

KEKB 加速器 iBump Feedback の調整による高ルミノシティの持続

田中学^{A)}、佐藤好美^{A)}、飯田秀一^{A)}、北林照幸^{A)}、川澄武^{A)}、吉井兼治^{A)}、青山知寛^{A)}、下村純人^{A)}、杉野献一^{A)}、中村卓也^{A)}、大久保孝将^{A)}、普家聡^{A)}、船越義裕^{B)}、小磯晴代^{B)}、飯田直子^{B)}、増澤美佳^{B)}、生出勝宣^{B)}

^{A)} 三菱電機システムサービス株式会社 〒305-0045 茨城県つくば市梅園 2-8-8

^{B)} 高エネルギー加速器研究機構 〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

概要

KEKB 加速器は 2003 年 5 月にデザインルミノシティ $1 \times 10^{34}/\text{cm}^2/\text{s}$ を達成した。KEKB 加速器の運転業務の一つとして、1999 年の運転開始から KEGK コミッションンググループ (KCG) と共にルミノシティ調整の一つである iBump Feedback の調整及び調整方法の改善を行ってきた。ここでは $1 \times 10^{34}/\text{cm}^2/\text{s}$ 達成までの iBump Feedback の調整及び高ルミノシティの持続に有効な手法について報告する。

1 はじめに

KEKB 加速器[1]は 1999 年 6 月から衝突実験が開始された。その後ルミノシティが着実に向上し 2003 年 5 月にデザインルミノシティ $1 \times 10^{34}/\text{cm}^2/\text{s}$ を達成し、現在の最高ルミノシティは $1.0567 \times 10^{34}/\text{cm}^2/\text{s}$ である。

この高いルミノシティを出す為にいくつかのビーム衝突制御が用いられており、その一つに iBump Feedback [2] がある。これは、High Energy Ring (HER) の衝突点近傍にバンパをたてて Low Energy Ring (LER) の陽電子ビームと HER 電子ビームの 2 つのビームの軌道の差 (offset) に比例する量 (beam-beam kick) を Feedback するものである。

これまでルミノシティが常に高くなるように iBump Feedback の調整を行ってきたが、個人差による調整の良否によってルミノシティの高低に大きな差が生じていた。

2 “えぐれ” と “はずれ”

iBump Feedback の Horizontal offset (H-offset) を調整していると、LER の Beam Size に変化が生じてルミノシティが低下する現象がみられる。

H-Offset 値をマイナス方向に調整していくと、LER の Horizontal Beam Size (σ_x) 及び Vertical Beam Size (σ_y) が徐々に大きくなり、やがてルミノシティが低下する。これを “えぐれ” 現象と呼んでいる。

反対に H-Offset 値をプラス方向に調整すると、LER の σ_x 及び σ_y が小さくなり、やはりルミノシティが低下する。これを “はずれ” 現象と呼んでいる。

図 1 は衝突点の HER の Beam Size を調整するための i Size Feedback [3] の Monitor で、各 Beam Size と Specific Luminosity (Luminosity/number of bunches/bunch current product) の関係を示している。

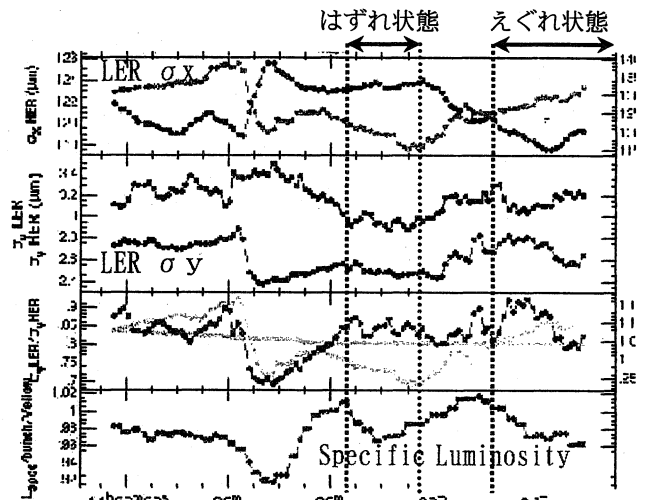


図 1 iSize Feedback Monitor

3 iBump Feedback 調整の歴史

3.1 iBump target の調整

実験開始から 2000 年の 12 月までは beam-beam kick に よる iBump target 値の調整を行ってきた。図 2 は iBump Monitor で Target と Specific Luminosity の関係を表している。これを見ながら時間と共にルミノシティの高いところに各 target の値を合わせる調整を行って時間 (Beam 電流の変化) と共に Horizontal BB Kick (H-target) の値が変化していることに気づいた。

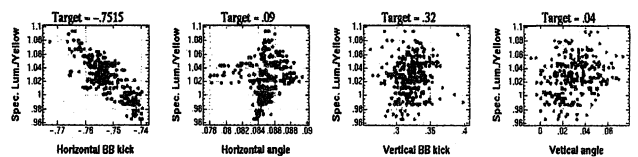


図 2 iBump Monitor

3.2 Programmable H- Target Changer

2000 年の 12 月から 2001 年 5 月までは Programmable H target Changer (PHTC) を用いて調整を行った。これは LER の Beam 電流に合わせて H-target の最適値を探してグラフ化として調整していくものである。図 3 に Programmable H target Changer (PHTC) パネルを示す。

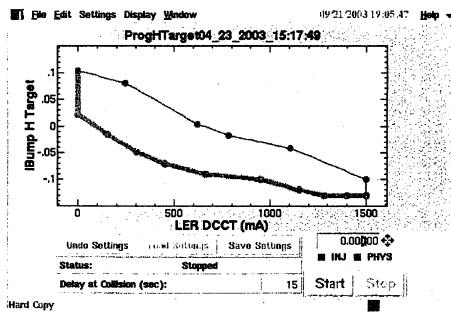


図3 Programmable H Target Changer

一度パネルを作成してしまえば次回からは調整の必要はないように見えてしまうが実際にはそうはいかなかった。それは実験ごとに少しずつながら H-target 値に違いが生じてきてそのまま PHTC を使用してしまおうと“えぐれ”や“はずれ”が生じやすい状況になってしまうということだった。

3.3 H-Offset Direct 調整

2001年5月からはH-target 値の調整でなくH-offset を直接調整するようにした。H-offset をマイナス方向に調整していくとBeam Size が大きくなり、ルミノシティも高くなっていく。しかしマイナスにし過ぎると“えぐれ”状態になりルミノシティの低下を招く。また、H-offset をプラス方向に調整していくとBeam Size が小さくなり、ルミノシティも低くなる。プラスにし過ぎると“はずれ”状態になってしまう。このためルミノシティを最も高くしようと調整するにはLER Beam Size とルミノシティを見て、えぐれる寸前の状態にH-offset を持つてくるのがBestな調整である。また調整中に“えぐれ”状態になってしまった時は経験的にH-offset を数 μm 程度戻してもルミノシティは回復しないのでプラス方向に100 μm 程ずらし一時的に“はずれ”状態を故意に作る。その後H-offset をマイナス方向に調整し再びえぐれる寸前の状態に持つていく。これを“えぐれはずれ”と呼んでいる。

このような調整を実施してきたことにより、“えぐれ”や“はずれ”は以前よりは減少させることが出来たが、ほとんど“えぐれ”や“はずれ”を出さずに調整できる人と出来ない人の差が目立つようになってきた。この原因は次のH-offset 値をプラス側かマイナス側のどちらにすればよいのかという基準がなくH-offset 値を振りすぎたり反対に調整してしまっている為であった。

3.4 H-Offset 調整の指標

3.3の問題を解決しようとH-offset の指標となるものを探していたところ HER の衝突点近くのスティング電磁石の1つであるZHQC2LE の蹴り角の設定値の読み(KRB)の増減がH-offset 値の増減と同期していることに気づいた。図4はZHQC2LE : KRB とH-offset 及びルミノシティをモニターしたものである。これを見ると ZHQC2LE : KRB とH-offset の動きにはある一定の比率をもっており、2つの間がかげ離れると“えぐれ”や“はずれ”の状態になりルミノシティが低下することがわかった。なおルミノシティが0でH-offset が突出しているところはBeamの射中中である。

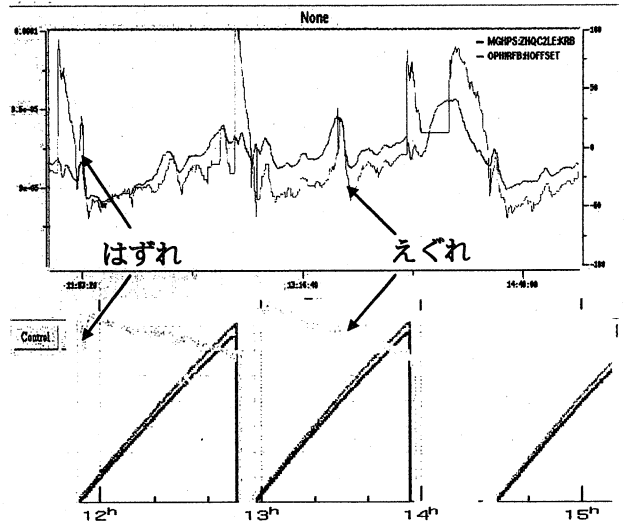


図4 ZEQC2LE:KRB と H Offset 及びLuminosity

3.5 H-Offset Easy Feedback System

3.4の頃より新たにH-offset パネルを作成した。このパネルを用いてZHQC2LE:KRB とH-offset を同時にモニターしながらルミノシティの高い比率を保てるようにZHQC2LE : KRB がプラス方向に動いたらH-offset をプラスにマイナス方向に動いたらH-offset もマイナスにするような調整を実施するようになった。図5は調整時に用いている ZHQC2LE : KRB and H-offset Monitor とH-offset 調整パネルである。

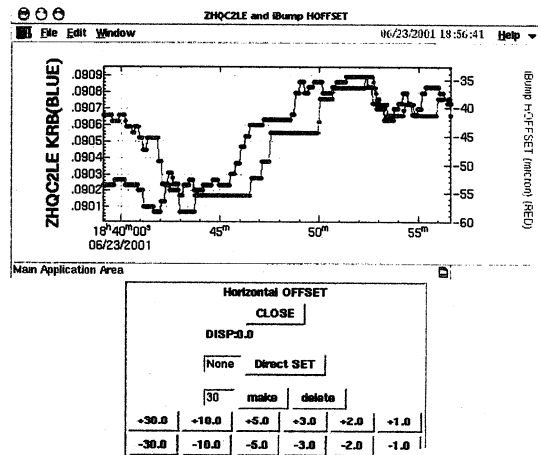


図5 ZHQC2LE : KRB and H-offset Monitor とH-offset 調整パネル

これらを用いて調整を実施することで“えぐれ”や“はずれ”をかなり減らすことが可能となった。しかしこのままでは実験中常にモニターを見てプラスしたりマイナスしたりとH-offset 調整を実施し続けなければならず他の調整が出来ないことになってしまうのでZHQC2LE : KRB 値に一定の比率でH-offset 値を追従できるようなTool (H-Offset Easy Feedback System) を考え作成した。

図6にH-Offset Easy Feedback パネルを示す。実験開始時に最適なH-offset 値を探した後、このFeedback を動作させておくことにより高く安定したルミノシティを維持することが可能となり他の調整を実施する時間を増やすことが出来るようになった。

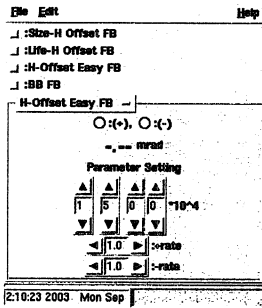


図6 H-Offset Easy Feedback

3.6 H-Offset Beam Size Feedback System と H-Offset Life Feedback System

H-Offset 調整すると Beam Size が変わること注目し 実験中に新たに Feedback に利用するようにした。これは H-offset をプラス方向にすると Beam Size が小さくなり、逆にマイナス方向にすると Beam Size が大きくなる現象を利用したものである。現在のビームサイズをモニターしながら目標とするビームサイズを決め H-offset を調整するものである。ビームサイズは電流依存性が見られ実験を何回か繰り返すことにより最適な値が得られる。電流が少ないときより多いときのほうがビームサイズは大きい。これにより安定したルミノシティの実現を可能にした。

また実験開始直後は LER の life も気にしながら H-offset を調整している。実験開始から数分間は LER の Life が安定しない時がある。安定しているときは良いのだが安定しない時は H-offset をマイナス方向に持って行き過ぎると“えぐれ”を過ぎて突然 Life が減少するのでこの点にも注意して調整しなければならない。しかし調整中は Life 以外のことに注意しなければならないので H-Offset Beam Size Feedback を改良して H-Offset Life Feedback を作成した。現在の Life をモニターしながら目標とする Life 値を決めそれ以下になったら即座に H-offset を調整するものである。この Feedback を動作させておくことにより Life を気にしながらの微妙な調整はしなくてもよくなり安定したルミノシティの実現をさらに可能にした。図7に H-Offset Beam Size Feedback パネルと H-Offset Life Feedback パネルを示す。

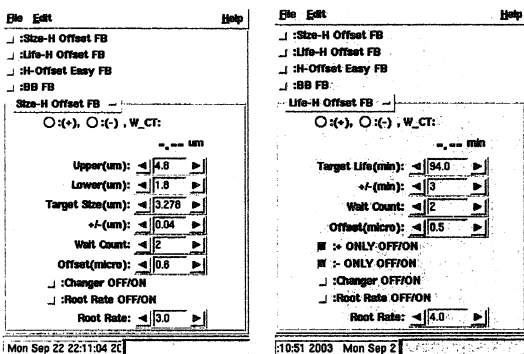


図7 H-Offset Beam Size Feedback と H-Offset Life Feedback

4 EPICS/Python による迅速なアプリケーション開発

4.1 EPICS

KEKB の制御システムは EPICS をベースに構築されている。

EPICS とは加速器や大型測定装置、大型望遠鏡などにつかわれる分散型制御システムを開発するためのソフトウェア開発環境と汎用アプリケーションのセットである。常時 KEKB 加速器を運転をさせる運転員には専門的知識や学習時間が取れないなどの理由で EPICS の理解は難しい。もちろん運転員以外にも専門家はいるが KEKB 加速器の運転員は制御の専門家ではないので運転員が調整中に得たアイデアの実現には非効率的である。

4.2 Python と EPICS/Python

Python は比較的覚えやすく迅速なアプリケーション開発に適した言語である。最近ではアメリカでも流行っており日本でも認知され始めている。

EPICS/Python とは KEK で開発された技術であり EPICS の詳細を知らなくても制御パネルが容易に作成することができる。

4.3 開発例

H-Offset Easy Feedback System や H-Offset Beam Size Feedback System、H-Offset Life Feedback System は運転員のアイデアを元に運転員が EPICS/Python で作成したアプリケーションである。また H-Offset Easy Feedback System や H-Offset Beam Size Feedback System、H-Offset Life Feedback System を同時に動作させることにより職人技に近い調整が可能となり現在の $1 \times 10^{34}/\text{cm}^2/\text{s}$ を超えるルミノシティでもこの Feedback System が使用可能であることがわかった。この他にもルミノシティ調整用や加速器運転支援用に作成されたアプリケーション [4] も多数存在している。

5 まとめ

iBump Feedback の調整方法について問題点を改善し新しい調整方法を検討、改善してきたことにより $1 \times 10^{34}/\text{cm}^2/\text{s}$ を超えるルミノシティでも安定したルミノシティの持続を実現することが可能となった。また EPICS/Python による迅速なアプリケーション開発は運転員が調整中に得たルミノシティ調整のアイデアを実現するのにかなり有効であったと思われる。最後に今後もこれらに満足することなく新たな調整方法を模索して世界一の性能の KEKB 加速器に貢献していきたいと思う。

6 謝辞

本論文を書くにあたり、運転調整にご助言、ご指導を頂いている KEKB コミッショニンググループの方々並びに各関係者の方々にお礼申し上げます。

参考文献

- [1]KEKB B-Factory Design Report,KEK Report 95-7(1995)
- [2]M.Masuzawa, et.al., “IP ORBITAL FEEDBACK FOR COLLISION TUNING AT KEKB”, Proceedings of EPAC2000,June2000.
- [3]N.Iida,et.al.,”Luminosity Optimization by Controlling a Beam Size Ratio at KEKB” ,Proceedings of HEACC2001,March,2001
- [4]K.Yoshii,et.al., “THE OPERATOR-DEVELOPED USEFUL TOOLS AT KEKB ACCELERATOR”,to be published in Proceedings of WAO2003,March 10-14,2003.