

SPring-8 線型加速器における高周波励振部の安定化

廣田真生^{A)}、安積隆夫^{B)}、鈴木伸介^{B)}、谷内努^{B)}、花木博文^{B)}、渡辺猛^{A)}

^{A)}スプリングエイトサービス株式会社

〒678-1205 兵庫県赤穂郡上郡町光都 2 丁目 23-1

^{B)}高輝度光科学研究センター 放射光研究所

〒679-5198 兵庫県佐用郡三日月町光都 1 丁目-1-1

概要

現在、SPring-8 線型加速器では 8 GeV シンクロトロンと NewSUBARU への入射をおこなっている。ビーム入射をより安定化するために、線型加速器で使用されている 12 台のクライストロン高周波励振用主ドライブラインの RF 位相変動について調査をおこなった。主ドライブライン内には放電防止用の N₂ ガスが充填してある。この N₂ ガス圧力が環境温度や外気圧などの外乱要因により変化し、これに伴い RF 位相変動が引き起こされていることが問題となっている。本稿では N₂ ガス圧力変動と RF 位相変動との関係を示し、さらに長時間にわたって安定な高周波伝送を実現するために導入した N₂ ガス圧力制御システムについて述べる。

1. はじめに

SPring-8 は 5 週間を 1 サイクルとした放射光運用に対して 1 日 1、2 回の入射がおこなわれている。一方、1.5 GeV 蓄積リングである NewSUBARU へは数秒に 1 回のビーム供給がおこなわれており、1 GeV 線型加速器での長時間にわたるビームエネルギーの安定度は入射エネルギーアクセプタンスである $\pm 0.3\%$ 以下であることが要請されている。

1998 年にビームエネルギー変動要因の詳細測定、及び高周波装置の出力電力、位相測定がおこなわれ、その相関が得られた。1998 年の夏期停止期間に高周波大電力装置に対して上記したビームエネルギー安定性を実現するための改修が施された。その結果、約 30 分から 12 時間周期の 1% 以上にも及ぶビームエネルギー変動が $\pm 0.1\%$ 以下まで改善された [1]。

NewSUBARU への高安定、かつ大電流のビーム入射を実現するために 1 GeV エネルギー圧縮システム (ECS) が 2001 年 4 月より通常運転に導入されている。ECS はエネルギー幅の縮小をおこなうだけでなく、エネルギー安定化にも貢献しており、現在 0.02% (rms) の安定性を達成している。ECS での長時間にわたる効果的なエネルギー圧縮をおこなうにはバンチ内のエネルギー分布が常時一定である必要がある。しかしながら、12 台のクライストロン基準励振部である 70 m 長導波管 (主ドライブ

イン) が環境温度、外気圧等により位相変動を引き起こし、これがバンチ内のエネルギー分布へ影響を及ぼしている。数週間にわたる加速器運用において、位相変動が一日周期で変化していることが観測された。導波管内部圧力と位相との関係に着目し、相関測定をおこなった。さらに、N₂ ガス圧力制御システムを構築し、内部圧力の安定化をおこなっている。

2. 高周波装置及び位相測定系の構成

SPring-8 線型加速器の高周波システムを図 1 に示す。同期回路 [2] により発生した 2856 MHz の RF 基準信号は増幅器を経てクライストロン (H0: 80 MW E3712 Toshiba) に入力している。H0 クライストロンで増幅された高周波は電力分配器を介し、バンチング部へ 4 MW、初段 3 m 長加速管へ 27 MW 供給される。この他に 12 台の E3712 クライストロンへの RF 基準信号として 1 MW の RF 電力が主ドライブラインにより各電力分配器を介しクライストロンに伝送される。そして移相器、減衰器を介し、電力レベルの最適化の後、E3712 クライストロンに供給される。また最下流部にある ECS 用加速管励振のための RF 基準信号は最上流部に用意された電力分配器から 120 m 長同軸ケーブル (1.7deg/120 m@2856 MHz) で RF 電力伝送をおこない、増幅器、移相器及び減衰器を経て E3712 クライストロン (M18) に入力される。M18 クライストロン出力は最下流部にある 2 台の 3 m 長加速管、及び ECS 用加速管へ入力される。この伝送系は図 2 に示すような位相フィードバックシステムにより常時安定化されている [3]。

長期にわたる主ドライブラインの位相変化量を得るために、図 2 に示すような RF 測定系により基準 RF 位相と主ドライブライン最後部位相との比較測定をおこなった。位相測定には、ダブル・バランス・ミキサ (DBM: DBM-1100H, VARI-L Company, Inc.) を使用した。DBM は事前に恒温槽にて温度特性が得られており、20~30°C の使用範囲では安定動作が確認されている。DBM から出力されたパルス電圧はオシロスコープ (Tektronix 420A, Sony, Inc.) へ入力され、そのオシロスコープは GPIB 経由で計算機から制御される。1 回のデータ取得は 4 秒毎におこなわれる。

¹ E-mail:hirota@spring8.or.jp

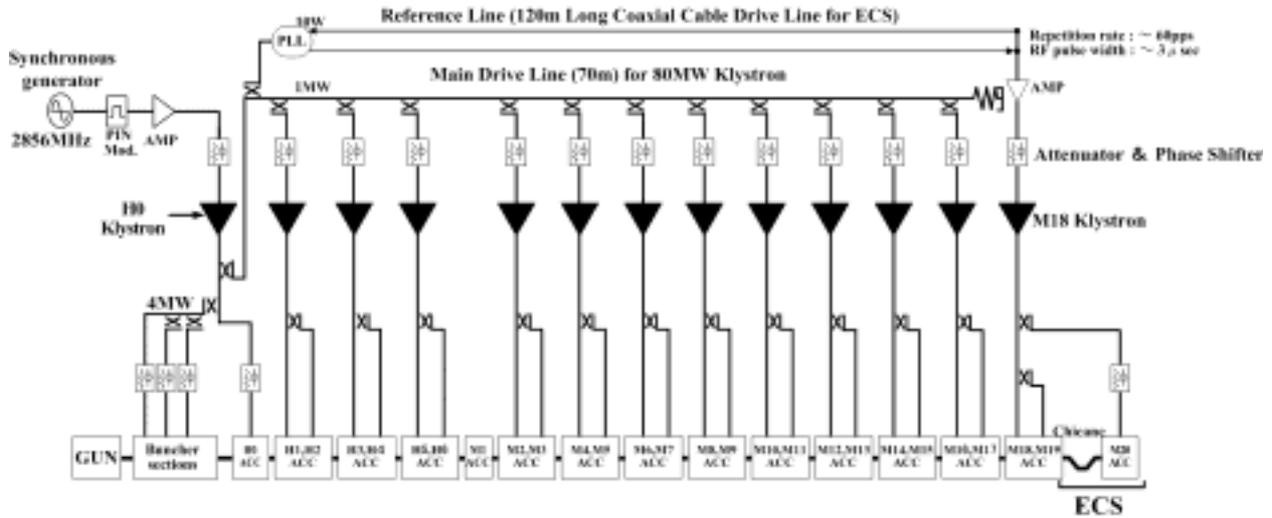


図1 SPring-8 線型加速器高周波システムの構成

3. 主ドライブライン導波管内圧力安定化制御システム

主ドライブライン導波管内部の N_2 ガス圧力制御システムを図3に示す。本システムは主ドライブライン上流部に設置され、圧力計（横河電機株式会社MT210）、6リットルバッファータンク、 N_2 ガス入出のための電磁弁、制御コントローラ、安全弁から構成されている。主ドライブライン内ガス圧力は圧力計にて 0.1 kPa の分解能で測定される。この圧力計は上下限値の設定が可能であり、これを越えた場合には制御コントローラが制御ビット信号により電磁弁の開閉をおこなうことで N_2 ガスが導入、排出される。また、電磁弁の開閉時のガス入出流量を調整するためのバルブがガス導入部と排出部にそれぞれ設けられている。このガス入出部および圧力測定部は6リットルバッファータンクを介すことにより、ガス入出の電磁弁駆動の発信動作を抑制している。圧力計の数値は DC 電圧でモニターされ、図2に示した RF 測定系に組み込まれている。したがって主ドライブラインの内部圧力は RF 位相と同期してデータ取得がおこなわれる。

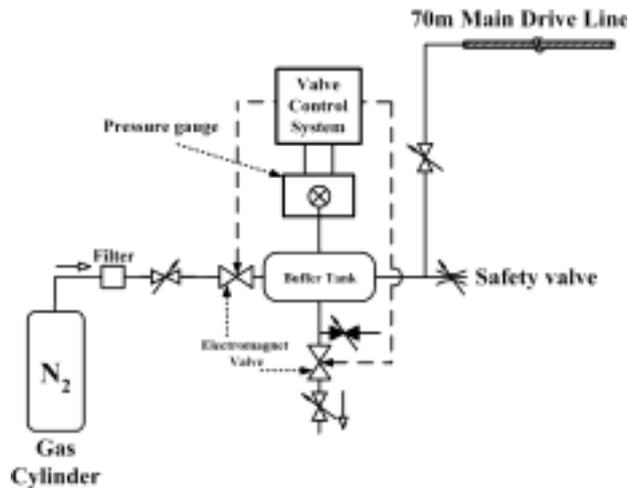


図3 主ドライブライン内ガス圧力制御システムの構成

4. 主ドライブライン RF 位相と内部圧力との関係

主ドライブラインの RF 位相と内部圧力の測定は 2002年3月から6月末までおこなった。この測定期間中に導波管内部に充填していた SF_6 ガスから N_2 ガスに置換し、さらに5月からは、ガス圧力制御システムを導入した。 SF_6 ガスから N_2 ガスに交換した理由は低い誘電率による絶縁特性と動作中のガス放出に対する環境への安全面によるものである。またこれら2種類のガスのそれぞれについて実際に主ドライブライン内ガス圧力の主ドライブライン最後部での依存性を図4に示す。この測定結果より、 N_2 ガスは SF_6 ガスに比べて RF 位相の圧力依存性が低いことが判明した。 SF_6 ガスは 4.38 deg/kPa に対して N_2 ガスは 0.38 deg/kPa の圧力依存性を有している。

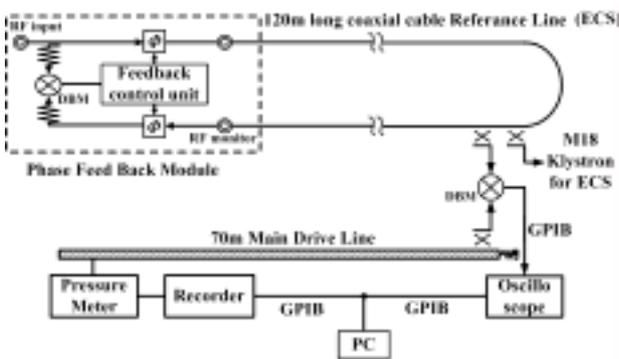


図2 位相フィードバックシステムの構成

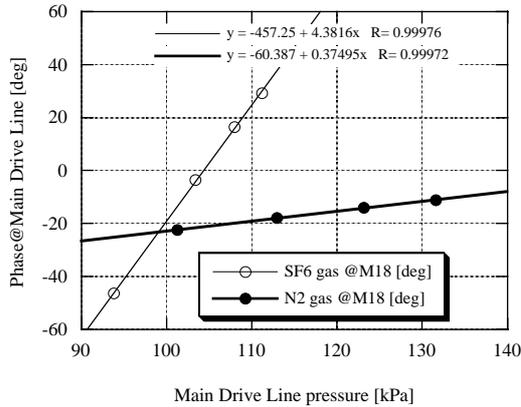


図4 主ドライブライン内ガス圧力と RF 位相との関係

N₂ ガス充填後の主ドライブラインの RF 位相、および圧力測定結果の一例を図5に示す。このとき、ガス圧力については安定制御はおこなわれていない。これに対してガス圧力について安定制御を動作したときの測定例を図6に示す。圧力変化はほぼ一日周期であり、ガス圧力について制御動作前では最大 3 kPa の変動が発生していた。この変化に伴い、RF 位相は最大 18.5 deg もの変化が引き起こされていた。ガス圧力の制御を動作したときは 0.21 kPa で安定化され、これにより RF 位相変化も 4.8 deg にまで抑えられた。

図7には2002年3月から6月までの測定結果について、一日毎の主ドライブライン内ガス圧力、RF 位相の最大変化量について示す。3、4月は圧力制御動作をおこなっていないために、著しい圧力変化に伴う RF 位相変化が引き起こされている。これに対して圧力制御を動作させた5、6月には0.35 kPa 以内で安定化されたが、3~8 deg までの RF 位相変化が生じている。以上のように圧力制御により RF 位相変動は減少したが、まだ 4 deg 程度の RF 位相変化が残る結果となった。これは主ドライブラインの環境温度による導波管形状変化が作用しているためであると考えられる。

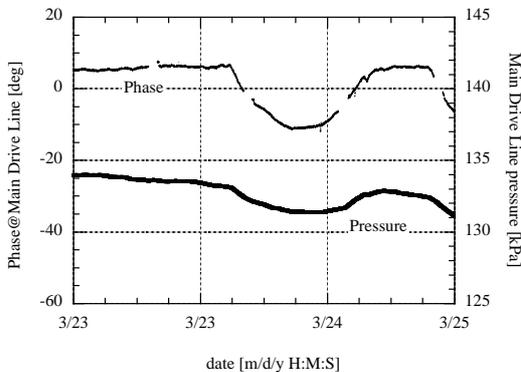


図5 主ドライブライン内ガス圧力と RF 位相の経時変化 (圧力制御 off)

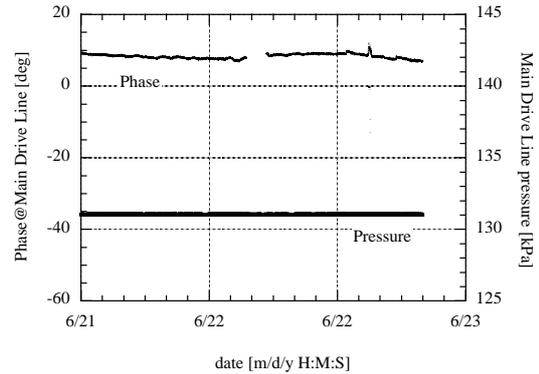


図6 主ドライブライン内ガス圧力と RF 位相の経時変化 (圧力制御 on)

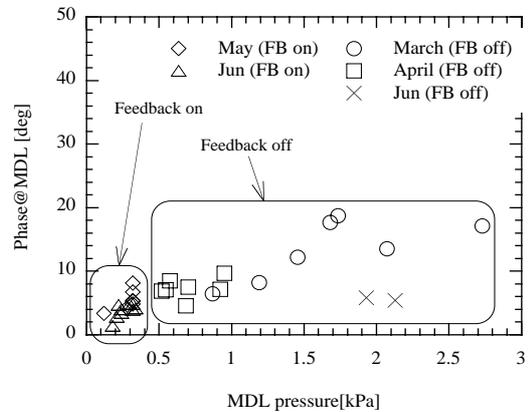


図7 主ドライブラインの日内最大ガス圧力変化量と最大 RF 位相変化量の関係

5. まとめ

SPring-8 線形加速器において主ドライブラインの RF 位相変動の測定をおこない、その変動原因の1つである主ドライブライン内部の N₂ ガス圧力の安定化をおこなった。その結果、圧力制御システムを導入することによりシステム導入前の RF 位相変動最大 18.5deg から 4.8deg まで減少し、このシステムが有効であることが確認された。さらに RF 位相の安定化を目指すために、位相変動要因と思われる環境温度、外気圧等の調査をおこなう予定である。

参考文献

- [1] T. Asaka et al., "Stabilization of the RF System at the SPring-8 Linac", to be published in NIMA.
- [2] Y. Kawashima et al., "New synchronization method of arbitrary different radio frequencies in accelerators", Phys. Rev. ST Accel. Beams 4, 082001 (2001)
- [3] T. Asaka et al., "Performance of the energy compression system at the SPring-8 linac", 8th EPAC, Paris, June 2002.