

# シンクロトロン加速高周波 フィードバック制御システムの開発

若狭湾エネルギー研究センターでは、シンクロトロンの加速高周波フィードバック制御システムの開発を行っています。

シンクロトロンは荷電粒子を偏向電磁石によって円形の軌道を周回させ、高周波電圧によって加速する加速器です。

一定の軌道を走らせながら、エネルギーを上昇させるために、磁場強度、加速高周波周波数の同期が重要です。加速周波数を制御するシステムの基本は、タンデム加速器からシンクロトロンに入射されたときの周回周波数にエネルギーが上昇することを見越した偏向電磁石の磁場強度の変化、それにとまなう、加速周波数の変更です。

ビーム位置モニタでビームの水平方向の位置 ( $\Delta R$ ) および加速高周波とビームバンチ (荷電粒子群) の加速空洞への到達タイミングのずれ(加速位相差の変化  $\Delta\phi$ ) を測定し、加速高周波の周波数を補正することにより、ビームバンチの振動を抑制し、水平方向のビーム位置を調整することができます。これにより、ビームロスを低減させます。

図1の「B-Clock」が磁場強度の変化を検出するところです。図の中の「DSP」が周波数の変化分を計算し、生成するデジタル信号をもとに「DDS」(Direct Digital Synthesizer)が高周波を発生させます。 $\Delta R$ や $\Delta\phi$ という電圧信号をもとに、補正に必要な周波数の変化分に変換するのが、図1中の電圧制御発振器「VCO」(Voltage Control Oscillator)です。上のDDSからの基本周波数にこのVCOの周波数を足しあわせ、補正します(ビームフィードバック)。しかし、電圧信号制御というアナログ制御部分は、外部からのノイズに弱く、その解決が課題でした。いままで、VCOに入力されていた補正用の電圧信号は、図中の「ADC」で電圧-デジタル変換(AD変換)し、DSPに直接入力するシステムも開発しました。

ビームフィードバックを使用していないときの $\Delta\phi$ 信号 (赤) および $\Delta R$ 信号 (青) を示します。 $\Delta\phi$ 信号が振動し、 $\Delta R$ 信号が加速とともに変化していきます。ビームフィードバックを使用すると、図3のように $\Delta\phi$ 信号の振動、すなわちビームバンチの位相振動を抑制することができます。また、 $\Delta R$ 信号すなわち加速中のビーム位置を調整して一定にすることができます。

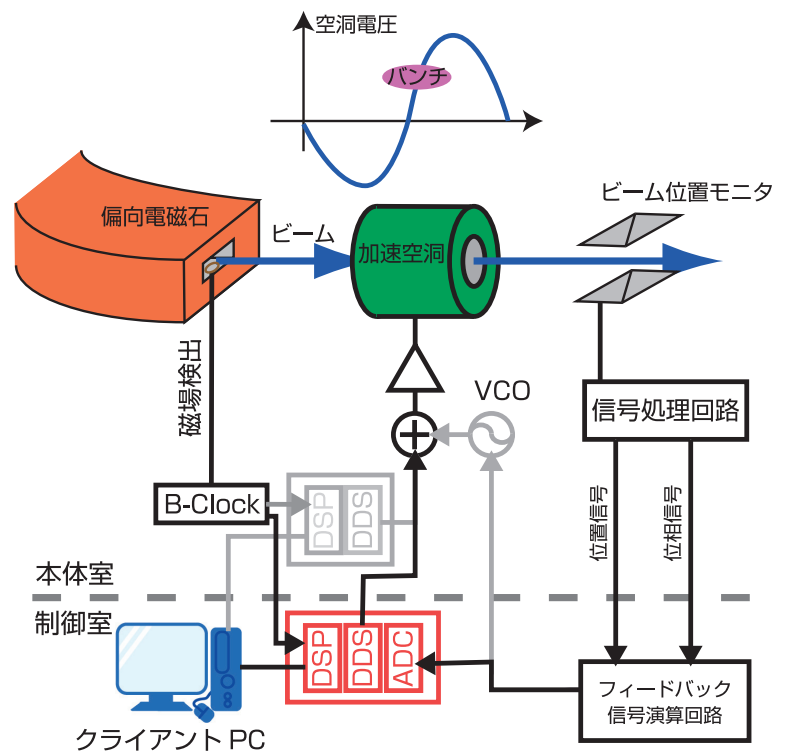


図 1: 加速高周波フィードバック概念図

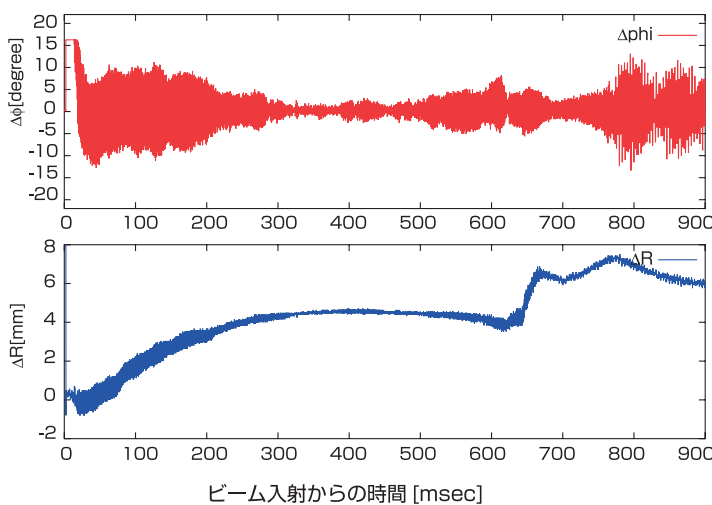


図 2: ビームフィードバック OFFの時の $\Delta\phi$ / $\Delta R$  信号

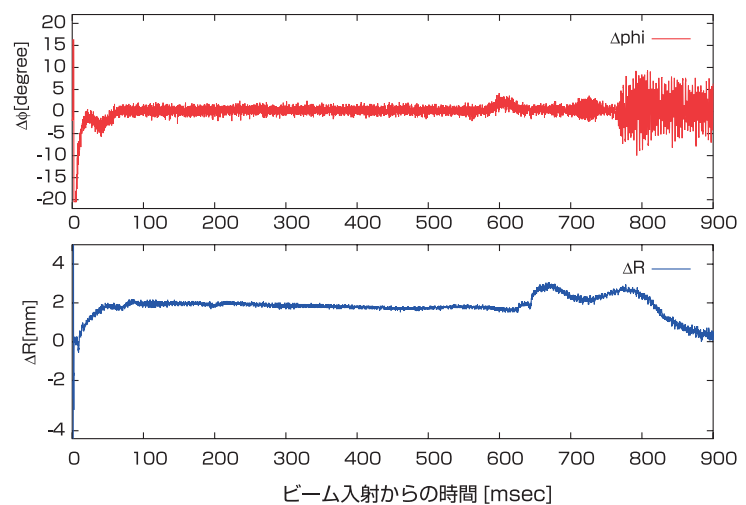


図 3: ビームフィードバック ONの時の $\Delta\phi$ / $\Delta R$  信号