

パルスステアリング磁石用バイポーラ電源

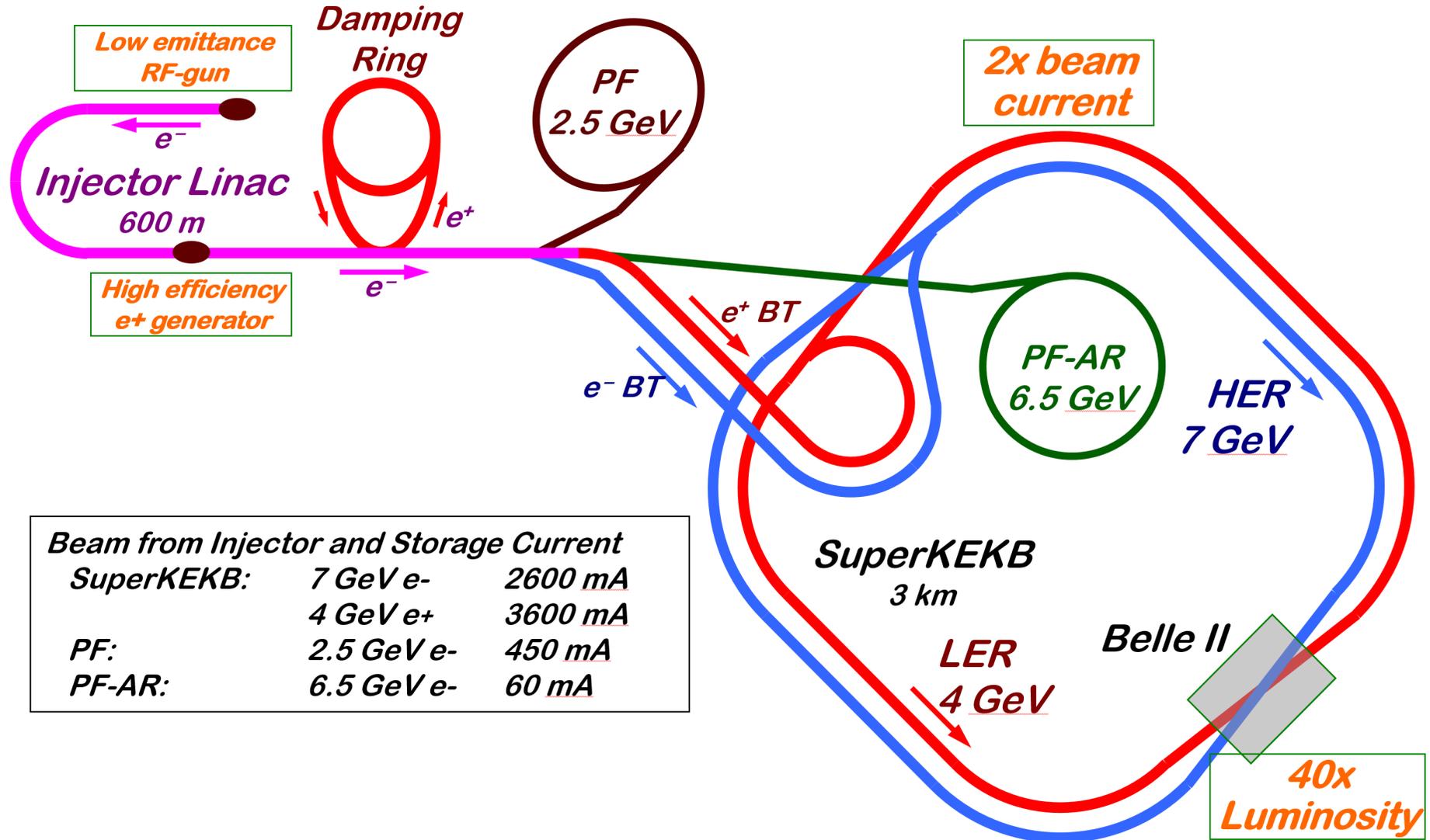
榎本嘉範（高エネ研）

要旨

KEK電子陽電子入射器では約70台のパルスステアリング電源を運用している。このマグネットを駆動するためのバイポーラパルス電源は、2017年より運用している15V 10Aタイプのもの及び2021年秋より導入予定の80V 20Aタイプのものがある。いずれもパワーオペアンプを用いた回路で電流フィードバック制御構成となっているが、80V 20Aタイプに関しては、これまでの回路構成を踏まえつつ、並列化、モニター回路の更新などの改良を行っている。本発表では2種類の電源を比較しつつ、回路構成、性能評価試験、運用状況等について紹介する



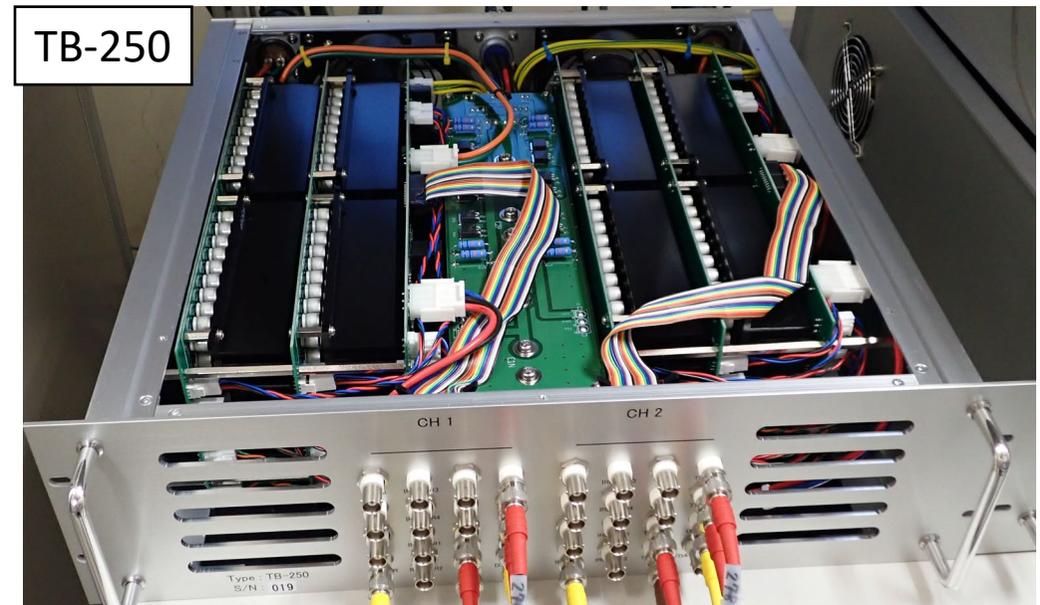
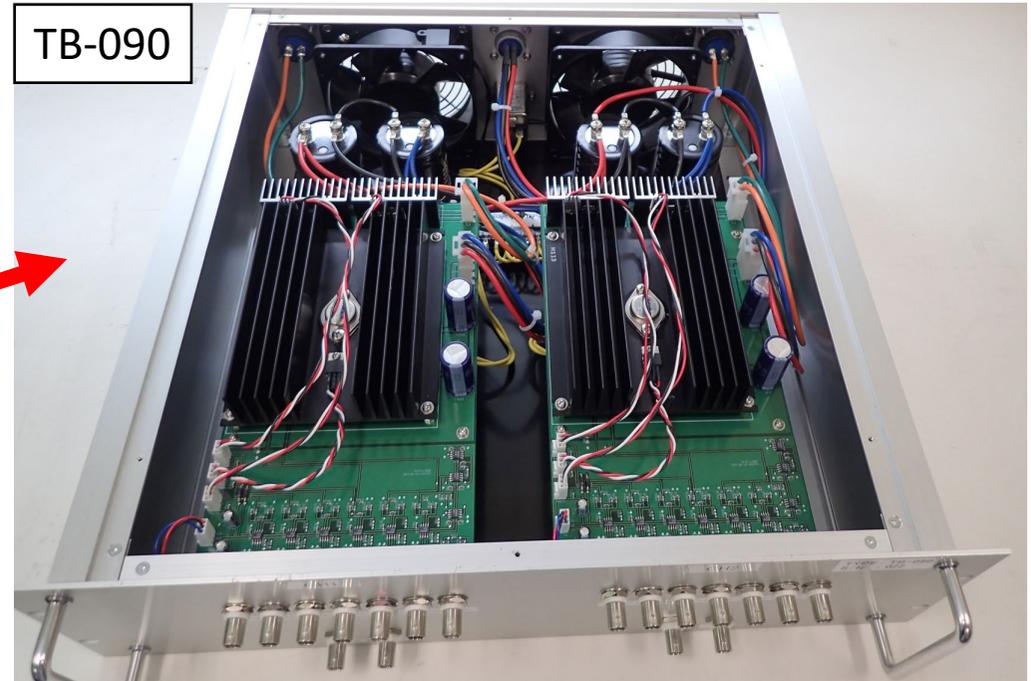
はじめに



KEK電子陽電子入射器では4つのリングへビームを入射
 それぞれのリングが要求するビームのエネルギーは異なる。
 2017年より多数(Q:約30台、ST:約70台)のパルスマグネットを導入し、入射先に合わせて1パルス
 (20 ms)毎にマグネットの電流値を変更



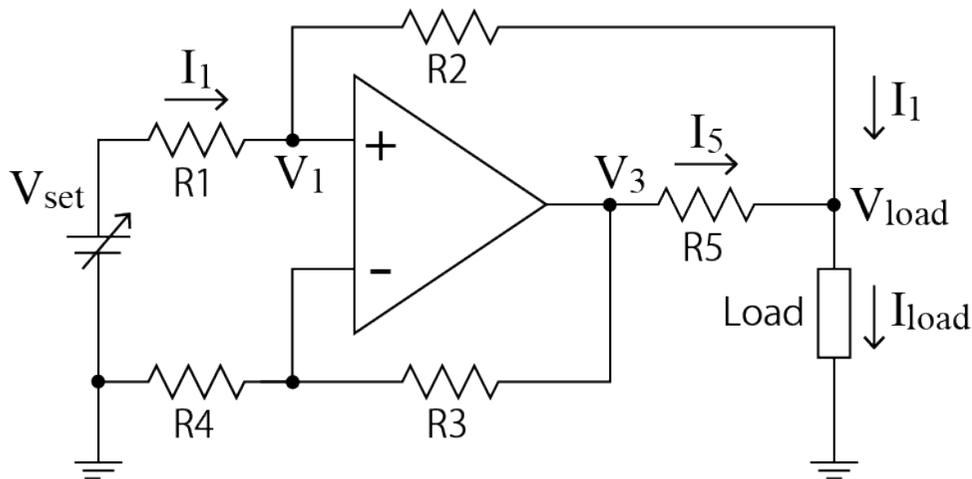
パルスマグネットシステムとバイポーラ電源



1 unitは8 ch出力構成 (Quad 4 ch, Steering 4ch)
パルス電源の他に
制御系
インターロックユニット
DC電源
などからなる



パワーオペアンプと電流フィードバック回路



- オペアンプを用いた増幅回路は通常電圧フィードバック
 - 定電流運転が前提となる電磁石電源制御には適さない
 - 並列化による電流増強には適さない。
- 上記回路は右の説明の通り負荷に流れる電流(I_{load})が入力電圧(V_{set})に比例する

R_1 を流れる電流を考えると

$$I_1 = \frac{V_1 - V_{set}}{R_1} \quad (1)$$

オペアンプの入力に電流は流れ込まないので、この電流は R_2 を通って Load へ流れるから

$$I_1 = \frac{V_{load} - V_1}{R_2} \quad (2)$$

(1)と(2)から I_1 を消去すると

$$V_1 = \frac{R_1 V_{load} + R_2 V_{set}}{R_1 + R_2} \quad (3)$$

一方反転入力端子の電圧が V_1 であることより

$$V_1 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_3 \quad (4)$$

(3)と(4)から V_1 を消去すると

$$R_2 V_{set} = \frac{R_1 + R_2}{R_4 + R_3} R_4 V_3 - R_1 V_{load} \quad (5)$$

ここで

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R \quad (6)$$

とすると(5)より

$$V_{set} = V_3 - V_{load} \quad (7)$$

また

$$I_5 = \frac{V_3 - V_{load}}{R_5} = \frac{V_{set}}{R_5} \quad (8)$$

したがって

$$I_{load} = I_1 + I_5 = \frac{V_1 - V_{set}}{R} + \frac{V_{set}}{R_5} \quad (9)$$

$I_1 \ll I_5$ となるように R, R_5 をえらべば

$$I_{load} \approx \frac{V_{set}}{R_5} \quad (10)$$



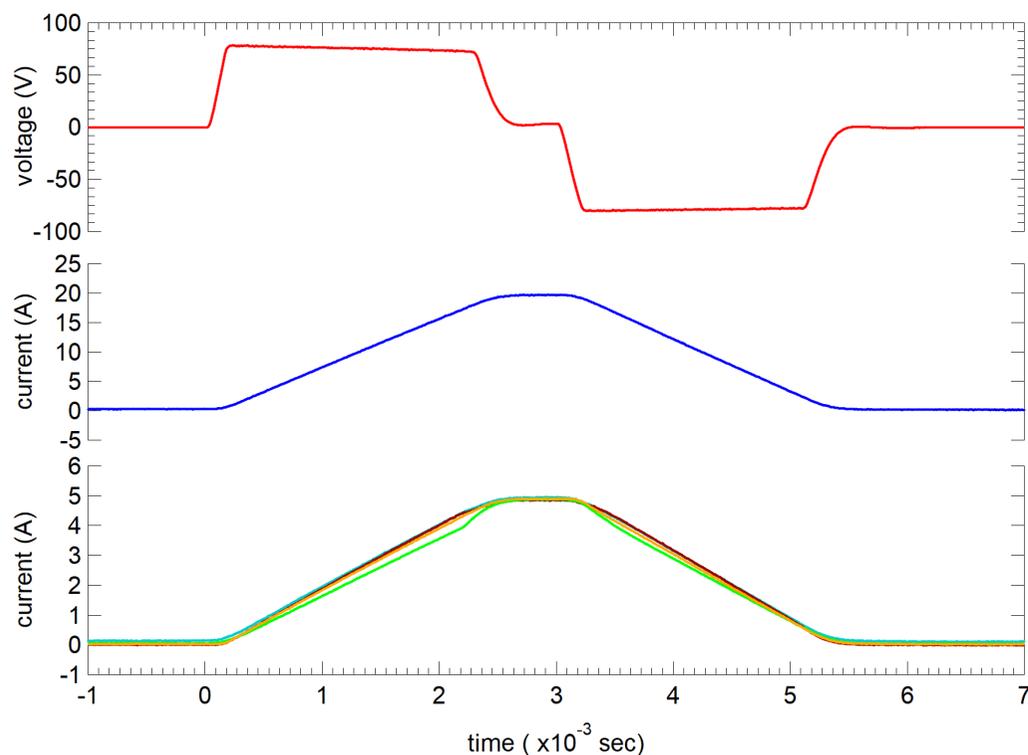
2種類のバイポーラ電源諸元

型番	TB-090	TB-250
開発時期	2017	2021
運用数 (ch)	42	31 (2021秋より)
使用opamp	PA12 (apex)	PA04 (apex)
入力電源電圧	± 40 V	± 90 V
並列数	1	4
出力電流	± 10 A	± 20 A (4 x 5 A)
フィードバック抵抗	1 Ω (caddock, MP825)	0.2 Ω (各アンプ毎) (caddock, MP9100)
モニター	1 Ω (caddock, MP825)	DCCT (Danisense, DP50IP)
出力電圧@max出力電流	40 (電源電圧) -10 (フィードバック抵抗) -10 (モニター抵抗) -5 (opamp出力特性) = 15 V	90 (電源電圧) -1 (フィードバック抵抗) -7.5 (opamp出力特性) = 81.5 V
対応負荷インダクタンス	3 mH	12 mH

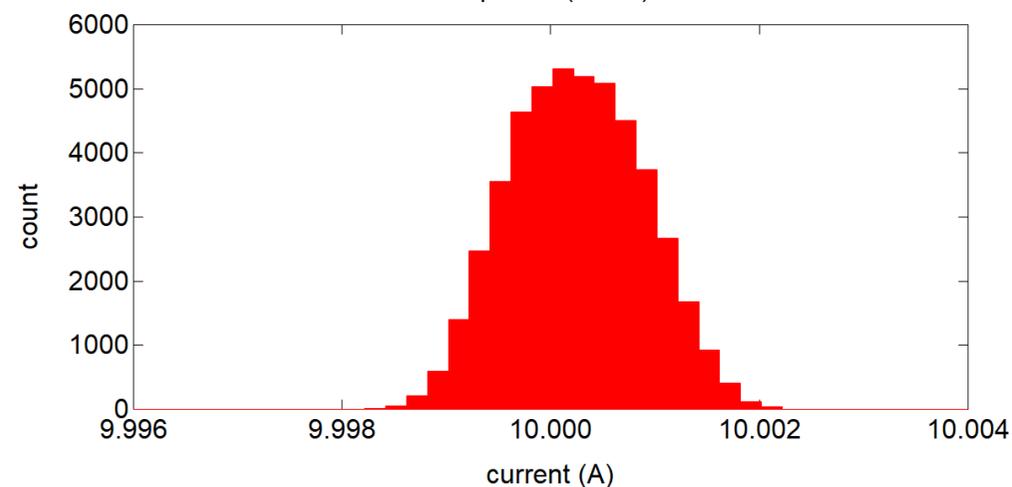
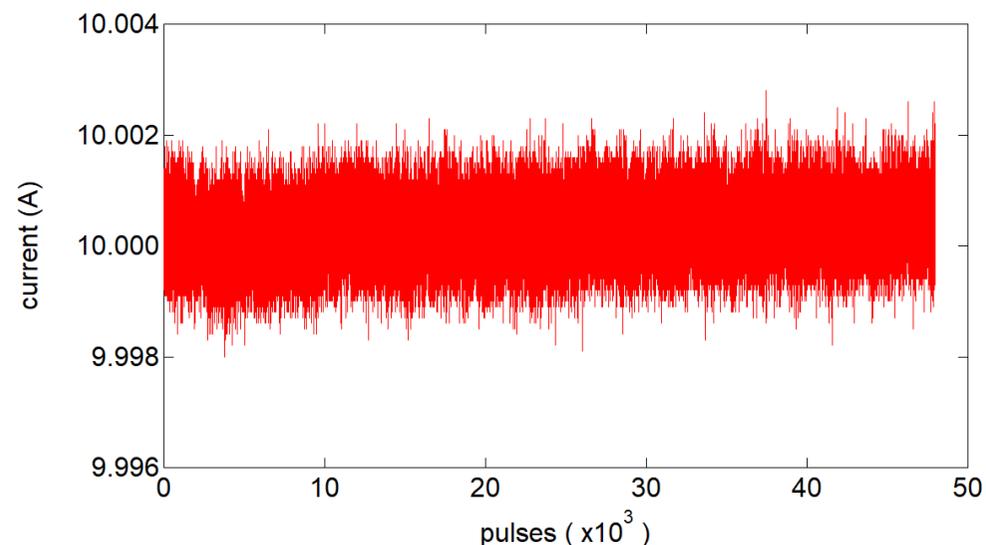
- 2017年よりTB-090型を運用
- より高いインダクタンス、高い定格電流の電磁石に対応するため改良型のTB-250を開発
- 回路の4並列化、使用opampの変更、モニターを抵抗からDCCT変更、フィードバック抵抗の値変更により、これまでの4倍のインダクタンスの負荷に2倍の電流を流せるようになった



性能評価試験 (TB-250)



10 mHの負荷に20 A出力した時の
電圧波形 (上)
電流波形 (中)
各chごとの電流波形 (下)



Mean	10.000 281 A
Std.	641 uA (16 ppm for ± 20 A full scale)
min	9.998 000 A
max	10.002 800 A
entry	47961

10 A出力時の繰り返し安定性



summary

- 2017年よりパルスマグネットシステムを導入し4リング同時入射を開始
- ステアリング磁石用バイポーラ電源はパワーオペアンプを使った電流フィードバック回路を採用
- より大きなインダクタンスかつ高い定格電流の磁石に対応するために回路の並列化、モニター部電圧降下の見直しなどを行った改良型電源(TB-250)を開発
- 改良型電源は2021年より31 ch運用予定

