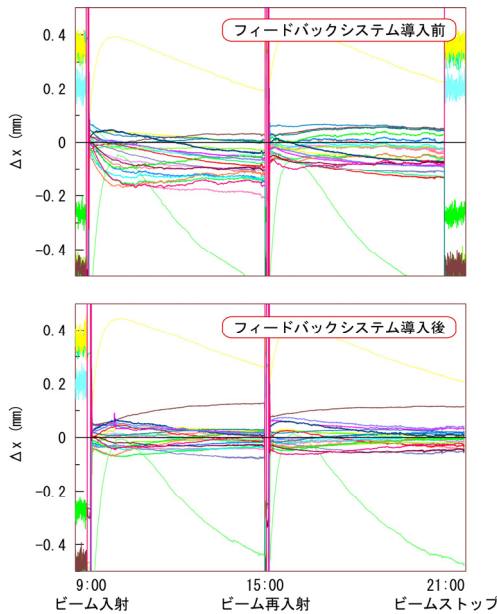


図2 フィードバックシステム導入前後の水平方向軌道変動 (24箇所 の BPMによる測定値)

3. 軌道変動原因

3.1 RF周波数の変動

フィードバックシステムの導入により、運転中は水平方向の軌道変動を補正するためにRF周波数が随時修正されるようになった。その様子を図3上段に示す。運転開始から停止までの間、RF周波数は下がり続けている。運転開始直後は特に減少が急激である。RF周波数の修正は、ストレージリングの周長変動による軌道変動を補正するために行われている。よって、RF周波数の変動は、そのままリング周長の変動を表すと考えてよい。すなわちRF周波数の減少=リング周長の増大である。

3.2 軌道変動原因

ストレージリングの運転中、RF周波数が下がり続けていることから、リングの周長は増大し続けていると考えられる。その原因としては、加速器各部の温度上昇による熱膨張が有力であるが、中でもリング室床の熱膨張に注目した。図3下段に、リング室床面の一日の温度変化の様子を示した。床温は運転開始から停止までの間上昇し続けている。

一日の床温変動値を0.8℃、コンクリートの熱膨張係数を $1 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ とすると、直径16mのUVSOR-IIストレージリングでの水平方向変動理論値は約60μm、RF周波数修正値に換算すると0.7kHzである。実際の一日のRF周波数修正値(変動値)は約0.6kHzであり、両者はほぼ一致する。このことから、リング室床の温度上昇による熱膨張がリングの水平方向軌道変動の主原因である可能性が高い。

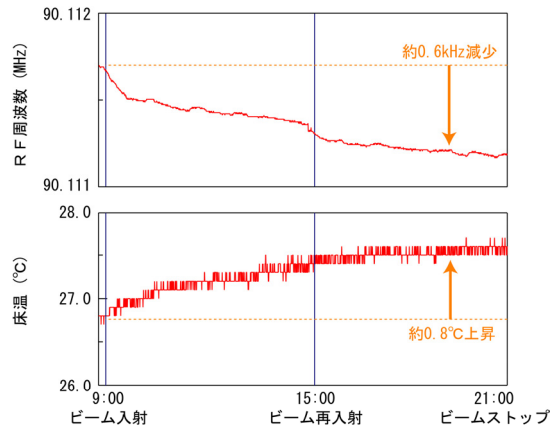


図3 一日のRF周波数と床温変動

3.3 長期間の変動

図4に一週間のRF周波数と床温の変動を示した。これを見ると、図3と同様に、RF周波数の低下時には床温は上昇、逆にRF周波数の上昇時には床温は低下している。火曜日から金曜日の連日運転によって、全体的にRF周波数は減少、床温は上昇している。この床温の上昇については、昼間のストレージリング運転中に上昇したものが、深夜の停止中に下がりきらないためと思われる。床温の上昇に伴ってRF周波数も低下しており、両者の間にはよい相関が見られる。

また、図5に示した半年間のRF周波数と床温の変動においても、同様の傾向が見られる。2006年4月～5月では、RF周波数が減少すると共に床温が上昇している。運転停止期間ではその逆のことが起こっている。このように、長期間で見た場合でも、RF周波数と加速器の運転による床温変化の相関が認められる。しかしながら12月～2月にかけてはRF周波数のみ大きく上昇しており、床温との関連だけでは説明ができない。長期間で見た場合、季節の変化に伴った外気温や地面の温度の変化も影響している可能性がある。

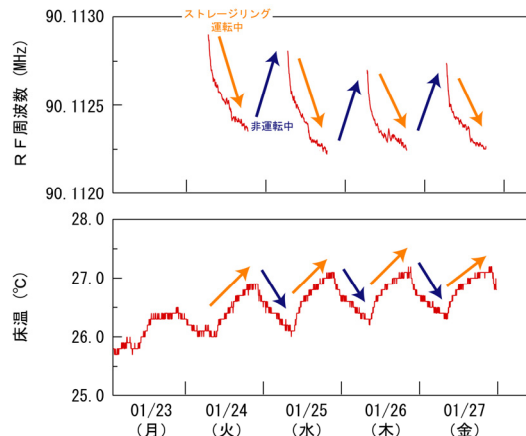


図4 一週間のRF周波数と床温変動

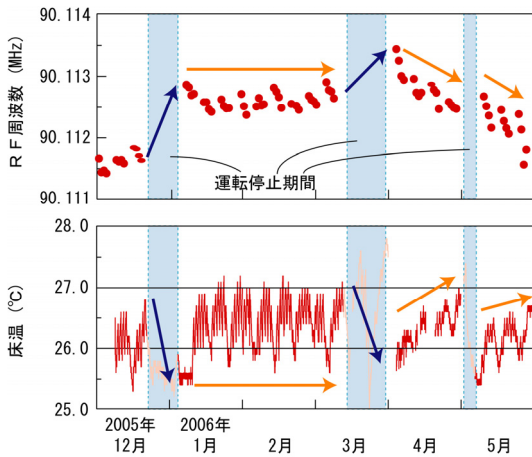


図5 半年間のRF周波数と床温変動

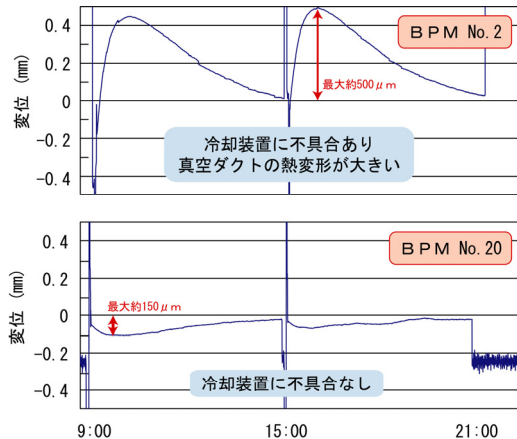


図6 BPMにより計測された軌道変動

4. BPMの位置変動

UVSOR-IIには合計24台 (No. 0~No. 23) のBPMが設置され、ビーム軌道が計測されている。概ね、どのBPMにおいても、一日最大 $100\mu\text{m}$ ~ $150\mu\text{m}$ の水平方向軌道変動が計測されるが、No. 1、No. 2の2台のみ、 $500\mu\text{m}$ 程度の大きな軌道変動が計測されていた (図6 上段)。この2台のBPMに関しては、それらが設置された真空ダクトの冷却水管に不具合があり、十分な冷却水が流れていないことが分かった。No. 1、No. 2で計測される軌道変動には蓄積ビーム電流値との相関が見られ、No. 1、No. 2付近の真空ダクトにおいては放射光照射による極端に大きな熱変形が生じていると思われる。それにより、BPMの位置変動分が見かけの軌道変動として計測され、このような大きな値が計測されていると考えることができる。このことを確かめるため、ダイヤルゲージを設置し、BPM自身の位置変動を計測した。なお、偏向電磁石は床に頑丈に固定されており、その位置変動は無視できる程小さいとしている。

計測した結果を図7 上段に示す。No.2において、BPMによって計測されていた最大 $500\mu\text{m}$ の軌道変動のほとんどが、BPM自身の位置変動による見かけの軌道変動であったことが確認された。No.1においても同様の結果であった。また、この結果より、他のBPMについても位置変動による見かけの軌道変動が計測されている可能性があるため、他の数箇所のBPMにおいても同様の計測をした。その結果の一つを図8 下段に示す。正負の違いなどはあるが、概ね同じような結果であった。No.1、No.2と比べると小さいが、 $10\mu\text{m}$ ~ $30\mu\text{m}$ のBPM位置変動が計測された。フィードバックシステム導入前の水平方向軌道変動が最大 $150\mu\text{m}$ 、導入後で最大 $20\mu\text{m}$ 程度であることから、正確な軌道安定化を実現するためには、BPMの位置変動は無視できない大きさである。今後、位置変動の常時計測システムを構築し、既存のフィードバックシステムに組み込むことでより正確な軌道補正を実現するつもりである。

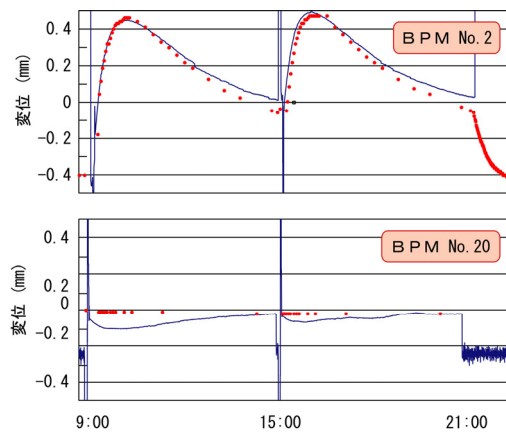


図7 電子軌道変動とBPM自身の位置変動
— BPMにより観測された軌道変動
● BPM自身の位置変動

5. 結言

RFフィードバックシステムの構築、導入により、最大 $150\mu\text{m}$ あった水平方向軌道変動を、 $20\mu\text{m}$ にまで抑えることに成功した。

RF周波数とリング室床温の変動を比べた結果、両者に強い相関があることが明らかとなった。また、リング室床の温度変化、熱膨張係数から周長の変動を計算した結果、RF周波数実測値を元にした計算値と概ね近い数値が得られた。このことから、水平方向軌道変動の主要原因はリング室床の温度上昇による熱膨張の可能性が高いと考えられる。

ダイヤルゲージによるBPM本体の位置変動を計測した結果、正確な軌道安定化のためには無視できない変動があることが確認された。

今後は、電磁石の熱変形などの可能性も検討し、総合的に軌道変動の原因を明らかにしていきたいと考えている。またステアリング電磁石を用いた新たな軌道フィードバックシステムの構築も準備している。本研究により明らかにされる知見、開発される軌道安定化技術は名古屋大学で計画中の小型放射光源においても活用されるものと期待している。