

シンクロトロン内のビームバンチの振動を抑制してビーム電流と安定性の増加

シンクロトロンは高周波電圧を利用して荷電粒子を加速します。その際に、加速高周波によって形成される安定領域に、荷電粒子の塊（バンチ）が形成されます。バンチが加速高周波に対して振動（位相振動）すると、様々な理由によってビームを失う原因になります。

若狭湾エネルギー研究センターの加速器施設（W-MAST）のシンクロトロンで発生していた位相振動の大きな原因の一つに、加速高周波に位相ノイズが重畳していることが原因であることを突き止めました。図1 従来の加速高周波制御系を示します。周波数を10通倍している部分があり、位相ノイズを増幅していることが原因でした。周波数10倍をやめれば位相ノイズは十分に小さくなり、位相振動は発生しないこともわかりました。

そこで、図2のように原発振器であるDDS（Direct Digital Synthesizer）から周波数を直接生成するように改造しました。この際、空洞電圧とビーム位置モニタの検波に、加速周波数に71MHzを足した検波用信号をは、IRM（イメージリジエクトミキサー）を用いて生成しました。また、検波用信号によって残留するイメージ成分は空洞電圧の検波出力に周波数特性を発生させます。その影響を位相補正用DELAYによって低減しています。

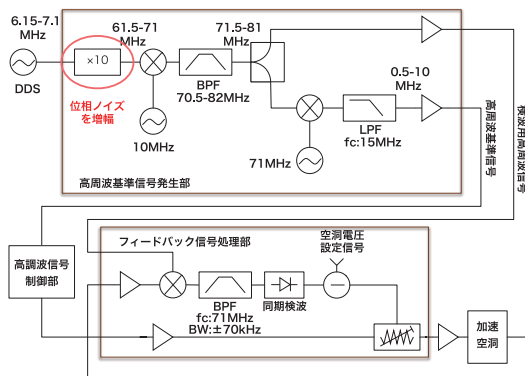


図1：従来の加速高周波信号制御系

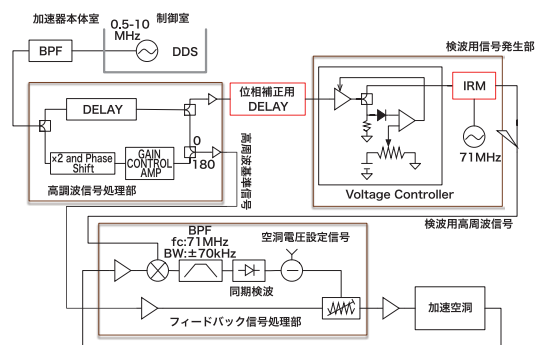


図2：加速高周波信号制御系の改造

加速高周波に位相ノイズが重畳している場合、ノイズの周波数成分と加速高周波電圧で決まる位相振動の周波数（シンクロトロン振動数）が一致すると、ビームバンチの位相振動の振幅が大きくなります。図3に、改造前後のシンクロトロン振動数に対する位相振動の振幅をプロットしたものを示します。改造後に、位相振動が大きくなる周波数（共鳴周波数）が消えました。

図4に改造前後でのシンクロトロン内の電荷量がを示します。位相振動が抑制できるようになった結果、捕獲電荷が増えています。Proton 7MeV入射200MeV出射時の電流量が3.59nAから3.9nAに増加し、電流量の変動が23%から6%に抑えられるようになりました。

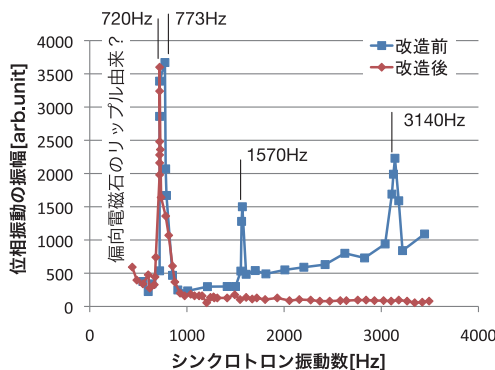


図3：シンクロトロン振動数に対する位相振動の振幅の変化

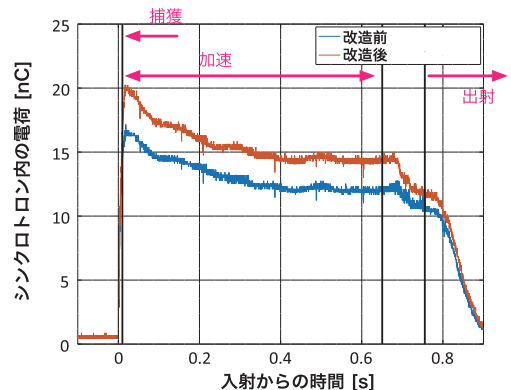


図4：改造前後での蓄積電荷の比較（陽子7→200MeV）