

Beam interlock system at RIKEN RI beam factory

Misaki Komiyama^{A)}, Masaki Fujimaki^{A)}, Masayuki Kase^{A)}

^{A)} RIKEN

2-1 Hirosawa, Wako, Saitama, 351-0198

Abstract

The PLC based Beam Interlock System (BIS) for the RIKEN radioisotope (RI) Beam Factory (RIBF) is designed to stop the beam within 10 msec. after receiving safety alarms from RIBF accelerators and equipments on beam transport lines. We started its development with Nichizo electronic & control corporation 4 years ago, and installed a part of BIS to the RIKEN accelerator research facility for checking its performance this April. In this paper, the design of BIS and its performance are described.

理研RIビームファクトリーにおけるビームインターロックシステム

1. はじめに

理研RIビームファクトリーでは水素からウランまでのすべてのイオンを $1\mu\text{A}$ のビーム強度で加速し、その最大エネルギーは軽イオン ($A < 40$) では1核子あたり400MeV、ウランでは1核子あたり150MeVに到達する。このような大電流重イオンビームはそのパワーが強大である為、操作上の過ちや電磁石電源等の異常によりビームが本来あるべき軌道からそれた場合に、ビームラインに沿って設置してある装置を破壊する恐れがあり、ビームインターロックシステムの構築は非常に重要である。そこで既存施設の加速器制御系の考え方と仕組みを踏まえて、各種多様の異常に対し、決められたシーケンスで速やかにビームを止めに行く信号を出力するインターロックシステムの検討を2001年10月よりスタートした。

2. システム設計

RIビームファクトリービームインターロックシステム (BIS) の設計には以下の条件を考慮した。

- RIビームファクトリーの加速器及びビームライン上に設置されたファラデーカップの電流値や非接触型ビーム強度測定装置の値、バップスリット、放射線モニター、電磁石電源異常信号、真空排気装置異常信号などのデジタルもしくはアナログの信号をインターロック入力信号として取り込むこと。
- それらの信号に対して、リングサイクロトロン上流のビームチョッパーに信号を出力することによりビームを停止すること。
- BISはインターロック信号受信後直ちにビームを停止し、それに準ずるできるだけ短い時間内にそれ以外に指定した信号を指定したデバイスに対して出力する機能を持つこと。
- 異常発生箇所の対処に取り組んでいる間にその場所よりも下流のビームラインでさらに異常が発生した場合、BISはその信号に対応する出力設定を無視し、ビームチョッパーに信号を出力

しないこと。

- 400点近くの各種多様の異常信号に対応し、且つ制御点数の増減を含め、実運用までの調整段階で発生することが予想されるシステムのマイナーな変更に対応しうるシステムであること。
- 一部放射線管理系と同種の信号を取り扱うことにより、二重のインターロックを提供すること。
- インターロック条件は各信号に個別で設定することができる機能を持つこと。
- あわせて、加速器の各種運転パターンに応じて予め作成したファイルをシステムにダウンロードすることにより設定することができる機能も併せ持つこと。

以上の条件を満たすシステムを構成しうるモジュールとしてMelsec-QシリーズPLC (三菱電機) を候補に挙げ、ニチゾウ電子制御株式会社とプロトタイプを作成しながら検討を進めた。各異常信号の出力元はかなり広範囲に設置してあるため、PLCを複数のステーションに分散して設置し、それらをネットワーク (Melsec光リンク) で接続する必要がある。インターロック入力として取り込むデジタル信号はおよそ320点、アナログ信号はおよそ80点であり、これらをステーション設置場所の関係から5ステーションに分けて設定する。あるステーションで異常信号を受け取ってからあるステーションに指定したデジタル出力から信号を出力するまでに要する時間は、入力ステーションと出力ステーションが異なる場合にリンクを通して平均して10msec. から15msec. になり、入力及び出力モジュールが同一ステーション内に設定されている場合であれば、平均して5msec. になるという結果が得られた。インターロック入力に対応してビームチョッパー以外のデバイスへの出力、例えばファラデーカップに信号を出力してビームラインに挿入する場合を考えると、ファラデーカップ挿入に要する時間は機械的な制限から約1秒と遅いため、先に挙げた数字で十分であると言える。ただし、ビームチョッパーには可能な

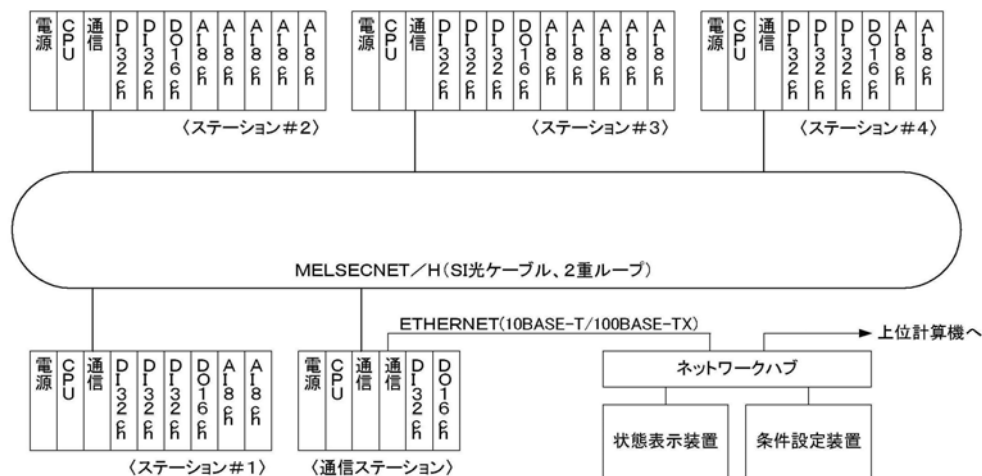


図1：BIS構成図

限り早く信号を出力する必要があるため、各ステーションから直接チョッパーのコントローラに信号線をはり、信号を出力することとする。

一方、BISとは独立して設計が進められている放射線管理系インターロックシステムとBISをあわせてRIビームファクトリーに二重のインターロックシステムを設置するという立場から、先にあげたインターロック信号受信からビーム停止までに要する時間を放射線管理の立場から評価すると以下ようになる。K2500-MeV超伝導サイクロトロン（SRC）で加速されたビームの輸送ラインが設置される建物の遮蔽は毎秒 10^7 個のビーム損失を想定して設置しており、立入可能領域の放射線量は1時間あたり最大 $25\mu\text{Sv}$ になることを想定している[1]。もしも誤って 1pA のビームがその領域に出てしまった場合、最大1時間あたり $15\mu\text{Sv}$ の放射線量となる。理研加速器施設で個人の放射線被曝量のモニターに使用しているルクセルバッジの検出限界は $100\mu\text{Sv}$ であり、緊急時においても被曝量はこの検出限界以下に抑えることを条件とする。上記の状況の場合、 10msec. でビームを停止すると $41.6\mu\text{Sv/h}$ の放射線量となるので、必要条件は満たしていることになる。

以上の検討結果より、BISはMelsec-QシリーズPLCをベースに構築することとした。

3. システム構成

BIS構成を図1に示す。PLCステーションは5箇所とし、1ステーションはイーサネットモジュールを持つ通信ステーションとしてコントロール室に設置し、残りの4ステーションをそれぞれRIビームファクトリー加速器棟内の現場付近に設置する。表1にシステムに使用するモジュールを、表2に各ステーションに取り込む信号点数とモジュール数を、表3にBISが扱うデジタル入力の内訳を示す。各ステーションが取り込む信号範囲として、ステーション1にはRIビームファクトリーへのビームライン上で既

表1：BISに使用するモジュール

CPU	Q02HCPU
電源	Q61P-A1
DIモジュール	QX41
DOモジュール	QY40P
AIモジュール	Q68ADV
通信モジュール	QJ71LP21-25
イーサネットモジュール	QJ71E71-100

表2：BISの信号点数（カッコ内はモジュール数）

	#通信	#1	#2	#3	#4	TOTAL
DI	5 (1)	89 (3)	37 (2)	84 (3)	83 (3)	298
DO	7 (1)	15 (1)	3 (1)	7 (1)	11 (1)	43
AI	0 (0)	15 (2)	37 (5)	36 (5)	9 (2)	97
TOTAL	12	119	77	127	103	438

表3：BISのデジタル入力信号内訳

	操作卓	チョッパー	放管	FC	真空	電源	冷却	高周波	
#通信	5	0	0	0	0	0	0	0	5
#1	0	1	5	7	14	52	10	0	89
#2	0	1	0	1	2	28	2	3	37
#3	0	1	5	3	11	53	8	5	86
#4	0	1	12	5	16	39	8	0	81
	5	4	22	16	43	172	28	8	298

存のインターロックシステムに取り込まれていない最上流のデバイスからのインターロック信号からIRCに入射するまでの範囲の信号を、ステーション2にはIRCの信号を、ステーション3にはIRCからビームを取り出してからSRCに入射するまでのビームライン及びSRCからビームを取り出してからBigRIPSターゲットまでのビームラインの範囲の信号を、ステーション4にはSRCの信号を、後のメンテナンス時に分かりやすいように、基本的には上流からの並びで取り込む。しかし、今後の運用上で新

たに取り込む信号を追加する場合には上流からのデバイスの並び順にこだわる必要はなく、点数のあいているモジュールにその信号を割り当てることが可能である。また、BISの設計においてもっとも困難であった「ある異常信号に対する対処をしている間に、その箇所よりも下流のビームライン上で異常が発生した場合、その信号に対する出力設定を無視してビームチョッパーに信号を出力しない」というロジックは以下のように解決した。具体的にはある箇所で異常が発生すると、BISはその信号を受けて直ちにビームチョッパーに信号を出力してビームを停止し、それと同時にその異常発生箇所に一番近い上流のファラデーカップに信号を出力してビームラインに挿入する。オペレータは異常信号への対処中に必要に応じ、そのファラデーカップがビームラインに挿入されていることを確認した上でビームチョッパーに解除信号を送り、そのファラデーカップまでビームを通して調整を行うことが可能である。BISは常に挿入されている最上流のファラデーカップ情報を持つことにより、そのファラデーカップよりも下流で異常が発生した場合にはその異常信号に対応した信号の出力を無視する、という仕組みを構築した。

4. システム性能

本来BISはRIビームファクトリーのインターロックに適用するように設計を行ったが、実運用に先立ち、既存加速器施設に一部を導入してシステム性能試験を行った。この試験では実際に通信ステーションとステーション1の二つのステーションのみを利用し、残りのステーションは入出力を設定せずにリンクのみを生かした。図2にインターロックのデジタル信号入力と出力が同一ステーション内である場合に、信号入力に対してチョッパー信号が出力されるタイミングを測定したオシロスコープの画面を、図3にインターロックのデジタル信号入力と出力が



図2：BIS信号出力タイミング
(同一ステーション内, 4.04msec.)

異なるステーションの場合に、信号入力に対して光リンクを通してチョッパー信号が出力された場合の画面を示す。同一ステーション内の場合には平均して4msec.で、ステーションをまたぐ場合にはトークンの回ってくるタイミングによりばらつきが発生するが、平均すると10msec.を少し超える時間でチョッパーに信号が出力されるという結果が得られた。

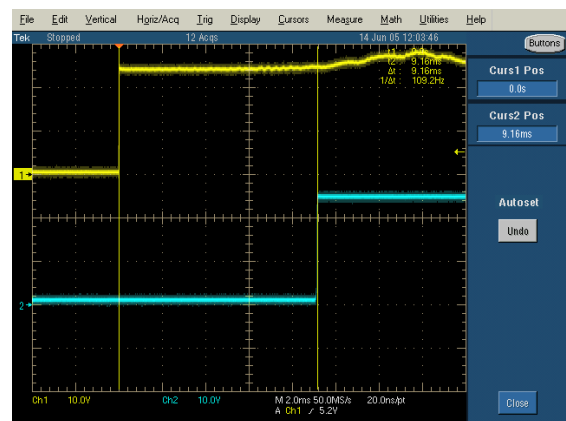


図3：BIS信号出力タイミング
(他ステーション間, 9.16msec.)

5. 今後の展開

RIビームファクトリー加速器棟内への加速器及び機器設置に伴い、今夏に各ステーションを実際の現場に設置して接続可能な信号のつなぎこみを行い、順次テストを始める予定である。また、あわせて、現在同じシステムをもうひとつ作成して既存加速器施設に新たに拡張される固定周波数リングサイクロトロン (fRC) 及びその周辺のビームラインに適用することを検討中である。

参考文献

- [1] N.Fukunishi, et al., “Shielding Design of RIKEN RI Beam Factory”, Proceedings of the 12th Symposium on Accelerator Science and Technology, Wako, Japan. (1999) p.349.