

# Timing System

大西 幸喜

梶、佐々木、杉村、工藤<sup>\*1</sup>、飯塚<sup>\*2</sup>、  
古川、佐藤、宮原、中村、草野<sup>\*1</sup>、早乙女<sup>\*3</sup>

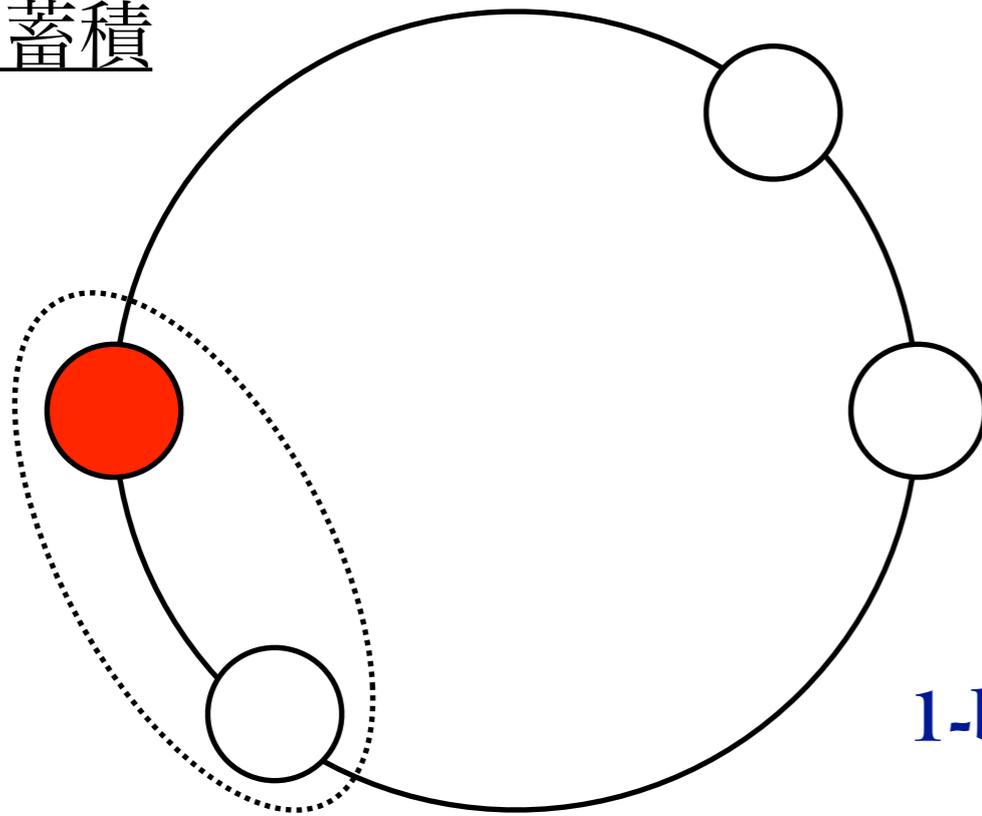
<sup>\*1</sup>三菱SC、<sup>\*2</sup>東日本技術研究所、<sup>\*3</sup>関東情報サービス、KEK

1. DRのビーム蓄積時間 (1パルス/2パルス蓄積)	<b>TRL 4</b>
2. DRキッカーにおける"15 ms"前のpre-trigger	<b>TRL 4</b>
3. LER 25Hz入射とPF1 Hz入射の共存入射パターン	<b>TRL 6</b>
4. KBPの3種類のモード (KBP、KBPU、KBPD)	<b>TRL 4</b>
5. ビームゲートとDRおよびLERのセプタムとキッカーのenable/disable	<b>TRL 4</b>
6. LERアボート時の出射セプタムと出射キッカーの即時停止	<b>TRL 6</b>
7. LERアボート後のDRビームの取り出し	<b>TRL 3</b>

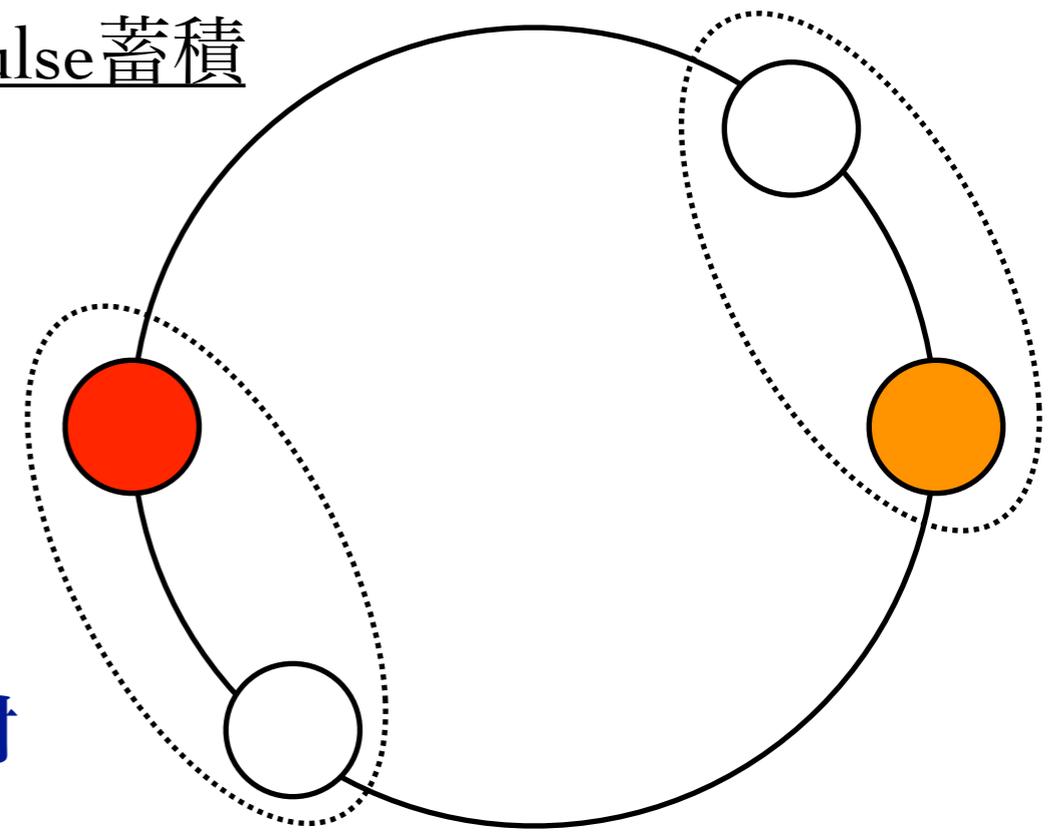
## Technology Readiness Level

9	実用化
8	実機試験 (長期)
7	実機試験 (予備)
6	プロトタイプ
5	ベンチ テスト
4	詳細設計
3	暫定的設計
2	概念設計
1	基本方針

1 pulse蓄積

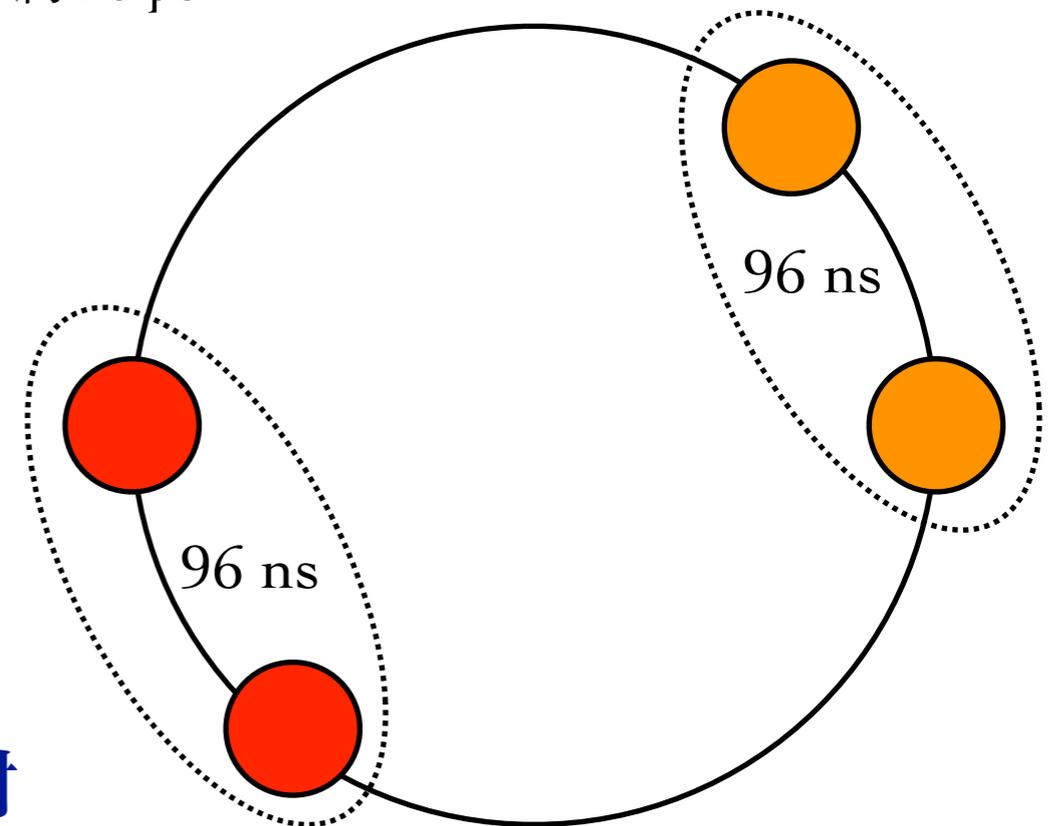
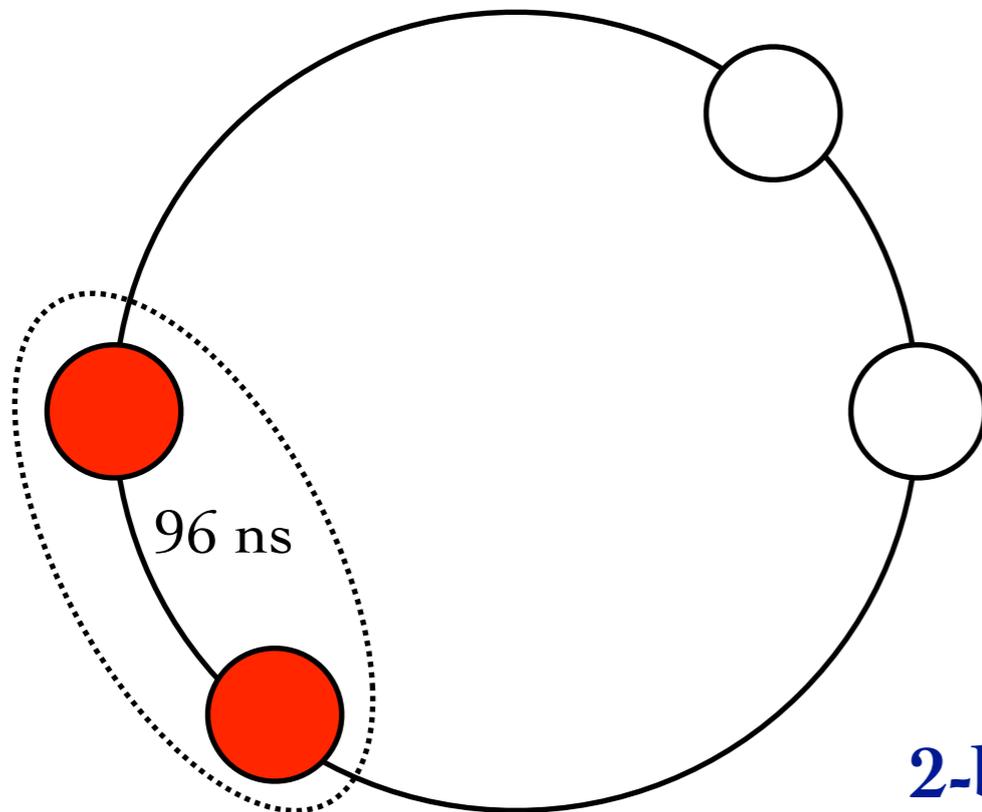


2 pulse蓄積



1-bunch入射

出射後入射までの時間：約 $2.5 \mu\text{s}$



2-bunch入射

10.385 MHz	1
114.24 MHz	11
508.89 MHz	49
571.2 MHz	$5 \times 11 = 55$
2856 MHz	$5 \times 5 \times 11 = 275$

	harmonic number
DR	230
MR	5120
最大公約数	10

46 = 23 x 2としたのは、  
 $T_{50\text{Hz}} > 20\text{ms}$ とするため (ハードの都合)

$$C_{MR} = 3016.332 [m] \quad (\text{実測})$$

$$f_0 = 99.390 [kHz] \quad (\text{MR}) \quad T_0 = 10.0614 [\mu s]$$

$$f_{50\text{Hz}} = f_0 / 49 / 46 = 44.095 [Hz] \quad T_{50\text{Hz}} = 22.68 [ms]$$

$$f_0 h = 10.385 [MHz] \times 49 \quad \swarrow \text{EVG(ACIN:最上流)}$$

$$\searrow \text{x11} = 114.24 \text{ MHz} : \text{EVG(RFIN)}$$

セプタムとキッカー以外は、信号垂れ流し

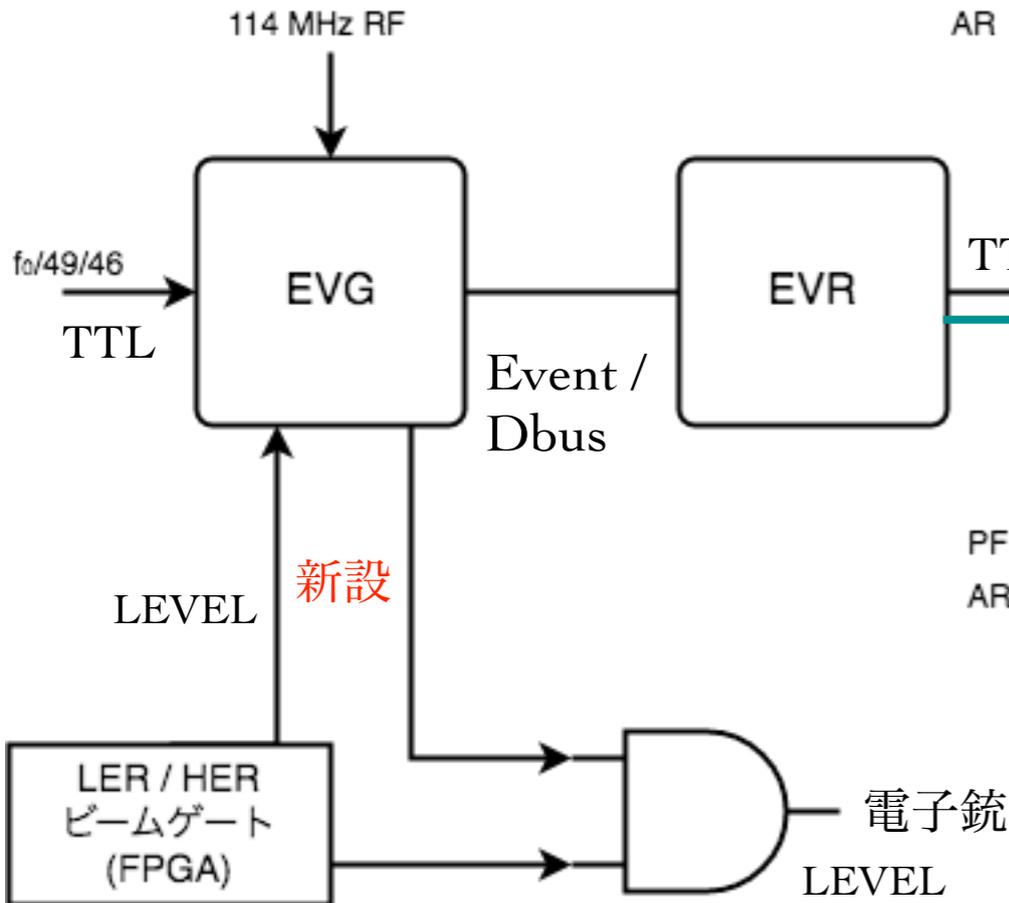
LERアボート後などのDR蓄積ビーム  
取り出しは別途考える必要あり

入射スケジュールを管理

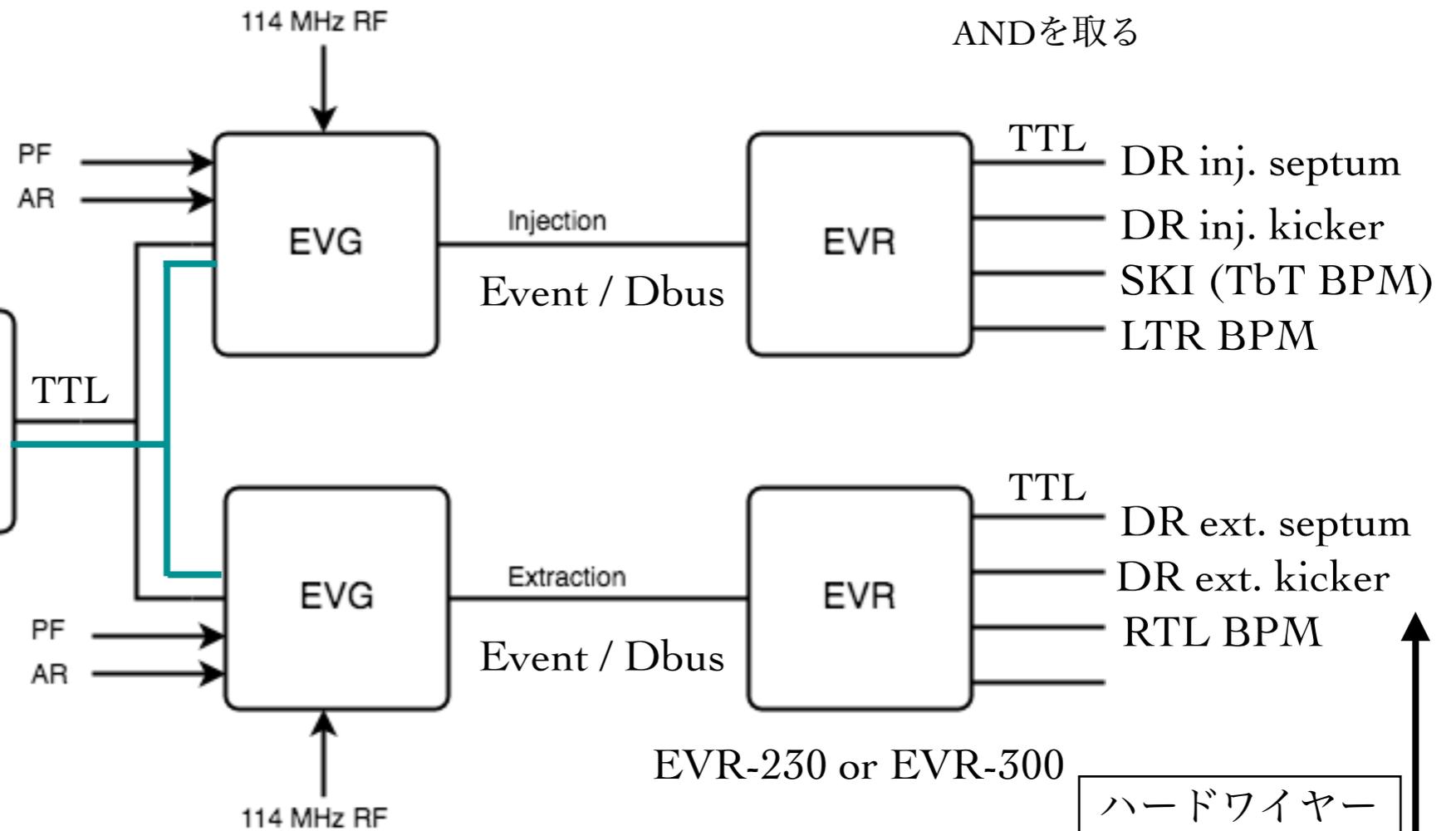
Bucket Selection delayを管理

## IOCTMLC8

Beam Gate信号の分配: 50 Hzで割り込み



ビーム出し始めと終わりを制御



ANDを取る

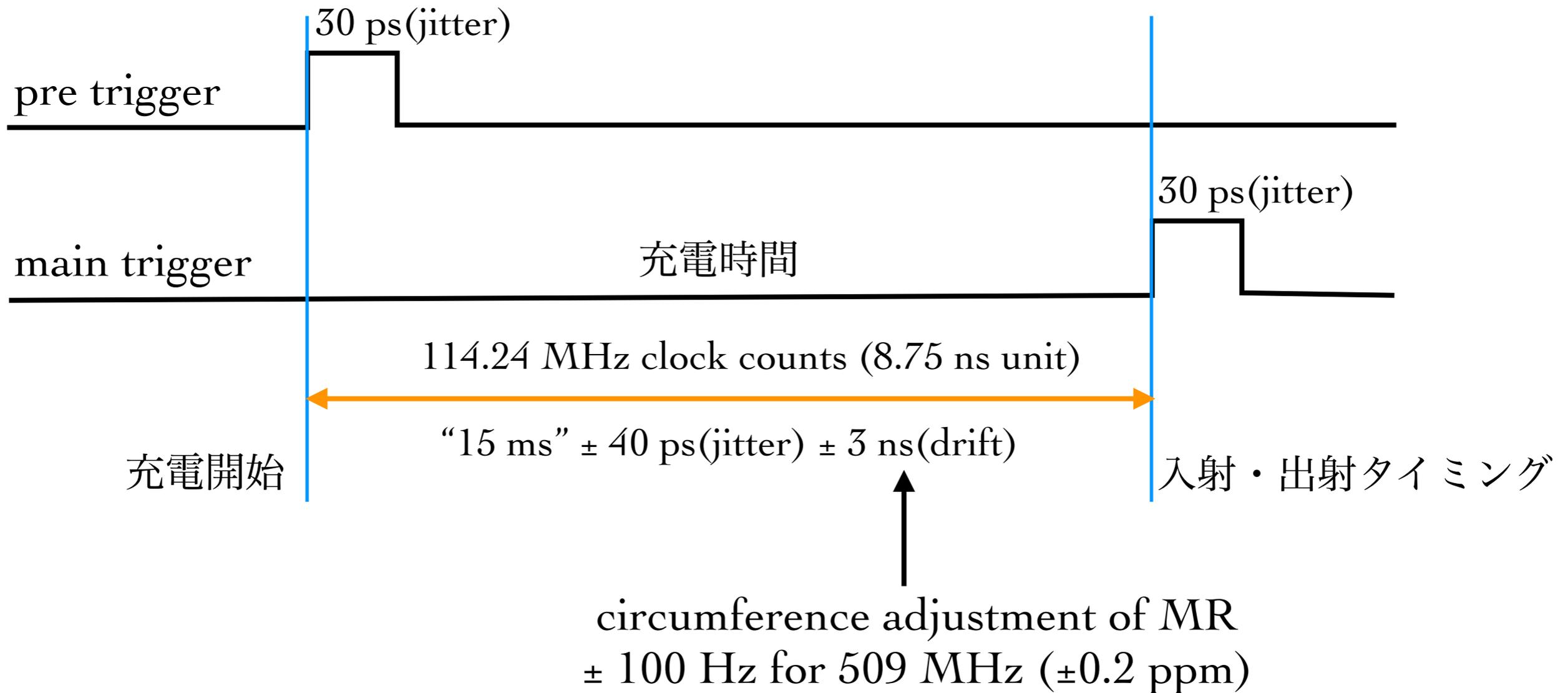
EVR-230 or EVR-300

Bucket Selectionでsequenceを止める (program).



Dump mode(BTp, SY2)を考慮

Timing systemからは、preとmainの両トリガー(TTL)を供給  
delayも装備. (最小ステップ0.4 ns, 3ch/EVR)



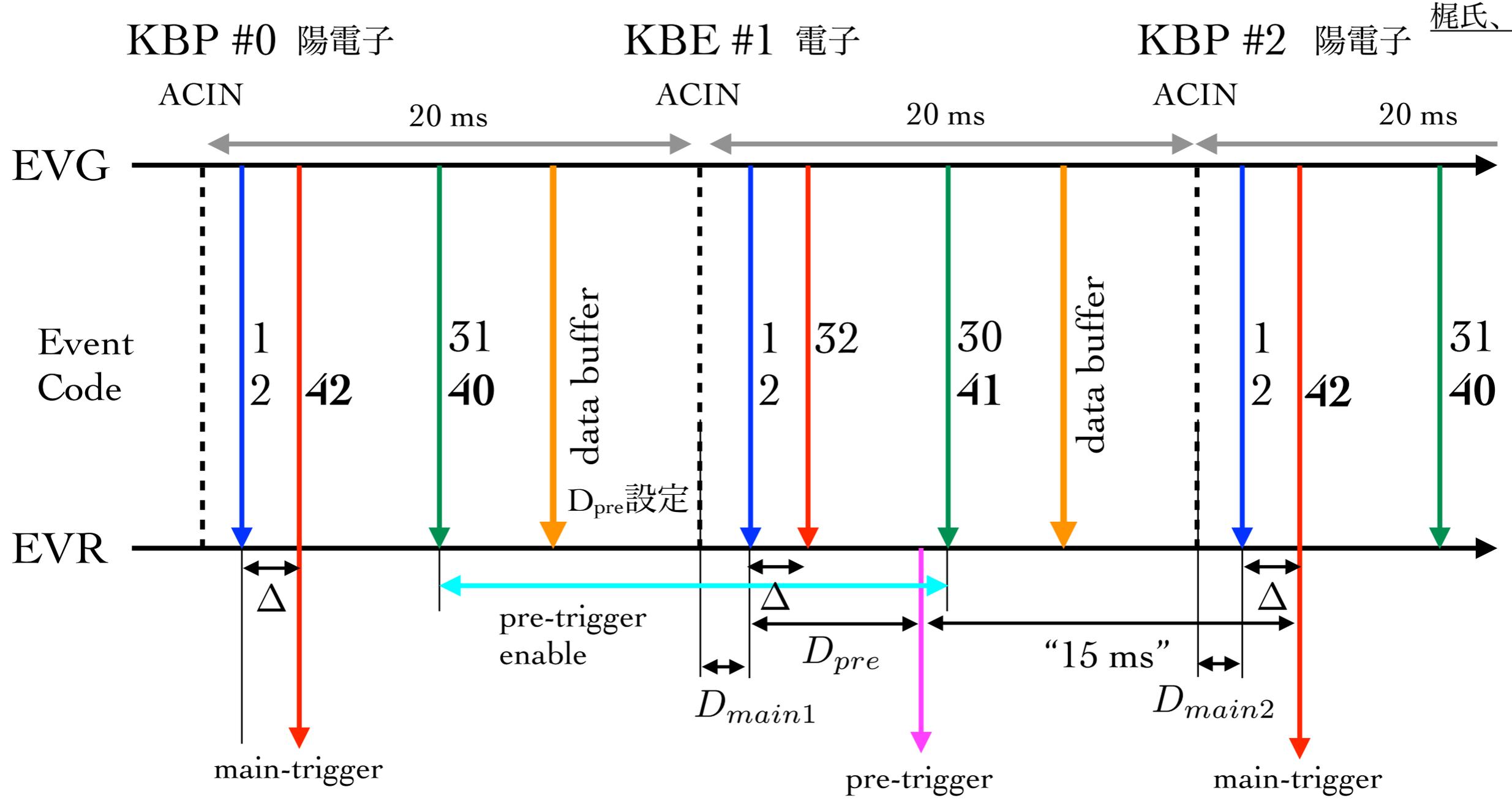
Thyratron の jitter は、1~5 ns

± 30 ps(jitter) << 1 ns

充電時間の要求精度は、10~20 μs\*

± 40 ps(jitter) ± 3 ns(drift) << 10 μs

\* 2017年1月13日DR kicker timing打ち合わせメモ参照



イベントコード	10の位	0	1	2
電子	3	準備	準備イベント	main
陽電子	4	準備イベント		トリガー発生

イベント(1,2)がタイミングを決定する。

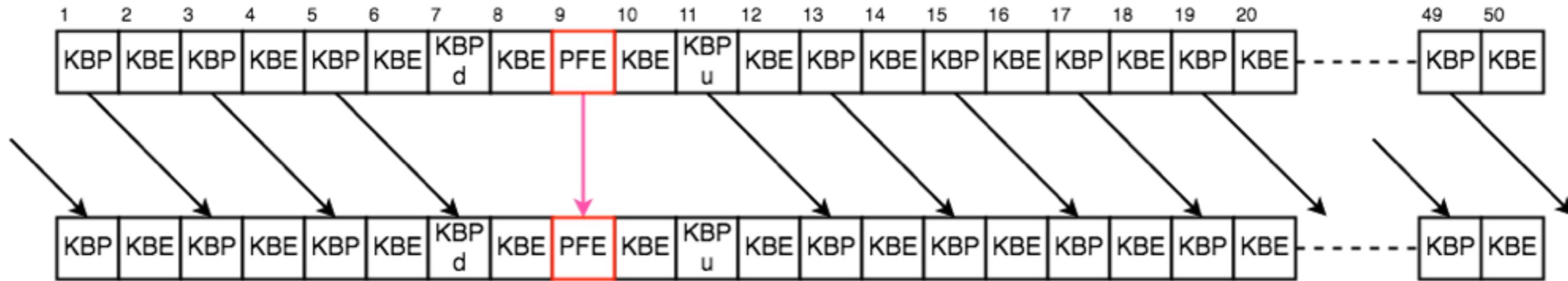
$$D_{main1} + D_{pre} + 15 = 20 + D_{main2} + \Delta$$

$$D_{pre} = D_{main2} - D_{main1} + 5 + \Delta \quad (\Delta \text{は固定})$$

LER入射23 Hz, PF入射1 Hz, HER入射25 Hz

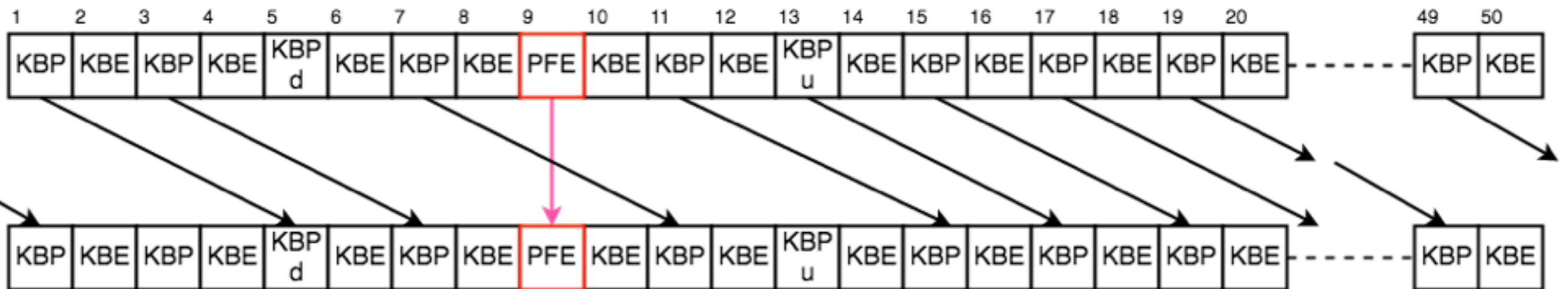
工藤氏

“25Hz”,  $T_{store}=40$  msec



PFについては偶然の  
同期タイミング

“25Hz”,  $T_{store}=80$  msec



- (1) KBP: DR入出射とLER入射のパルス磁石を稼働、ビームは電子銃から出す。
- (2) KBPd: DR出射とLER入射のパルス磁石のみ稼働、ビームを電子銃から出さない。
- (3) KBPu: DR入射のパルス磁石のみ稼働、ビームは電子銃から出す。

前提：PFEとAREは連続しない、KBPも連続しない。

KBPの場所にPFEを入れれば、必ずKBPの前はKBEである。

今、奇数番をKBPが占有するとすると、KBEは偶数番である。

$2n+1$  ( $n=3\sim 22$ )番目にPFEを入れるとすると、

(1)  $T_{store} = 40$  msecの場合、 $2n-1$ 番目にKBPd、 $2n+3$ 番目にKBPuを配置すればよい。

(2)  $T_{store} = 80$  msecの場合、 $2n-3$ 番目にKBPd、 $2n+5$ 番目にKBPuを配置すればよい。

$$T_{store} = \text{Min}(n_{pulse}T_{rep}, T_{max})$$

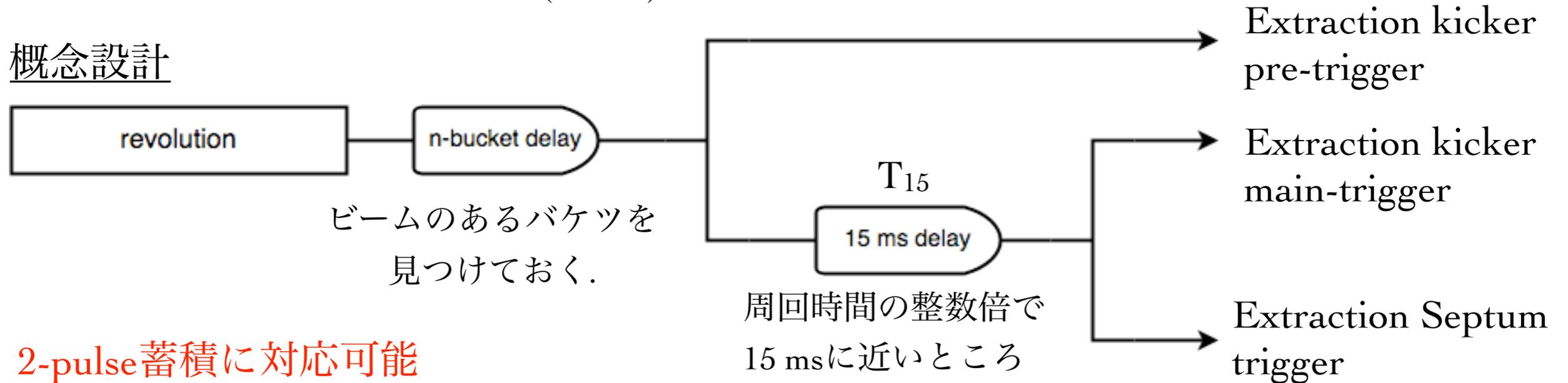
$$T_{rep} = 1/f_{rep}$$

全ての変数は、あらかじめ与えられる。

DRに蓄積するパルス数( $n_{pulse}$ )を、EPICSレコードのPV値として保持する。

RTL下流のビームシャッター(BSS1)を入れた後に出射する。

## 概念設計



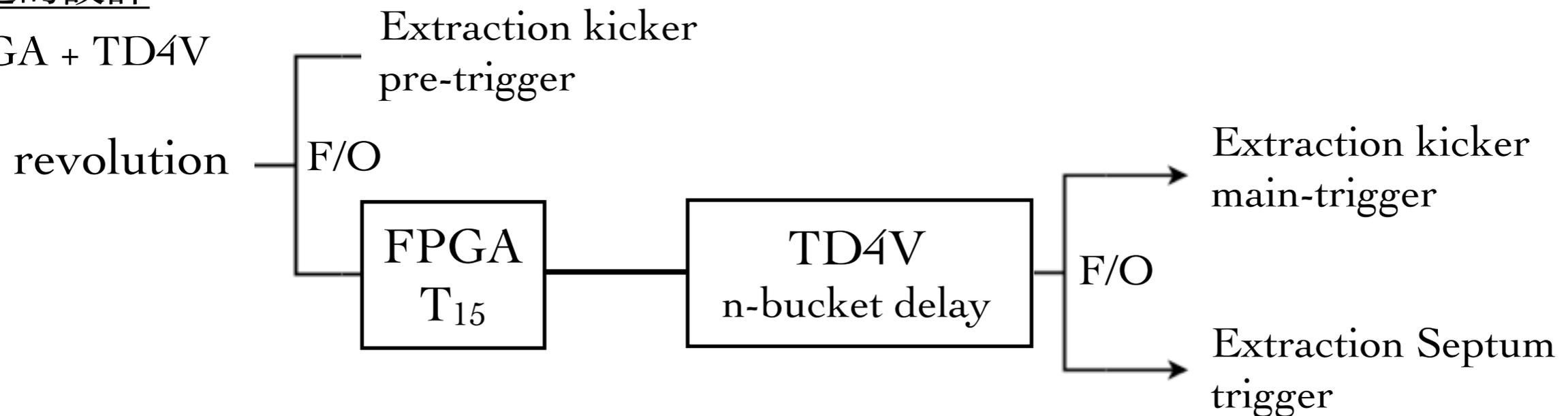
2-pulse蓄積に対応可能

$$f_{RF} = h f_0 \quad h = 230 \quad f_{RF} = 509 \text{ MHz} \quad T_0 = \frac{1}{f_0} \simeq 452 \text{ nsec}$$

$$T_{15} = m \times T_0 \quad m \simeq 33196$$

## 暫定的設計

FPGA + TD4V



- MR入射を含むDR入射・出射タイミング・システム全体の設計図は完成. DRの要求仕様を満たしている.
- 設計図をもとに、仕組みを具体化する作業を開始する.
- 9月から、開発作業および順次試験を開始する.
- 準備イベントの発生タイミングを調整する必要があるが、充電時間に依存する.“15 ms”は暫定値なので、9月中旬には確定希望.
- 入射器のRF電子銃、パルス・マグネットの試験とスケジュール調整を行いつつ進める.

# Appendix

$$T_{store} = \text{Min}(n_{pulse}T_{rep}, T_{max})$$

## Step 1

$n_{pulse}$ はオペレータがPVで指定（EPICSレコード）。

$f_{rep}$ [Hz]	$T_{rep}$ [msec]	$n_{pulse}$	$T_{max}$ [msec]	$T_{store}$ [msec]
50	20	2	2000	40
25	40	2	2000	80
12.5	80	2	2000	160
10	100	2	2000	200
5	200	2	2000	400
1	1000	2	2000	2000

## Step 2

$T_{max}$ の動作試験

$f_{rep}$ [Hz]	$T_{rep}$ [msec]	$n_{pulse}$	$T_{max}$ [msec]	$T_{store}$ [msec]
-	-	-	-	-
25	40	1	200	40
12.5	80	1	200	80
10	100	1	200	100
5	200	1	200	200
1	1000	1	200	200

$$T_{store} = \text{Min}(n_{pulse}T_{rep}, T_{max})$$

## Step 1

Step 2で必要となるRF変調の試験も可能

$f_{rep}$ [Hz]	$T_{rep}$ [msec]	$n_{pulse}$	$T_{max}$ [msec]	$T_{store}$ [msec]
-	-	-	-	-
25	40	1	200	40
12.5	80	1	200	80
10	100	1	200	100
5	200	1	200	200
1	1000	1	200	200

## Step 2

Bucket Selectionの要求に従ってlinac3-5 sectorのRF位相を操作する。

$f_{rep}$ [Hz]	$T_{rep}$ [msec]	$n_{pulse}$	$T_{max}$ [msec]	$T_{store}$ [msec]
50	20	<b>2</b>	200	40
25	40	<b>2</b>	200	80
12.5	80	<b>2</b>	200	160
10	100	<b>2</b>	200	200
5	200	1	200	200
1	1000	1	200	200

$f_0 = 452 \text{ nsec} \rightarrow$  2パルス蓄積だとLERの100 bucketsは自由にならない。

名目	用途	信号の種類	コメント
DR入射セプトム	main trigger	TTL: -106 $\mu$ s, 幅50 $\mu$ s	信号は同期して enable/disable  delay: 8.75 ns step
DR入射キッカー (電源2台)	pre trigger (1)	TTL: -15* ms	
	pre trigger (2)	TTL: -15* ms	
	main trigger (1)	TTL	
	main trigger (2)	TTL	
DRモニター (SKI)	TbT BPM、SRM	NIM / TTL、幅10 ns(10 ps)	delay: 8.75 ns step
LTR BPM	LTR BPM, Wire Scanner	NIM	delay: 8.75 ns step
DR出射セプトム	main trigger	TTL: -106 $\mu$ s, 幅50 $\mu$ s	信号は同期して enable/disable  delay: 8.75 ns step
DR出射キッカー (電源2台)	pre trigger (1)	TTL: -15* ms	
	pre trigger (2)	TTL: -15* ms	
	main trigger (1)	TTL	
	main trigger (2)	TTL	
RTL BPM	RTL BPM, Wire Scanner	NIM	delay: 8.75 ns step

それぞれの出力にはdelay設定ができるようにする。

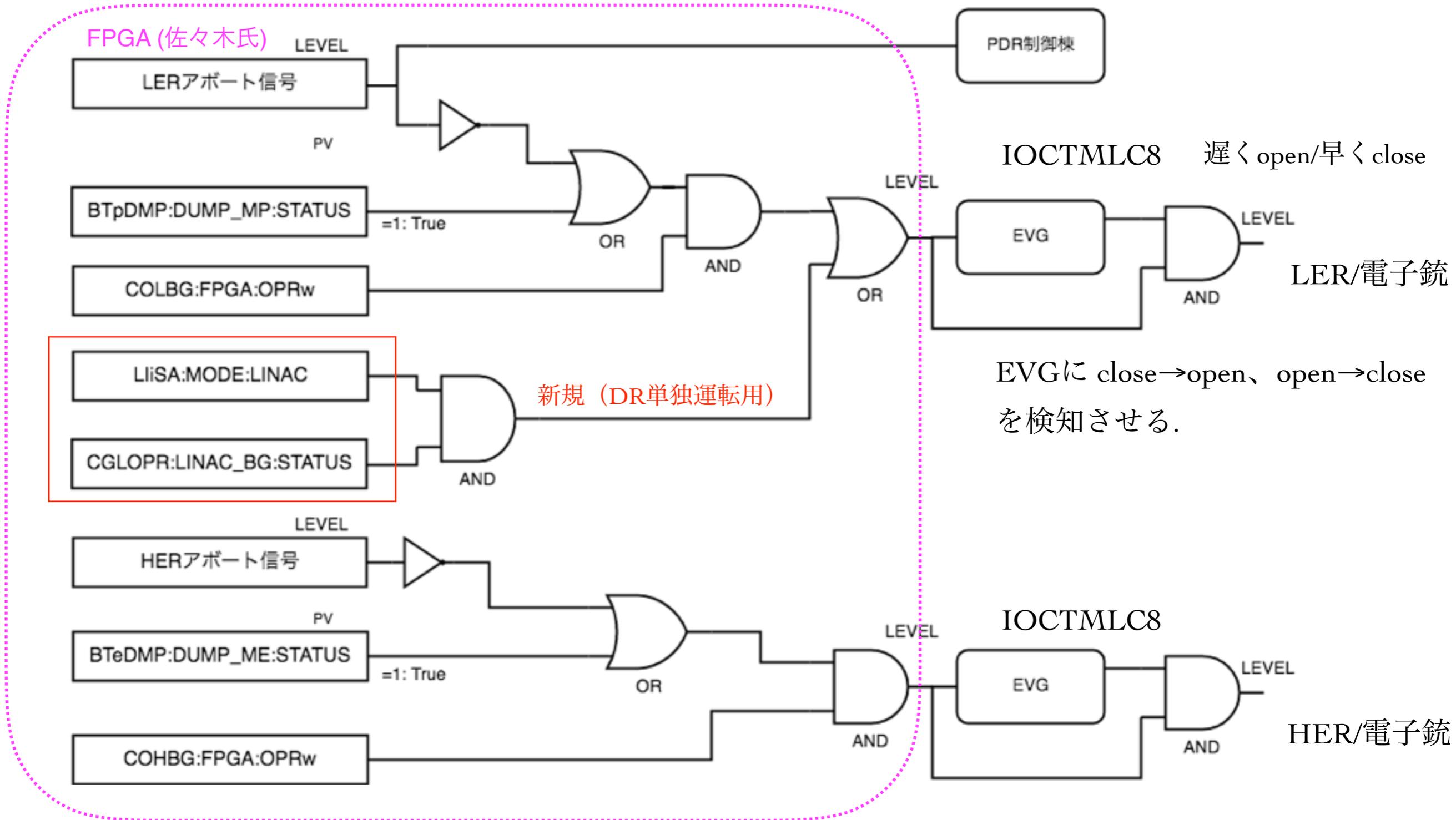
\*暫定値 8月末に決定、()は要求ジッター幅

名目	用途	信号の種類	コメント
入射セプタム	main trigger TM_EV:LER:SEPTUM_MAIN:ENB	NIM	信号は同期して enable/disable
入射キッカー (電源2台)	main trigger A TM_EV:LER:KICKER_A:ENB	NIM	
	main trigger B TM_EV:LER:KICKER_A:ENB	NIM	
垂直キッカー	main trigger TM_EV:LER:VERT_KICKER:ENB	NIM	入射同期
Fastタイミング	各種モニターなど TM_EV:LER:FAST_TIMING:ENB	NIM	入射同期
BTp BPM	BT BPM TM_EV:LER:BT_BPM:ENB	NIM	入射同期
Softwareタイミング	Gated TbT TM_EV:SW_TIMING:ENB	NIM	LER/HER共通

それぞれの出力にはdelay設定ができるようにする。 Delay: 0.1 ns step

名目	用途	信号の種類	コメント
入射セプトム	main trigger TM_EV:HER:SEPTUM_MAIN:ENB	NIM	信号は同期して enable/disable
入射キッカー (電源2台)	main trigger A TM_EV:HER:KICKER_A:ENB	NIM	
	main trigger B TM_EV:HER:KICKER_A:ENB	NIM	
垂直キッカー	main trigger TM_EV:HER:VERT_KICKER:ENB	NIM	入射同期
Fastタイミング	各種モニターなど TM_EV:HER:FAST_TIMING:ENB	NIM	入射同期
BTe BPM	BT BPM TM_EV:HER:BT_BPM:ENB	NIM	入射同期
Softwareタイミング	Gated TbT TM_EV:SW_TIMING:ENB	NIM	LER/HER共通

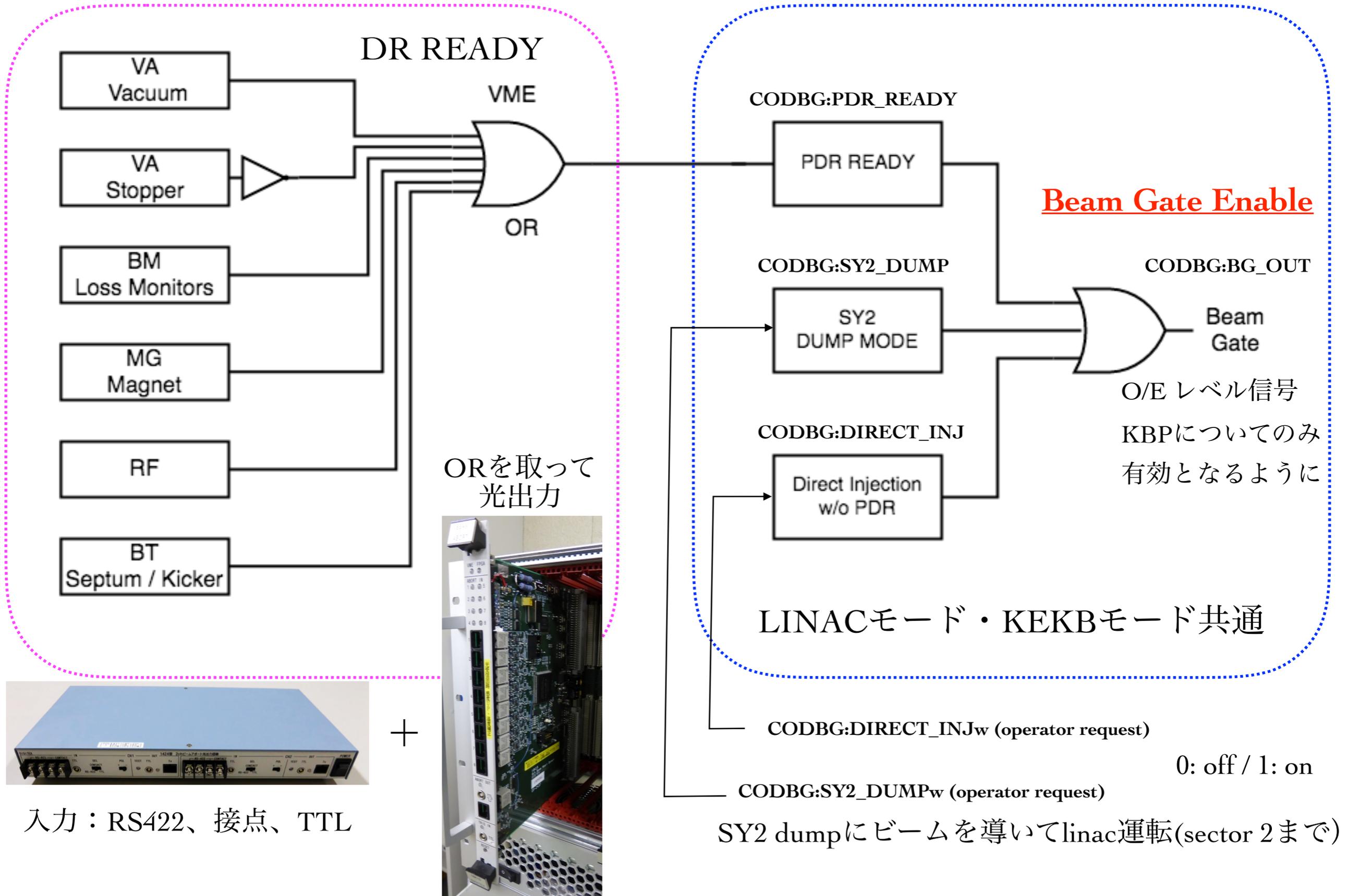
それぞれの出力にはdelay設定ができるようにする。 Delay: 0.1 ns step



linacモードであっても、EVRにopen/closeの情報を与える必要がある。

linacモード場合、非同期でも構わない。DRセプタム/キッカー-enable後 電子銃よりビームON

電子銃ビームWait -> DRセプタム/キッカー-disable

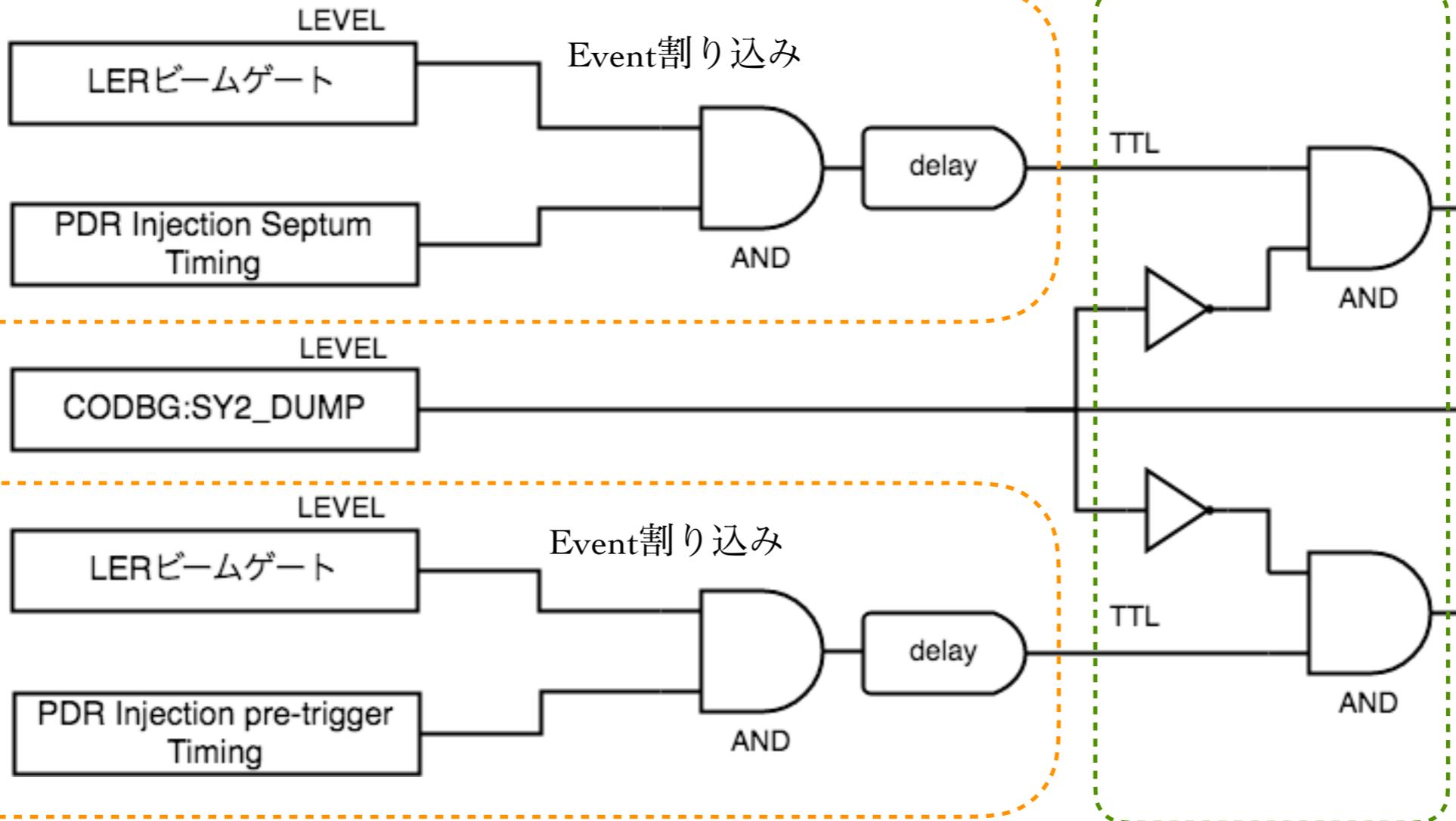


入力：RS422、接点、TTL

+



## Event System



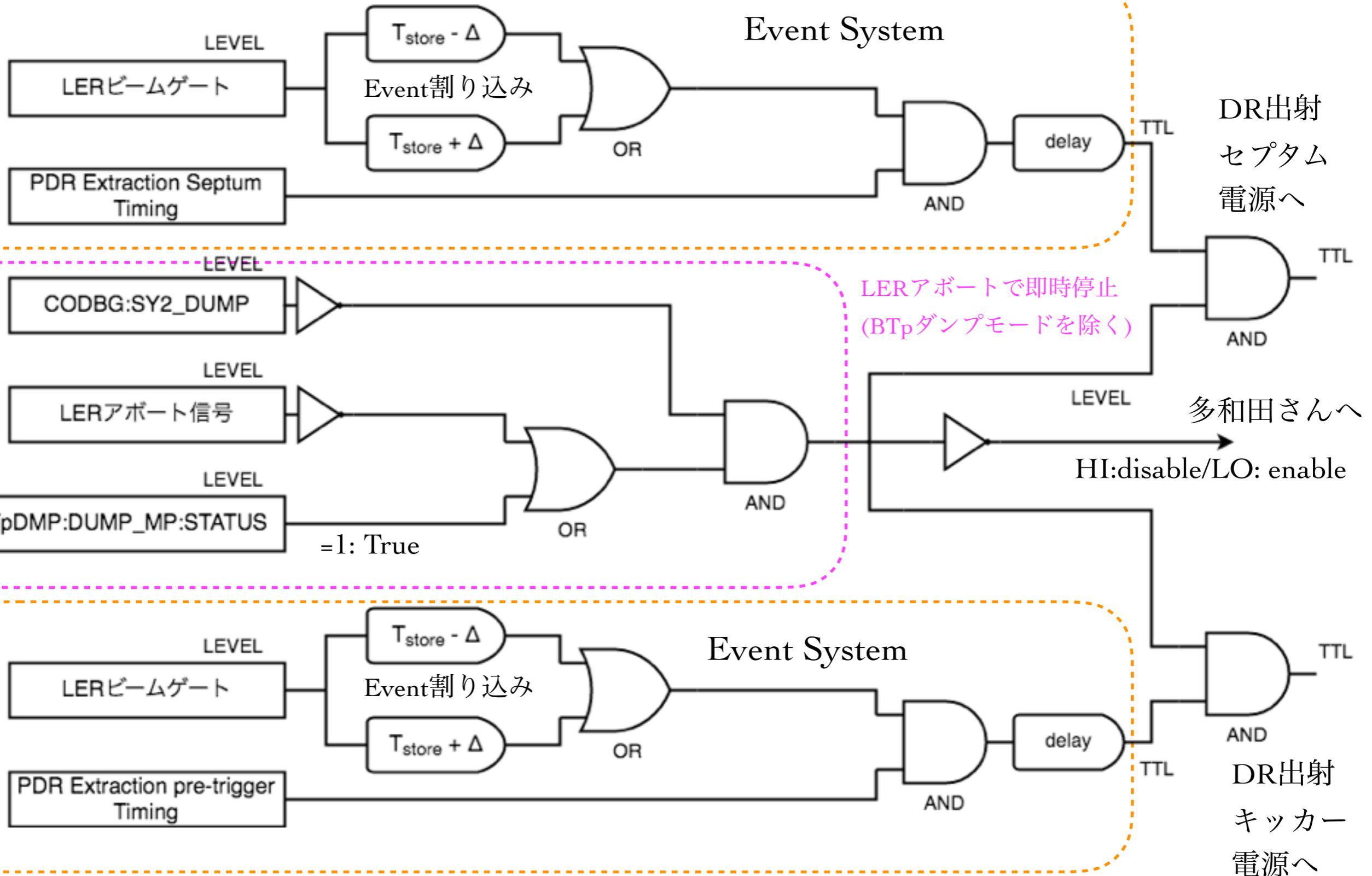
DR入射セプタム  
電源へ

多和田さんへ  
HI:disable/LO:enable

DR入射キッカー  
電源へ

main-triggerも同様

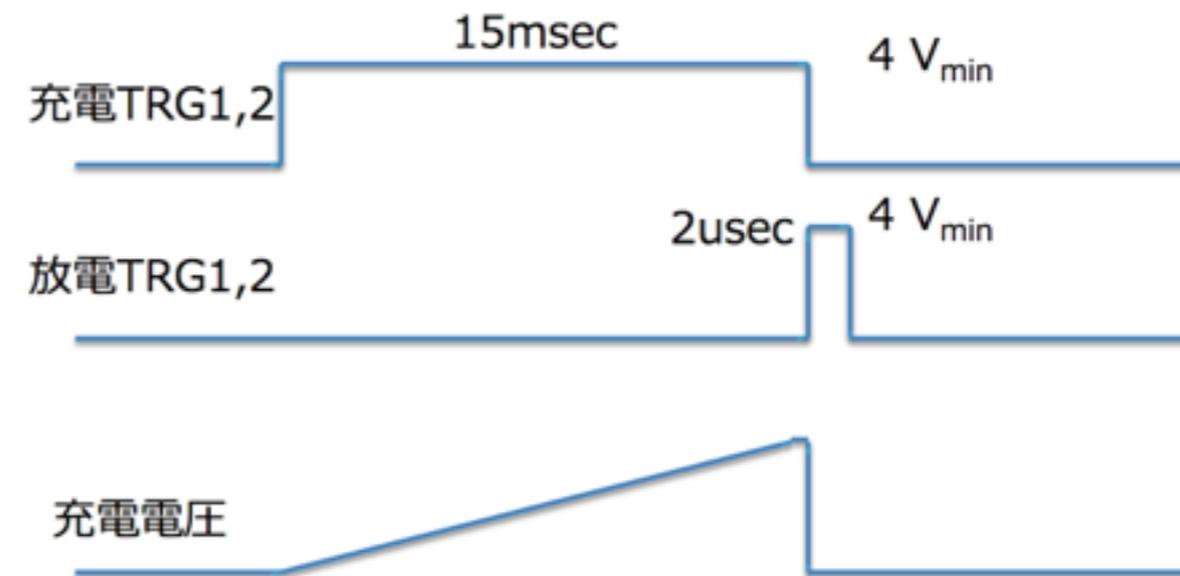
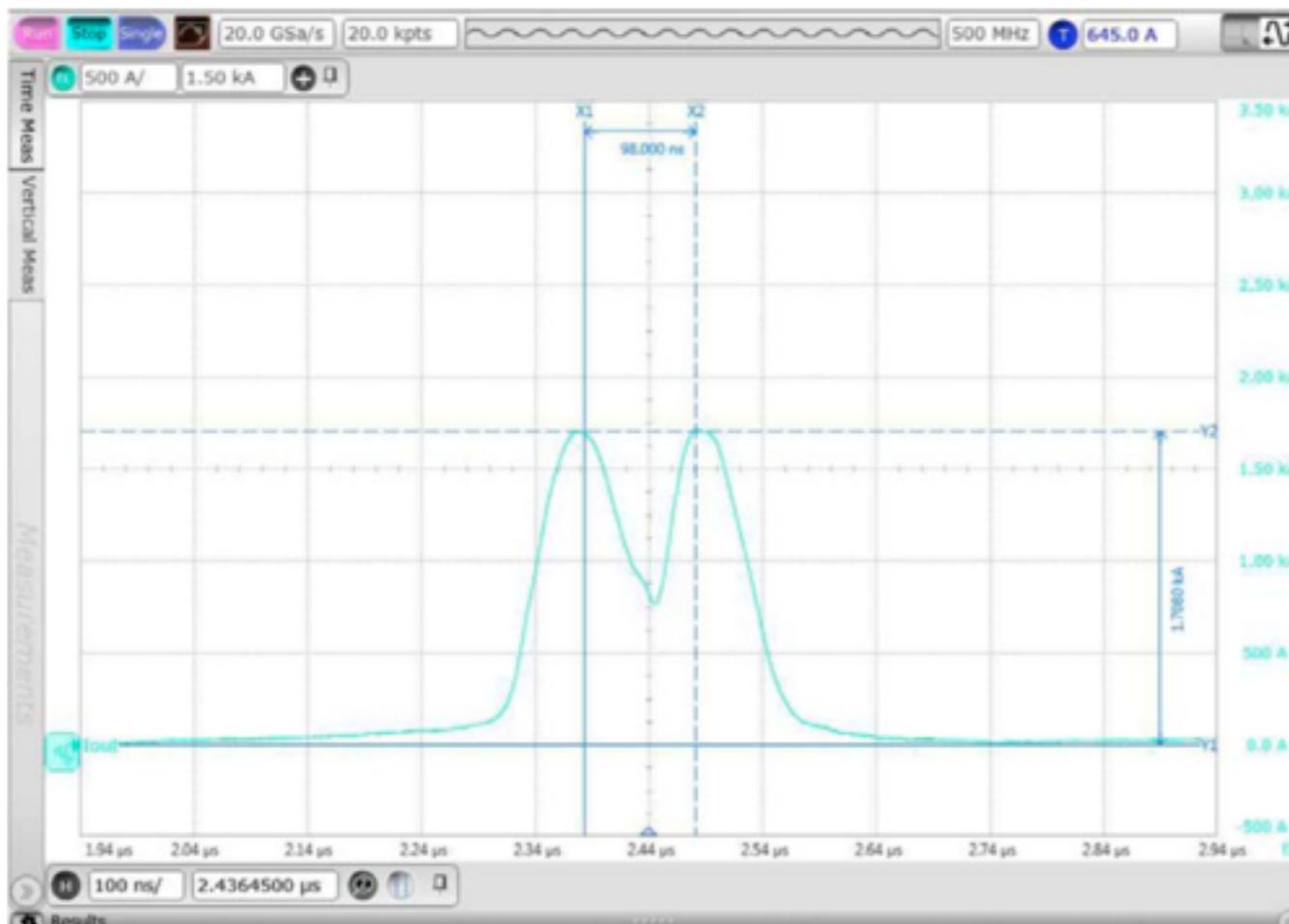
外部ロジック



main-triggerも同様

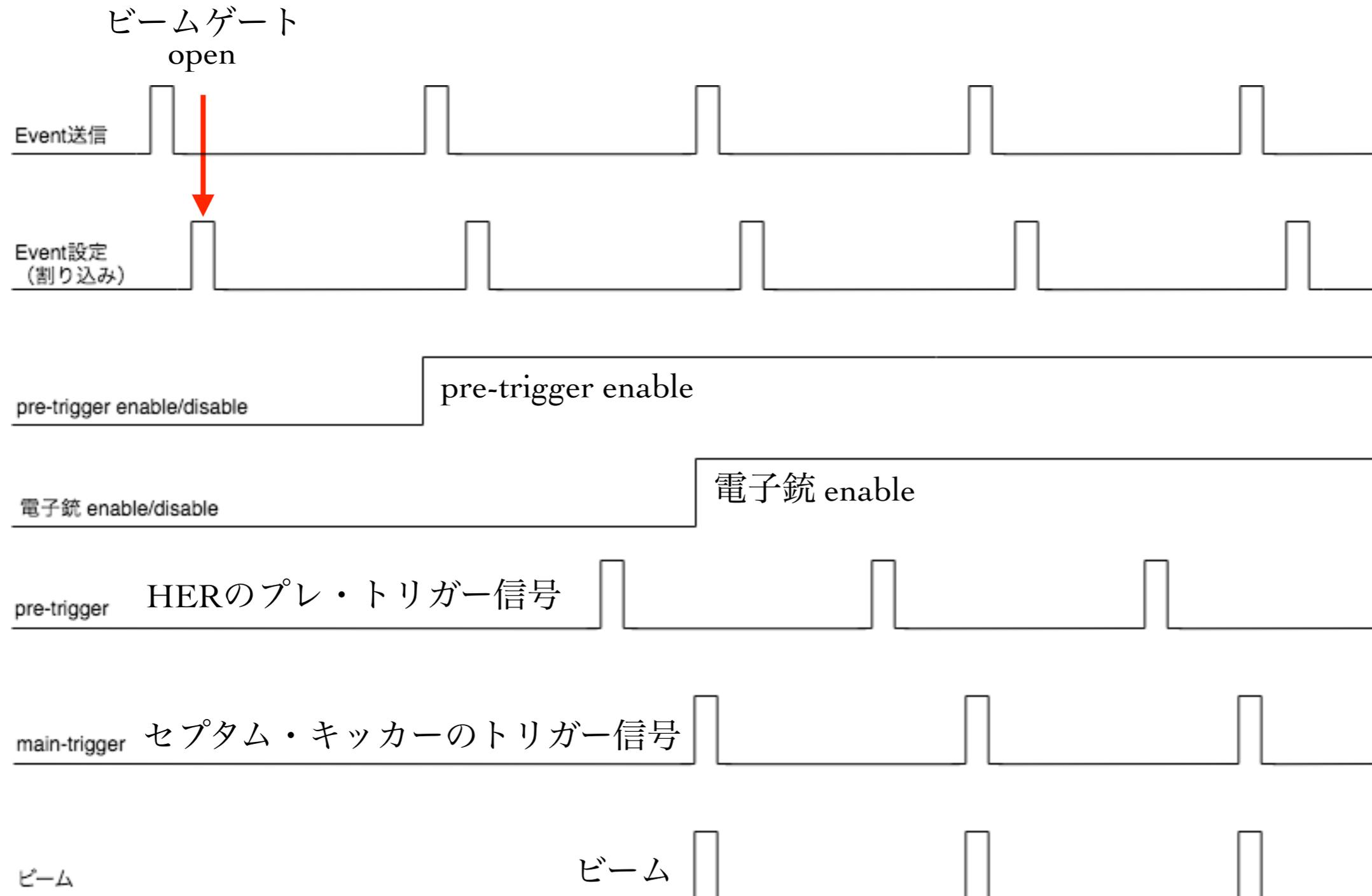
多和田氏、Jan/13, 2017

- Lumped type
- Double half sine
- Kick angle : 2.5mrad/magnet
- Current pulse rise time/fall time: <100ns
- Timing jitter: <  $\pm 1$ ns
- Amplitude stability: <  $\pm 0.1\%$



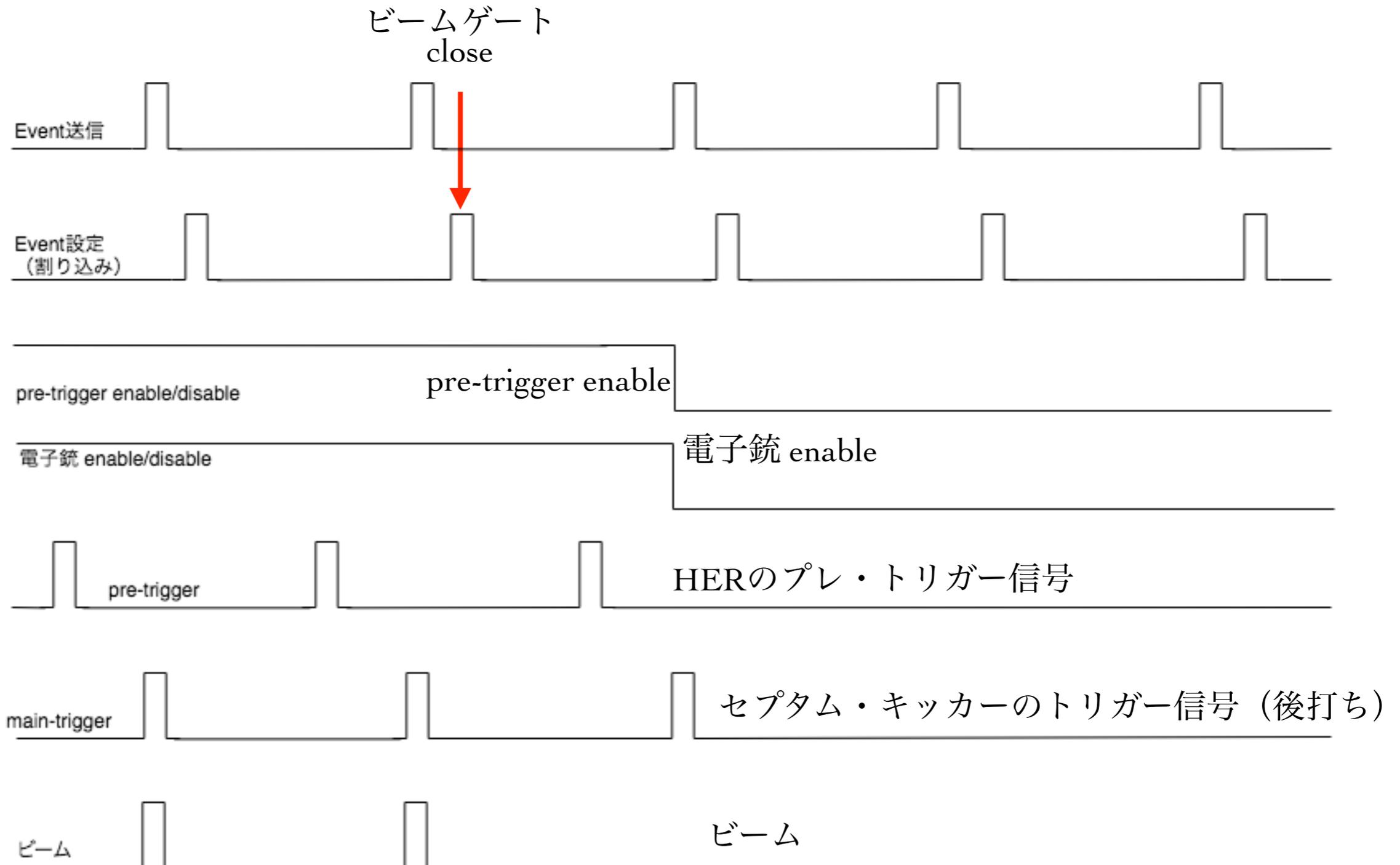
## ビームゲート閉から開へ

Distributed Bus Bit機能(DBB)を使った割り込み処理を行う。

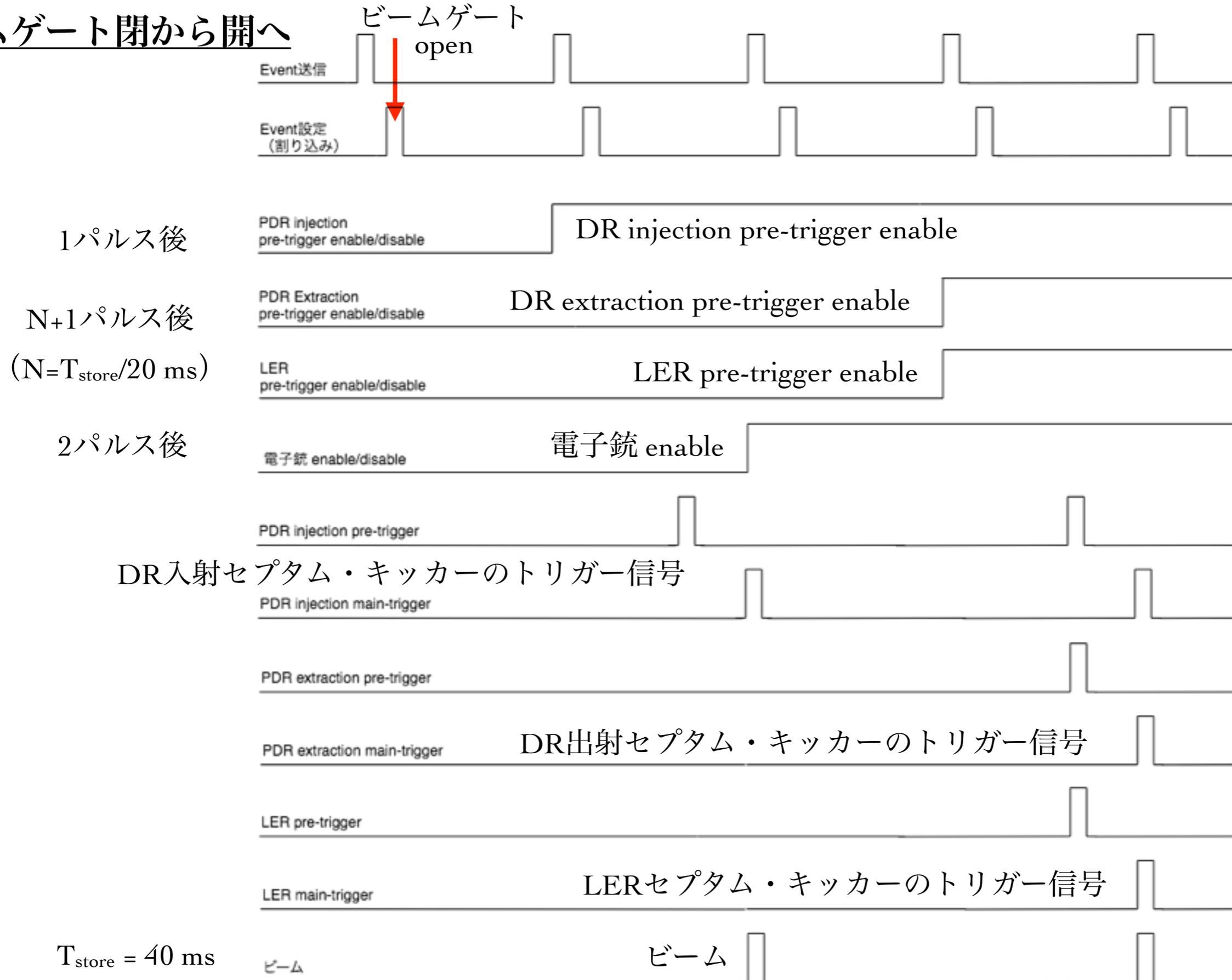


## ビームゲート開から閉へ

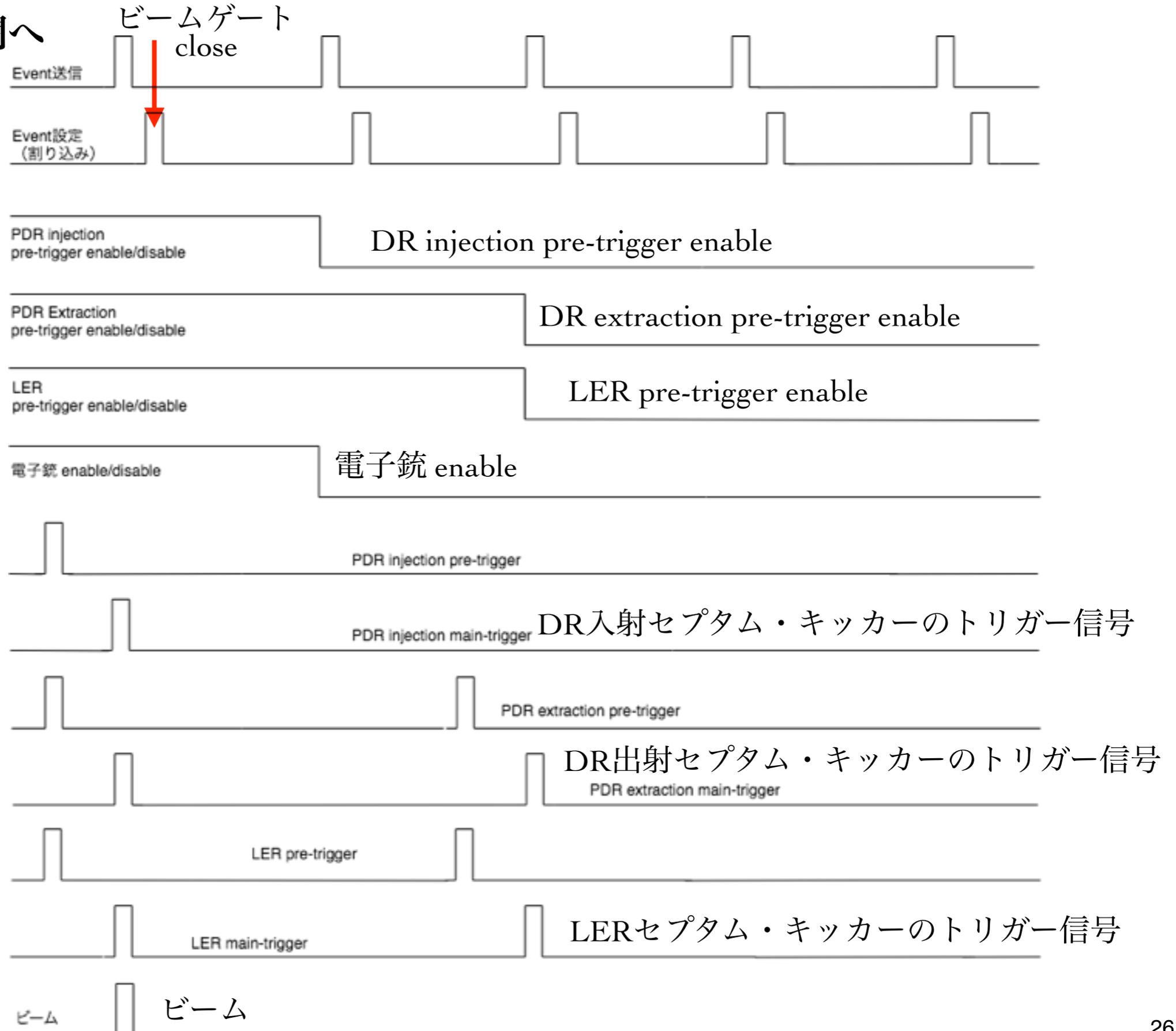
Distributed Bus Bit機能を使った割り込み処理を行う。



## ビームゲート閉から開へ



ビームゲート開から閉へ

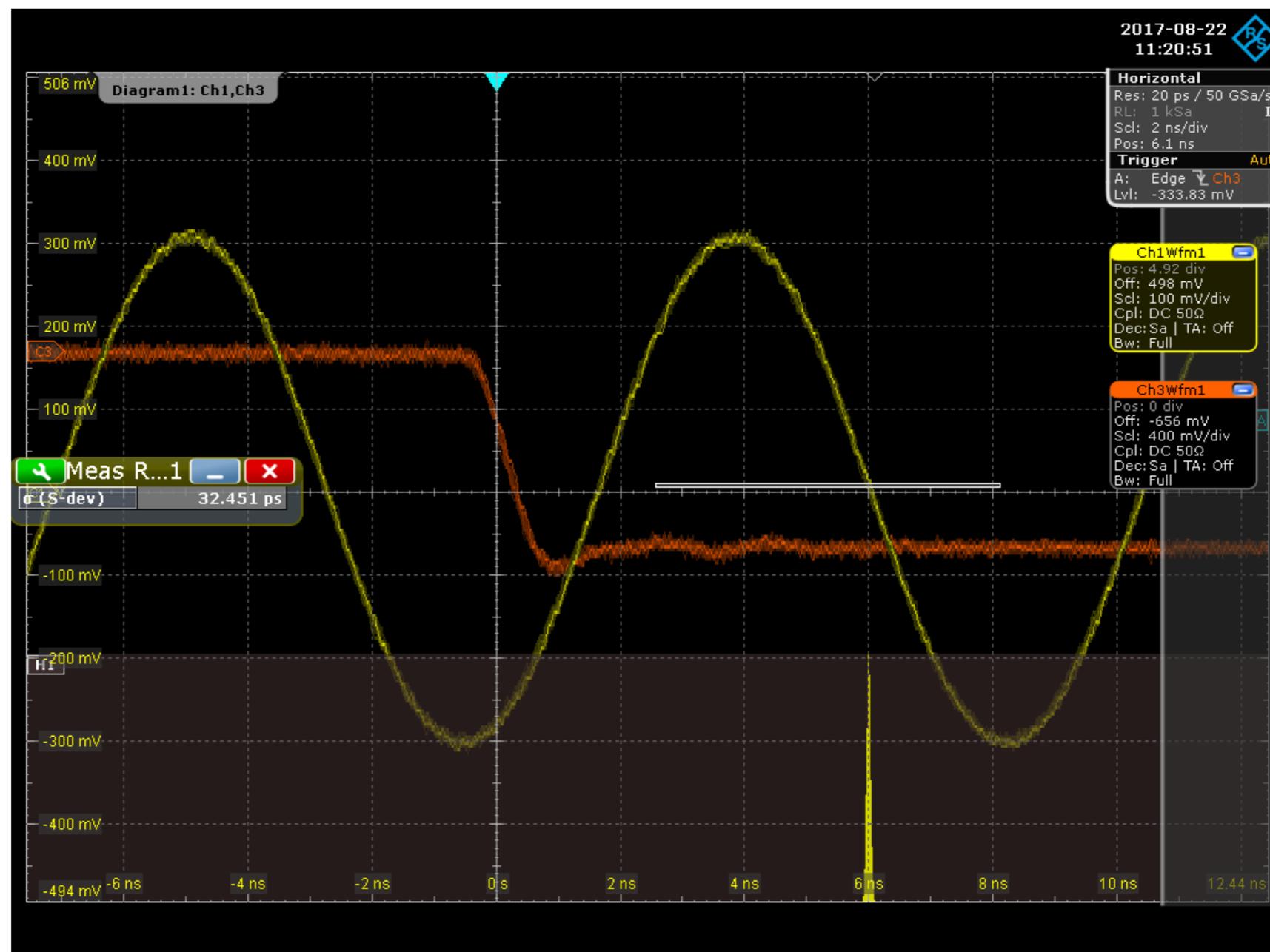


T<sub>store</sub> = 40 ms

delay信号でトリガーをかけ、114MHzRFのジッターを測定.

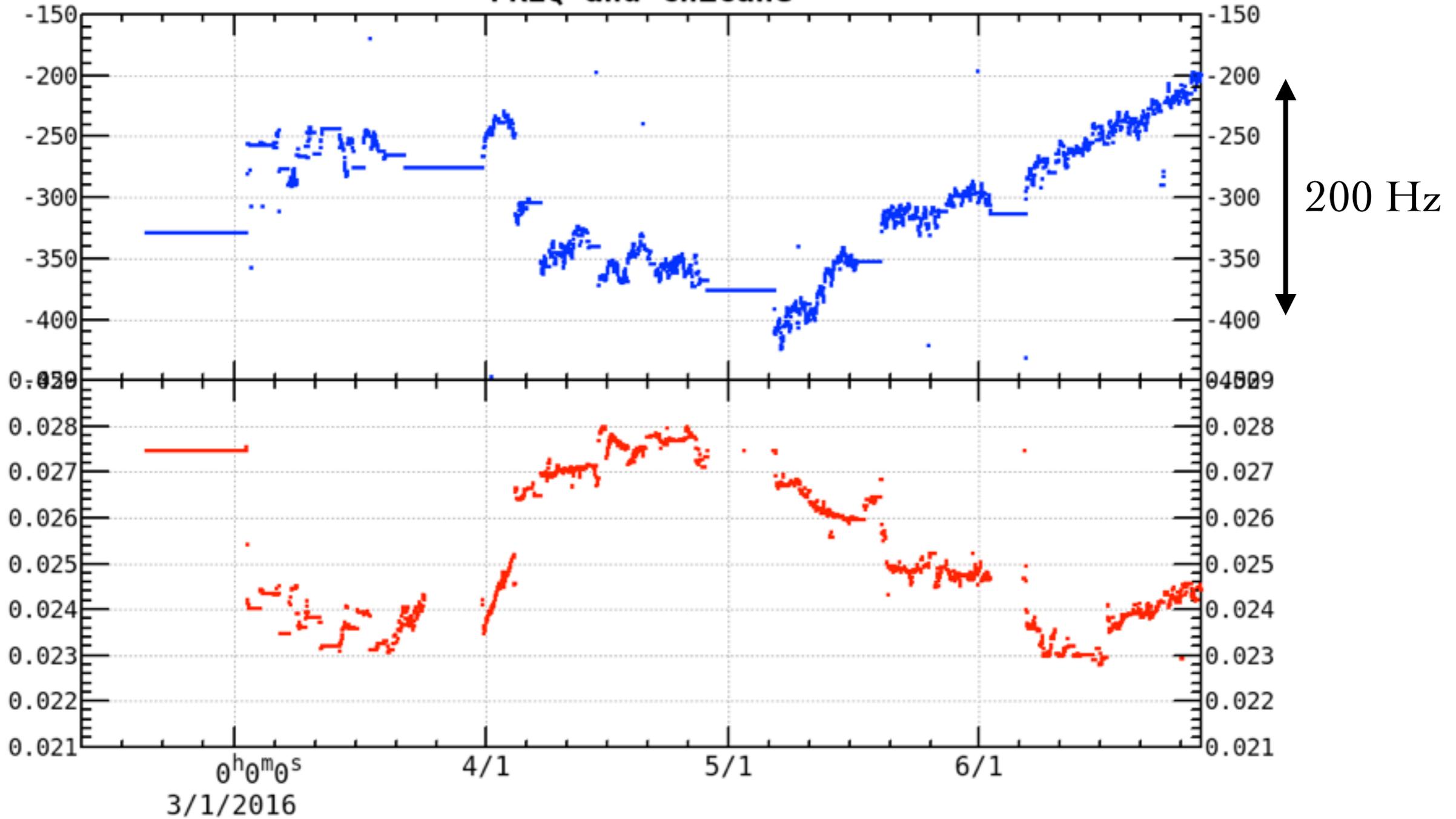
結果：30 ps（遅延時間にかかわらず）. ただし114MHzRFのジッターも含む.

$$\sqrt{\sigma_{osci}^2 + \sigma_{RF}^2 + \sigma_{EVR}^2} = 30 \text{ ps}$$



## SuperKEKB Phase-1

FREQ and Chicane



## 第2スイッチヤード

SY2 dumpモード：BLIN.1の磁場を0にする。

