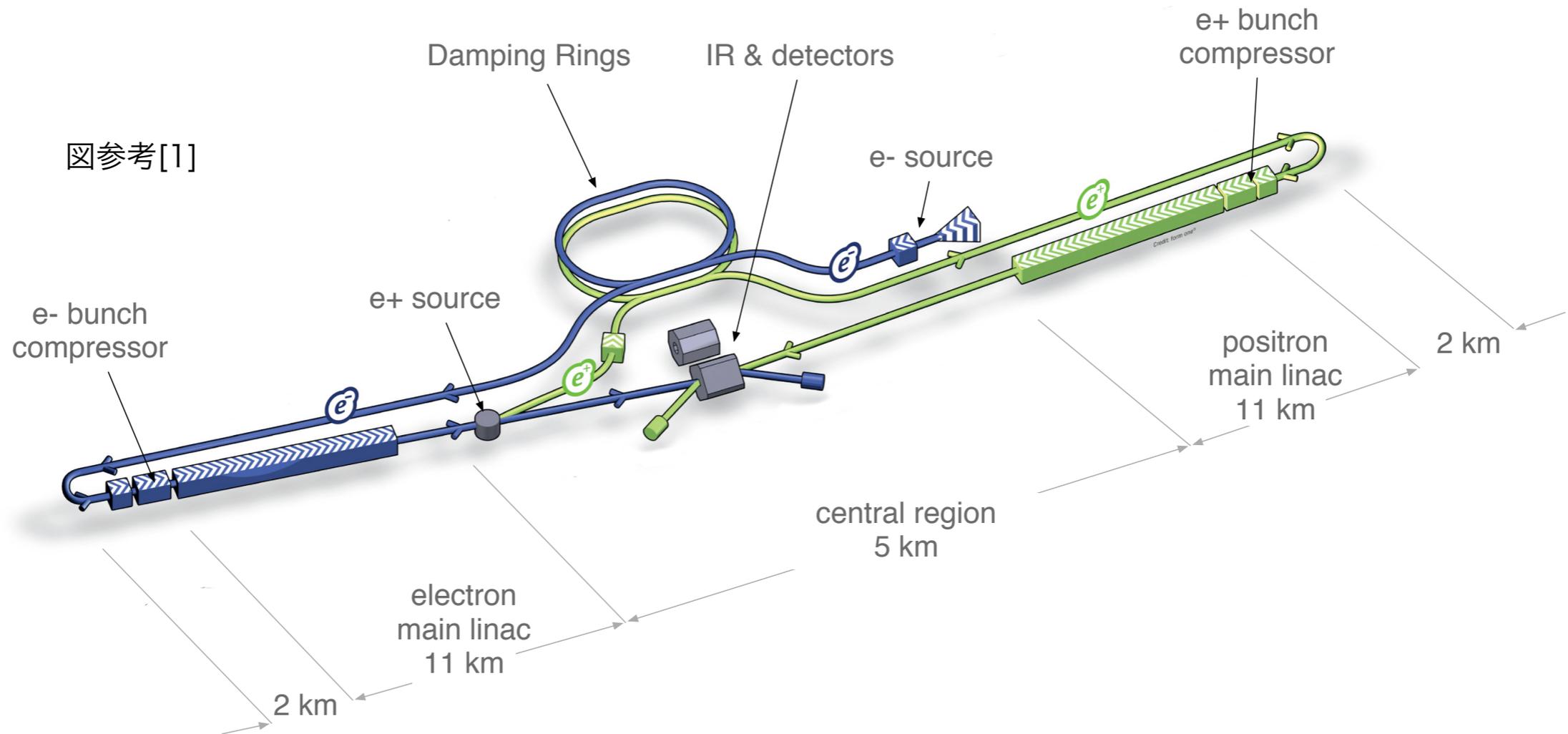




国際リニアコライダーのビーム形状測定のための
ペアモニターの研究
~ Study of the pair monitor for beam shape
measurement at the International Linear Collider ~

東北大学修士2年
素粒子実験研究室
山口 信二郎

国際リニアコライダー(ILC)



- e⁺e⁻衝突型線形加速器
- E_{CM}=最大500GeV(アップグレードで1TeV)
- 全長31km(1TeVアップグレードで50km)
- e⁺,e⁻ビームのspin偏極が可能
- ルミノシティ $L = 1.8 \times 10^{34} \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ @500GeV

ビームサイズ

	σ_x (nm)	σ_y (nm)	σ_z (mm)
ILC	474	6	0.3
HE-LHC	14,600	6,300	65
LEP	250,000	10,000	20
SuperKEKB	10,100	48	6

前例がないほど小さなサイズ

→ビームチューニングが困難かつ重要



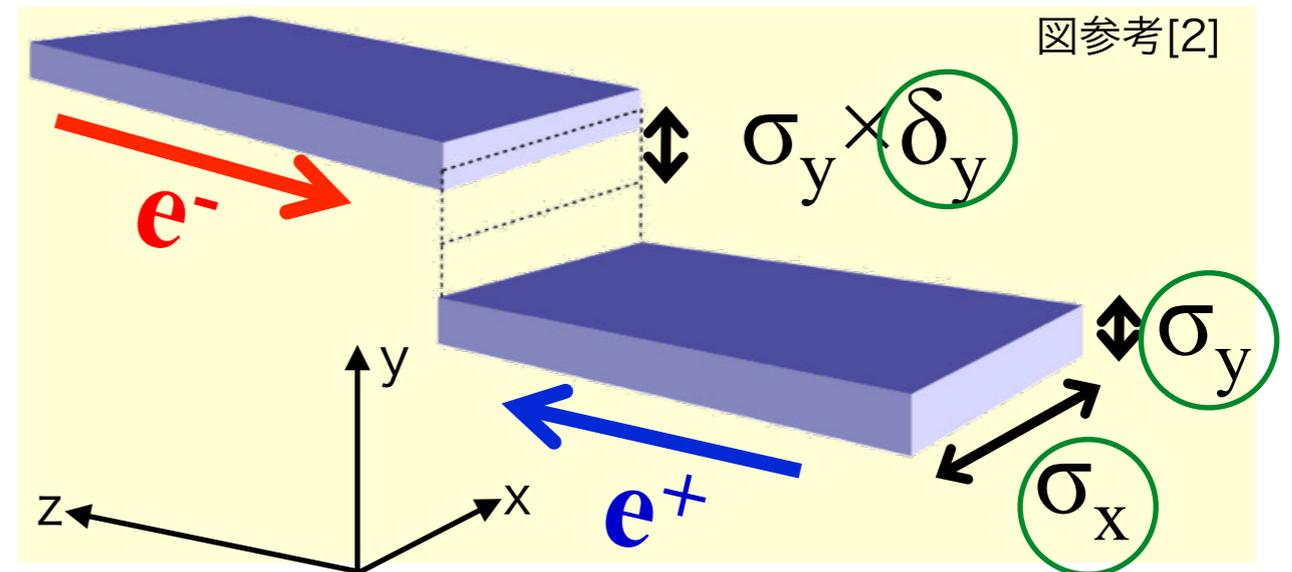
ペアモニターでビームパラメーターを観測して、チューニング

ペアモニターの測定原理

ビーム衝突時に大量に生成される**Pair background**(e^+e^-)を観測し、**ビームパラメーター**を得る。→ビームチューニングに利用



- ビームサイズ(σ_x, σ_y)
- ビームの理想位置からのズレ(δ_y)

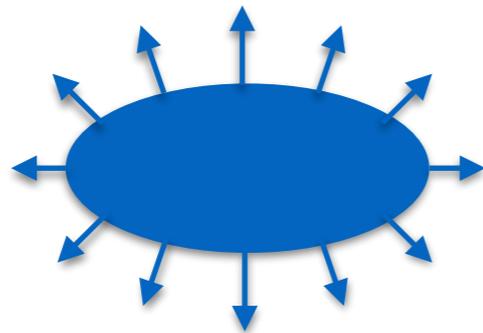


ビームパラメーターが変化 \leftrightarrow Pair backgroundが変化
→Pair backgroundを見ればビームパラメーターがわかる。

測定原理：ビームサイズ(σ_x, σ_y)の変化について

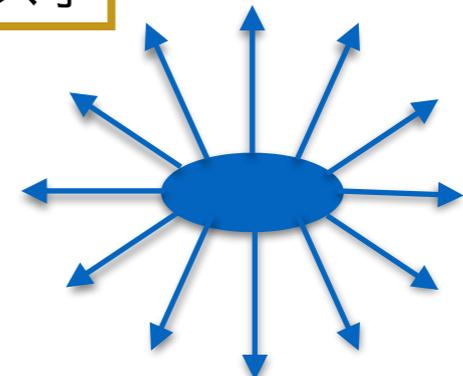
$$\begin{aligned} \text{ルミノシティ} \quad L &= \frac{N^2}{4\pi\sigma_x\sigma_y} f_r n_b H_D \\ \text{イベントレート} \quad R &= \sigma L \end{aligned}$$

ビームサイズ大



電場：弱
ルミノシティ：小

ビームサイズ小



電場：強
ルミノシティ：大

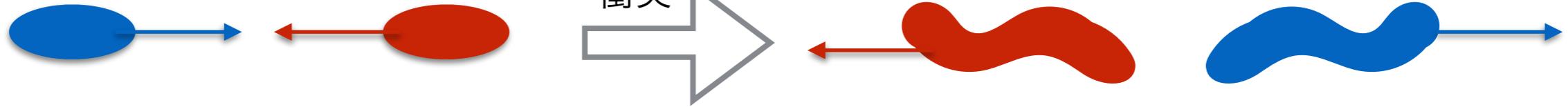
ビームサイズが変化

ビームサイズ(σ_x, σ_y)が変わると、、、

- ・ルミノシティが変化 → Pair backgroundの**生成数**が変化
- ・ビーム電磁場が変化 → **散乱のされ方**が変化

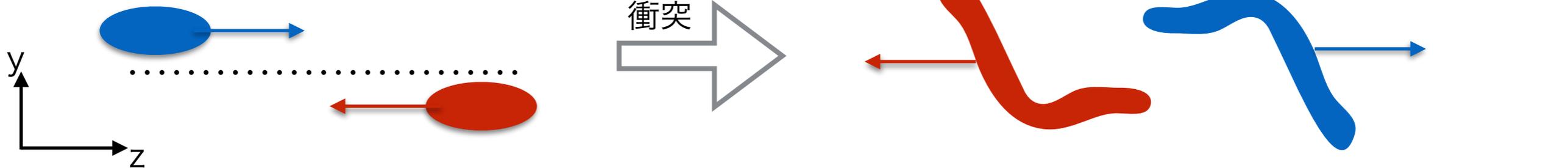
測定原理：ビーム位置のずれ(δ_y)の変化について

位置のずれ無し



ビーム位置が変化

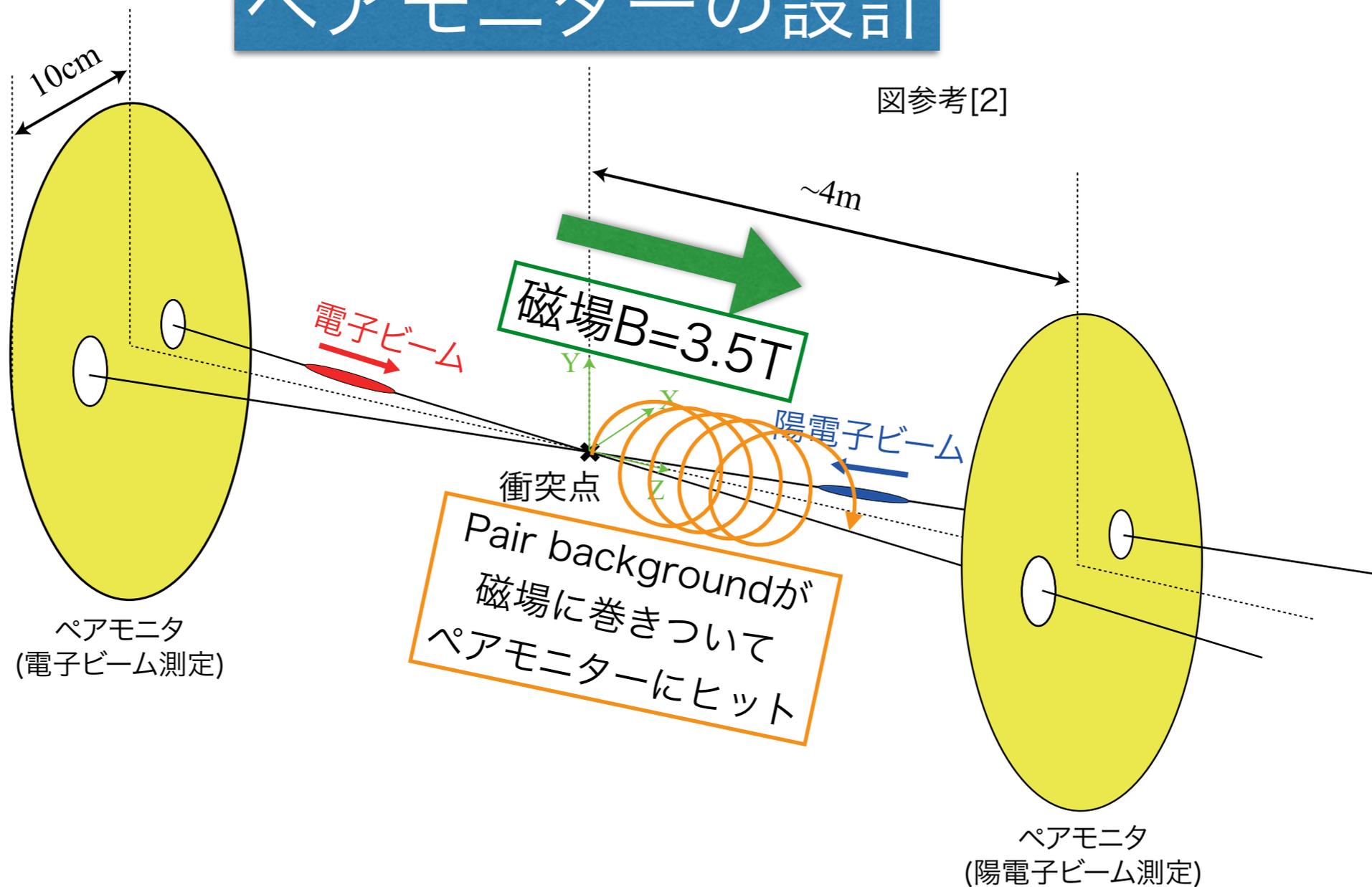
位置のずれ有り



ビーム位置(δ_y)が変わると、、、

- ・ 衝突後のビーム形状が変化し、ビーム電場が変化→**散乱のされ方**が変化
- ・ 衝突がうまくいかなくなる → **生成数**が減少

ペアモニターの設計



構造、材質 検出器設計 半径	単層シリコンピクセル型	IPからの距離 ピクセルサイズ センサーの厚さ	約4m
	SOI-CMOS型		400um x 400um
	10cm		200um

このような設計で、2007年の時点でのILCのビームパラメーターで10%の精度でパラメーターの再構成可能だと示されている。

研究方針

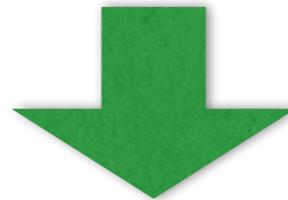
ビームパラメーターの変化(500GeV)

	2007年RDR	2013年TDR	単位
σ_x	640	474	nm
σ_y	5.7	5.9	nm
$\gamma \varepsilon_y$	40	35	nm
β_x	20	11	mm
β_y	0.4	0.48	mm

RDR : 2007年でのILCの設計書
TDR : 2013年～のILCの設計書

電力消費を抑えつつ、
ルミノシティは高いままに
維持するように設計が変化

2007年(RDR)と現在(TDR)の理想的なビームパラメーターが変化したがる、

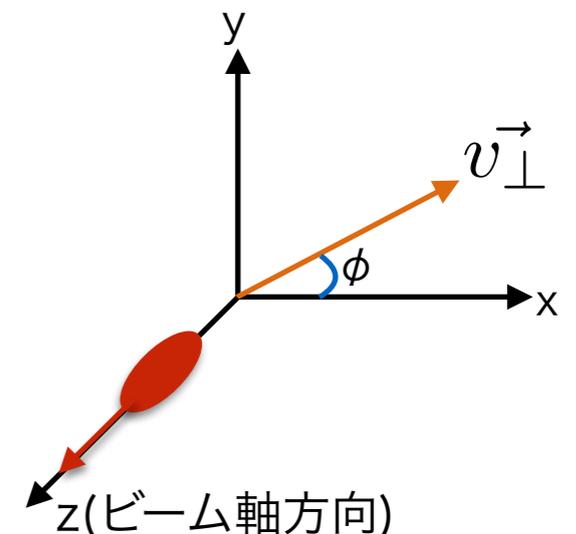


ビームパラメーターの変化に応じたPair backgroundの**総生成数**、**散乱方向**が同様に
変化すれば再構成可能だと期待される

シミュレーションにより以下の2つの類似性を比較

・ 総生成数 N_{all}

・ 速度方向 $\phi = \tan^{-1}\left(\frac{v_y}{v_x}\right)$



研究 1

ビームパラメーター再構成の
シミュレーション研究

研究 1-1

N_{all}の比較

シミュレーションでは、
ビームサイズ(α_x, α_y)と
ビーム位置のずれ(δ_y)を変化させた。

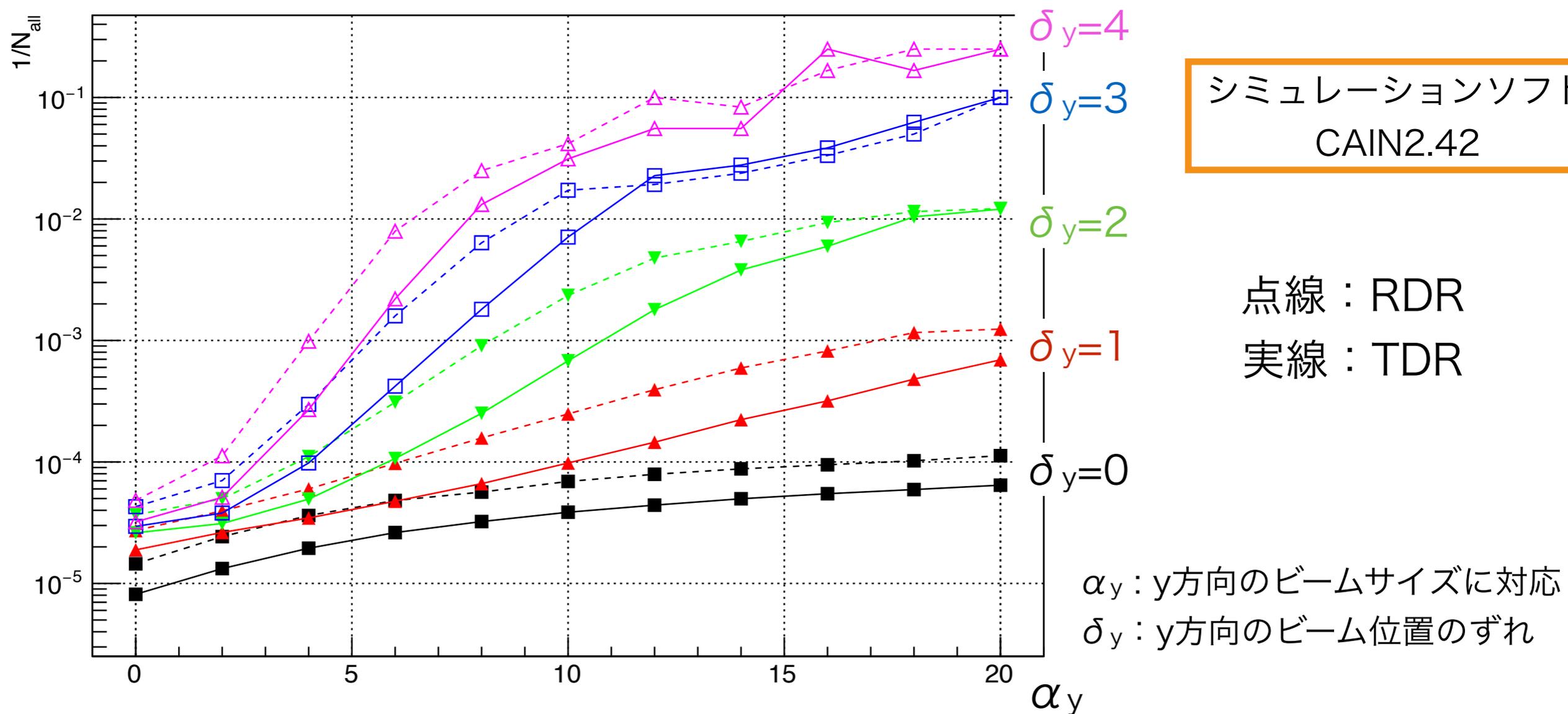
$$\sigma_x = \sigma_x^* \times \sqrt{1 + \alpha_x^2}$$

$$\sigma_y = \sigma_y^* \times \sqrt{1 + \alpha_y^2}$$

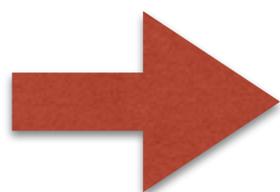
σ_x^*, σ_y^* : 理想的なビームサイズ

N_{all} の α_y, δ_y 依存性

RDR & TDR $E_{\text{cm}}=500\text{GeV}$



- α_y, δ_y が増加するとルミノシティが減少し、 N_{all} が減少($1/N_{\text{all}}$ が増加)
- α_y, δ_y に対する $1/N_{\text{all}}$ の変化率は類似している。

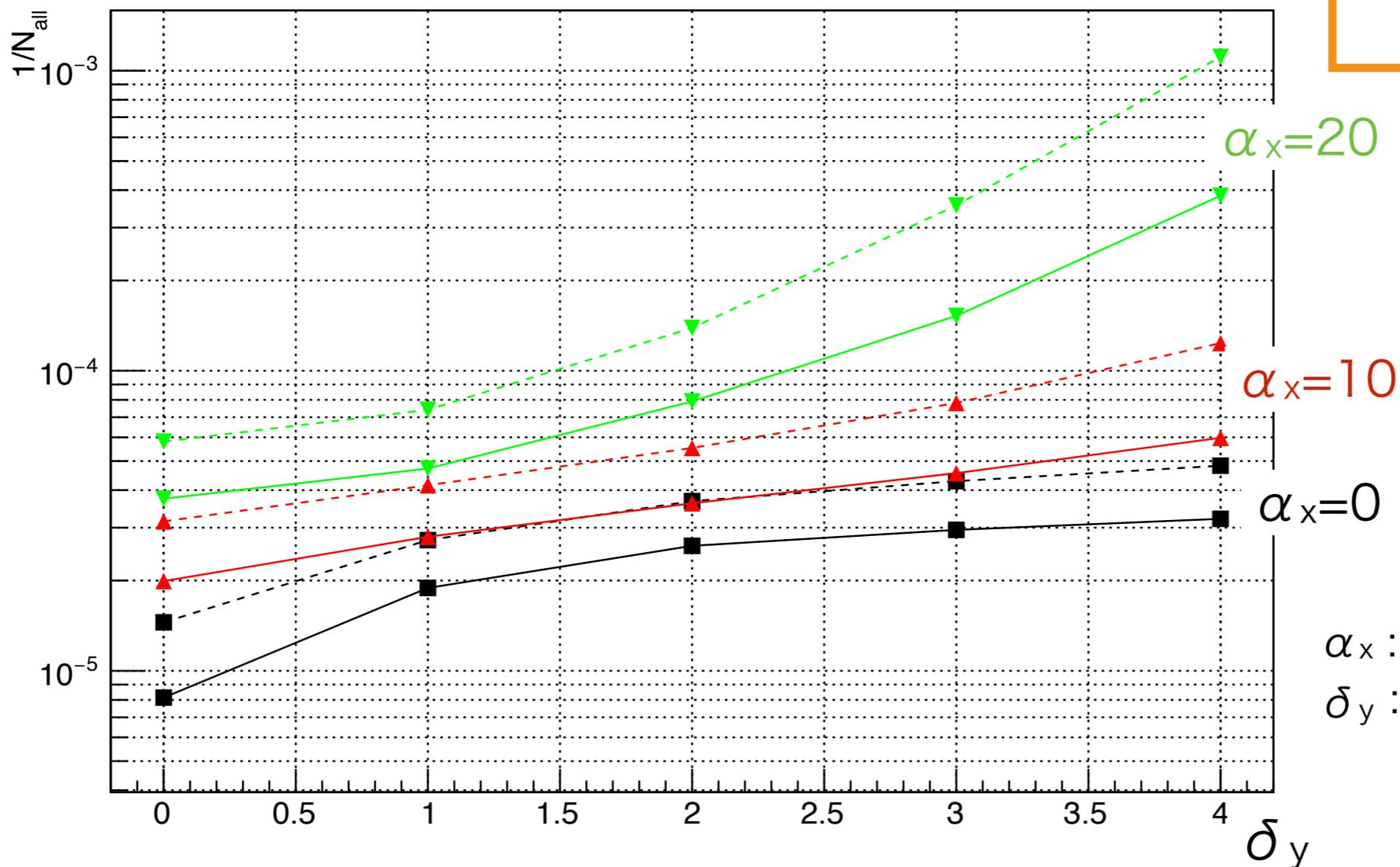


統計量がある程度あるこのような α_y, δ_y の組み合わせの領域では、**TDRにおいても α_y, δ_y の再構成が可能**だと期待される。

N_{all} の α_x, δ_y 依存性

RDR & TDR $E_{\text{cm}}=500\text{GeV}$

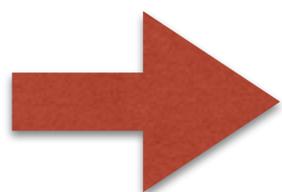
シミュレーションソフト
CAIN2.42



点線：RDR
実線：TDR

α_x : x方向のビームサイズに対応
 δ_y : y方向のビーム位置のずれ

- α_x, δ_y が増加するとルミノシティが減少し、 N_{all} が減少($1/N_{\text{all}}$ が増加)
- α_x, δ_y に対する $1/N_{\text{all}}$ の変化率が類似している

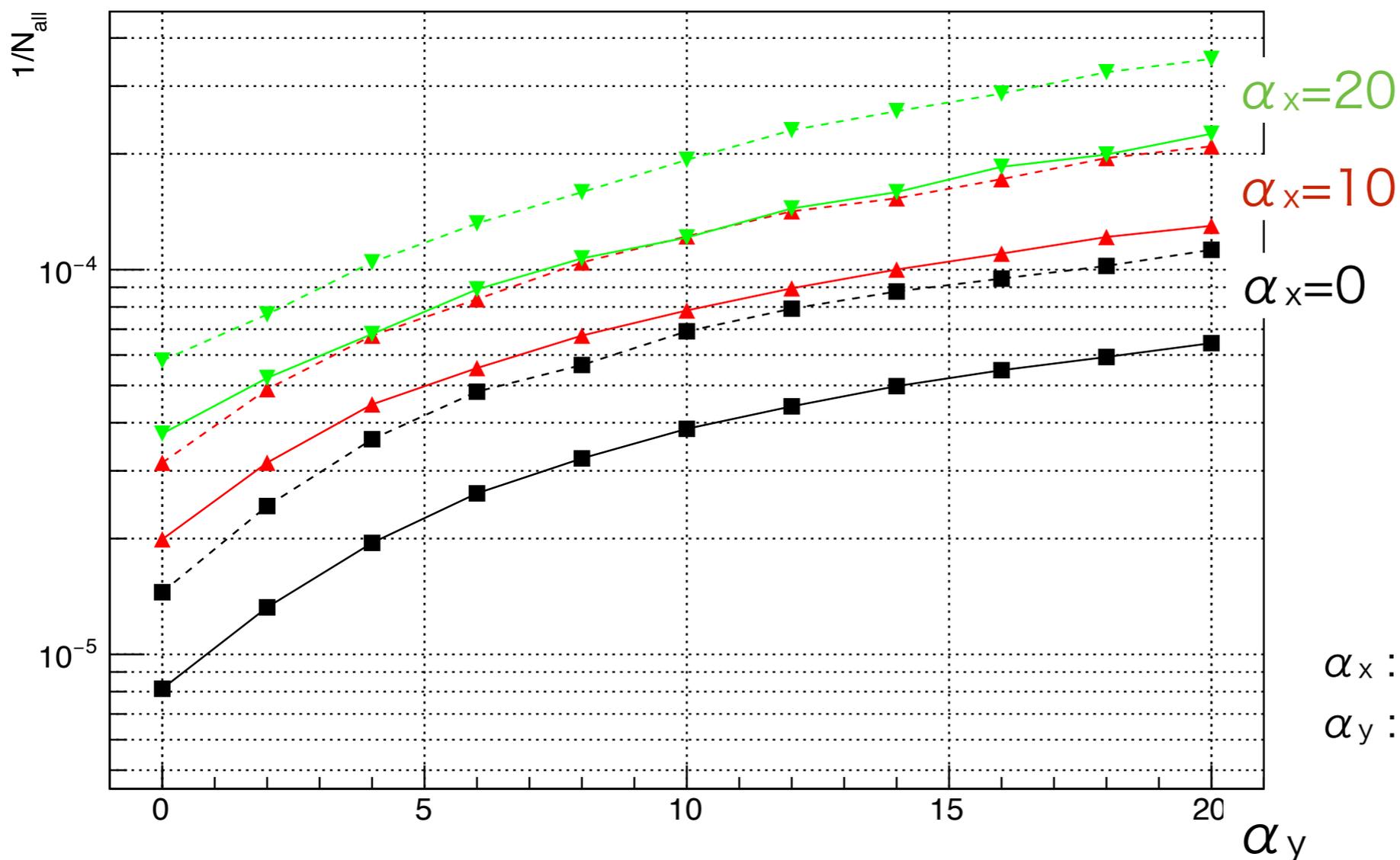


TDRにおいても α_x, δ_y の再構成が可能だと期待される。

N_{all} の α_x, α_y 依存性

RDR & TDR $E_{\text{cm}}=500\text{GeV}$

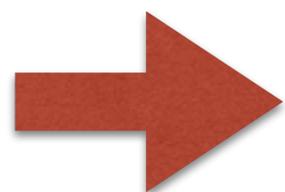
シミュレーションソフト
CAIN2.42



点線 : RDR
実線 : TDR

α_x : x方向のビームサイズに対応
 α_y : y方向のビームサイズに対応

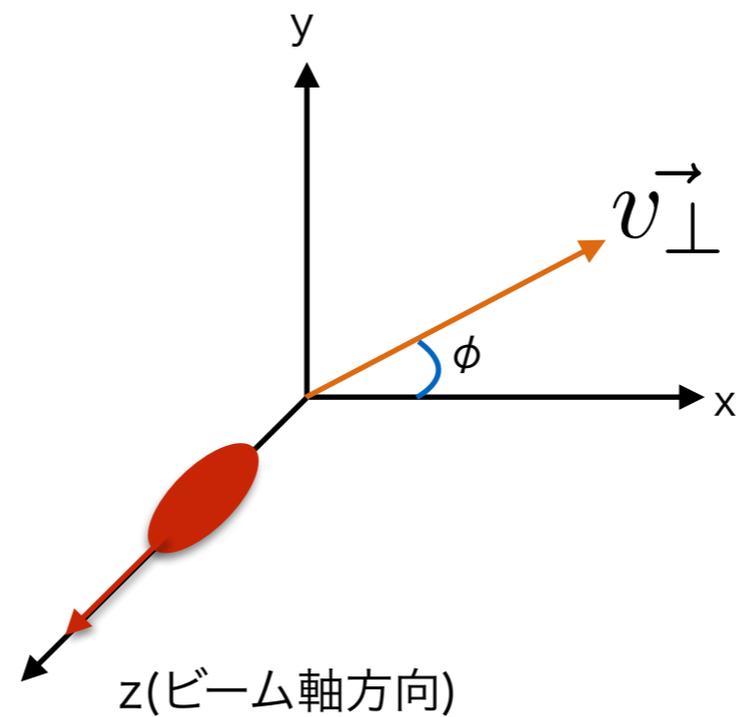
- α_x, α_y が増加するとルミノシティが減少し、 N_{all} が減少($1/N_{\text{all}}$ が増加)
- α_x, α_y に対する $1/N_{\text{all}}$ の変化率が類似している



TDRにおいても α_x, α_y の再構成が可能だと期待される。

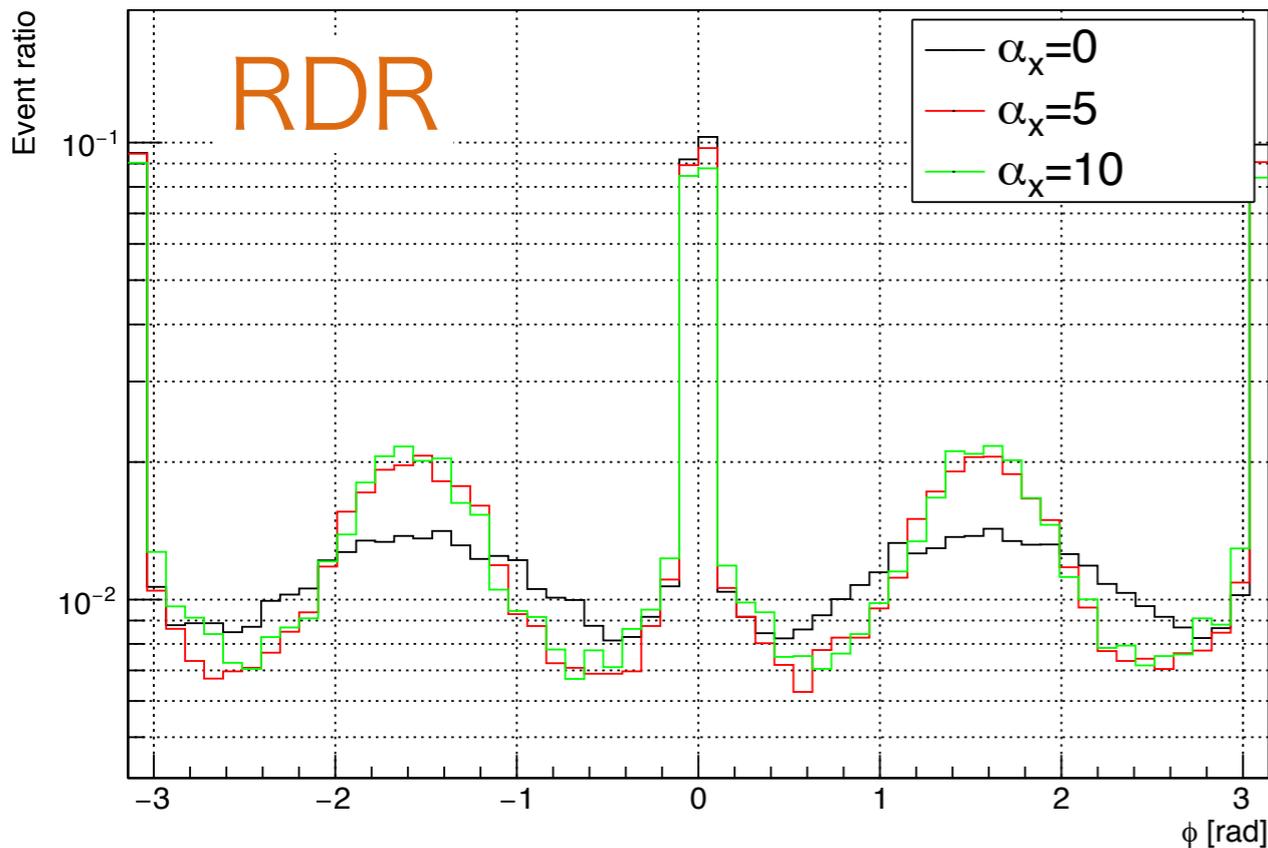
研究1-2

ϕ の比較

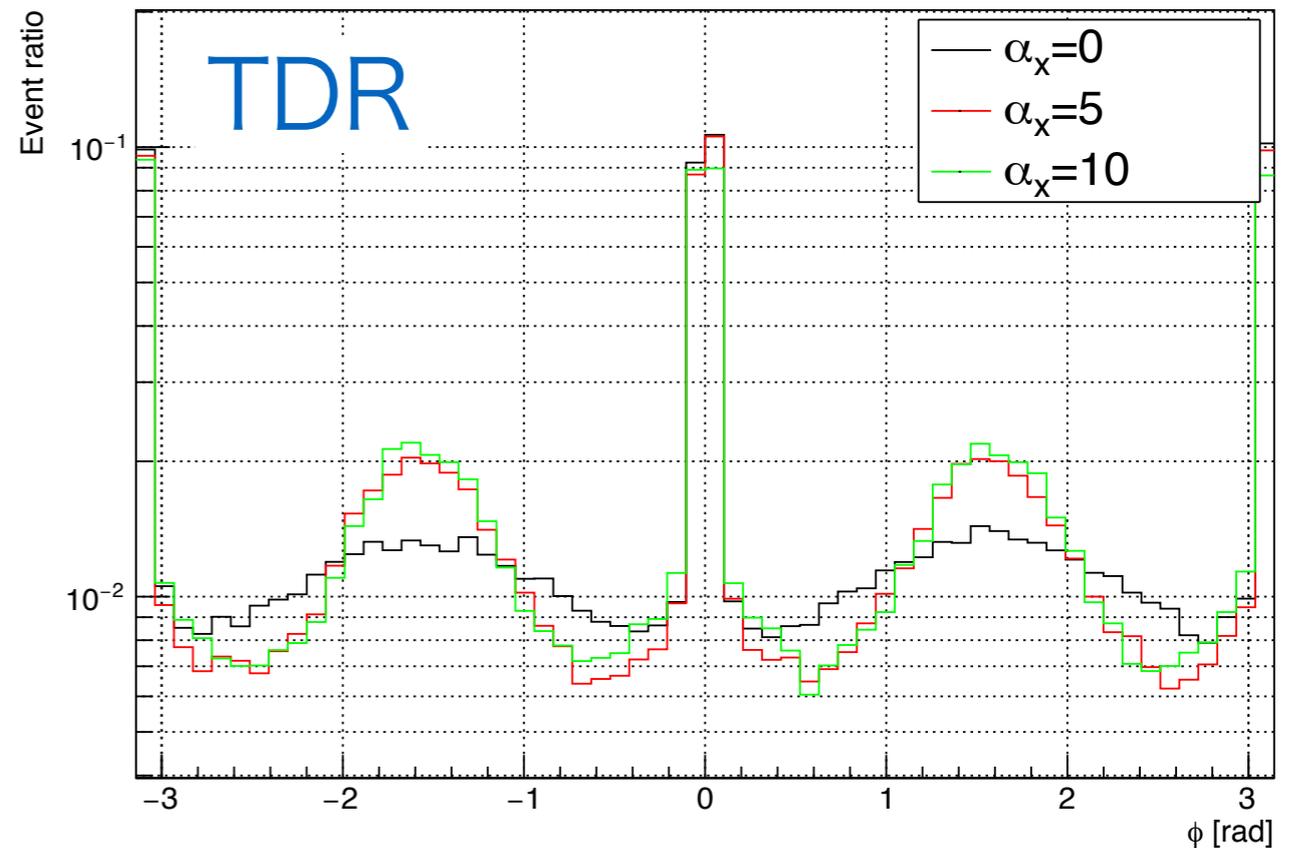


ϕ の α_x 依存性

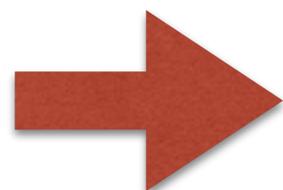
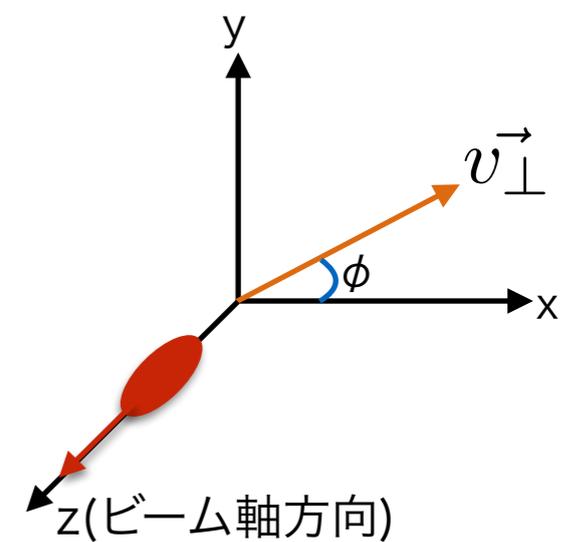
RDR E_{cm} 500GeV, ϕ 's α_x dependence



TDR E_{cm} 500GeV, ϕ 's α_x dependence



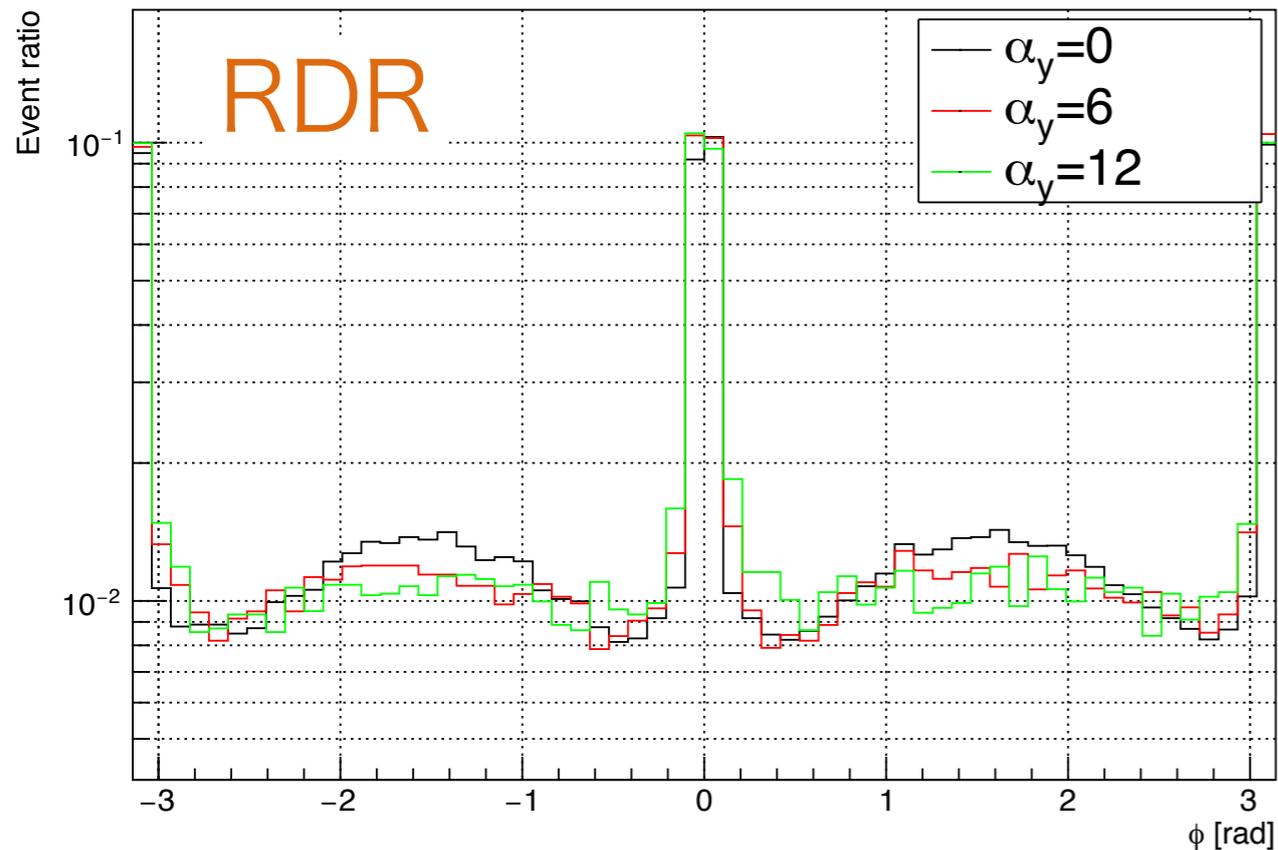
- α_x が増えると $\pi/2, -\pi/2$ の分布が増える
- $\alpha_x=0\sim 5$ の領域では α_x に対する ϕ の分布の変化率が類似している



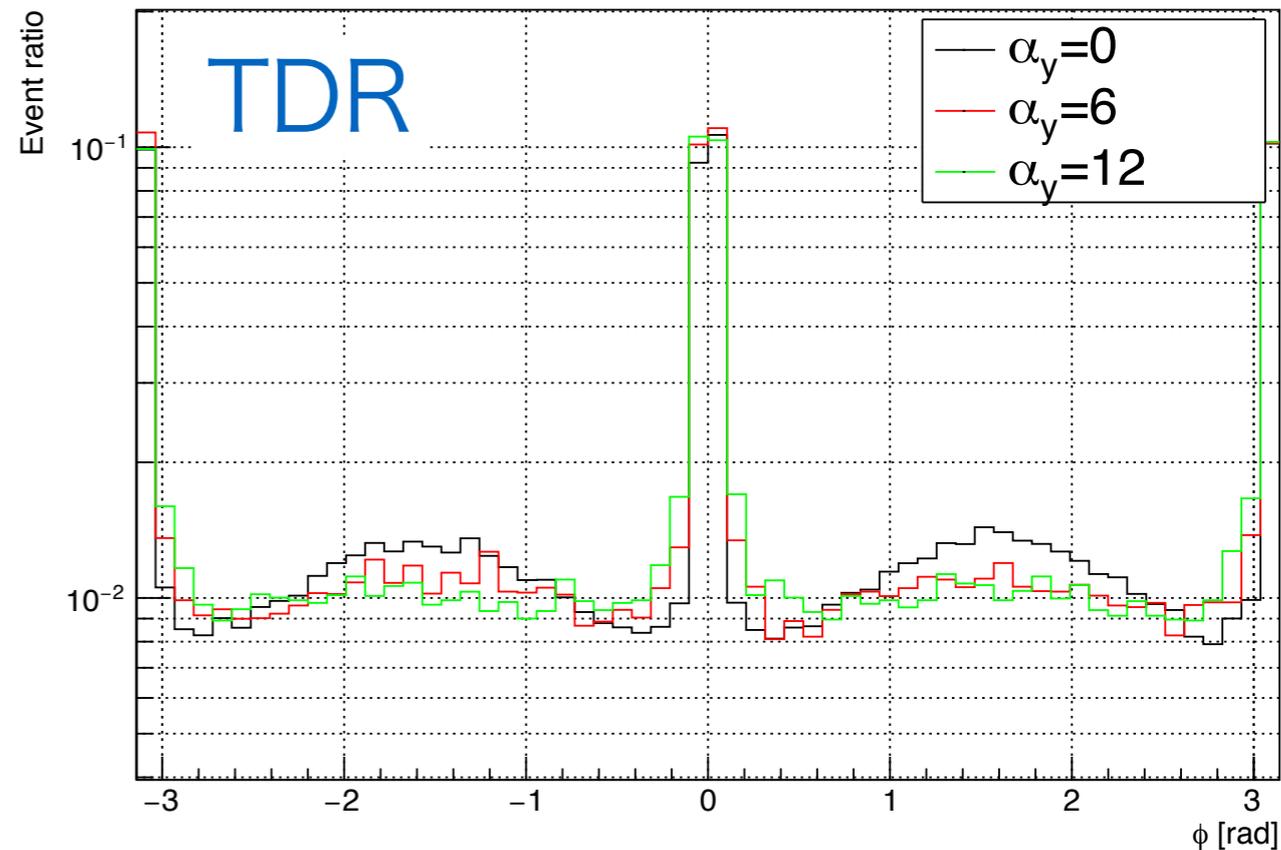
$\alpha_x=0\sim 5$ の領域では **TDR** においても α_x の再構成が可能だと期待される。

ϕ の α_y 依存性

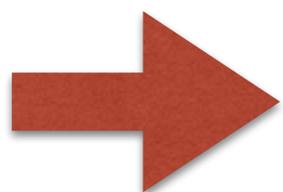
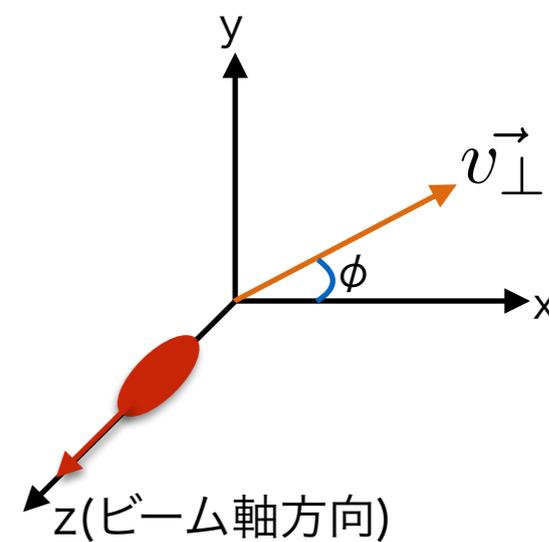
RDR $E_{\text{cm}} 500\text{GeV}$, ϕ 's α_y dependence



TDR $E_{\text{cm}} 500\text{GeV}$, ϕ 's α_y dependence



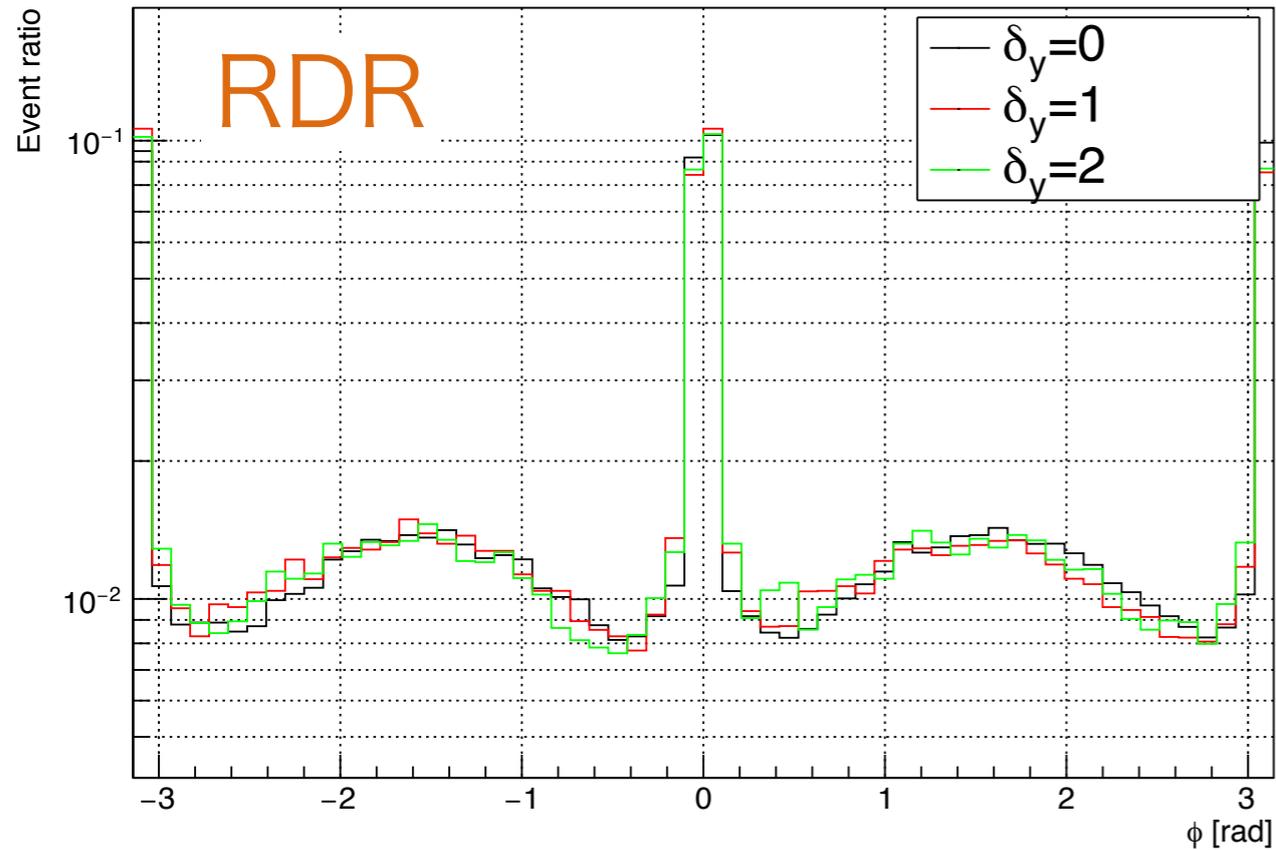
- α_y が増えると $\pi/2, -\pi/2$ の分布が減る
- α_y に対する ϕ の分布の変化率が類似している



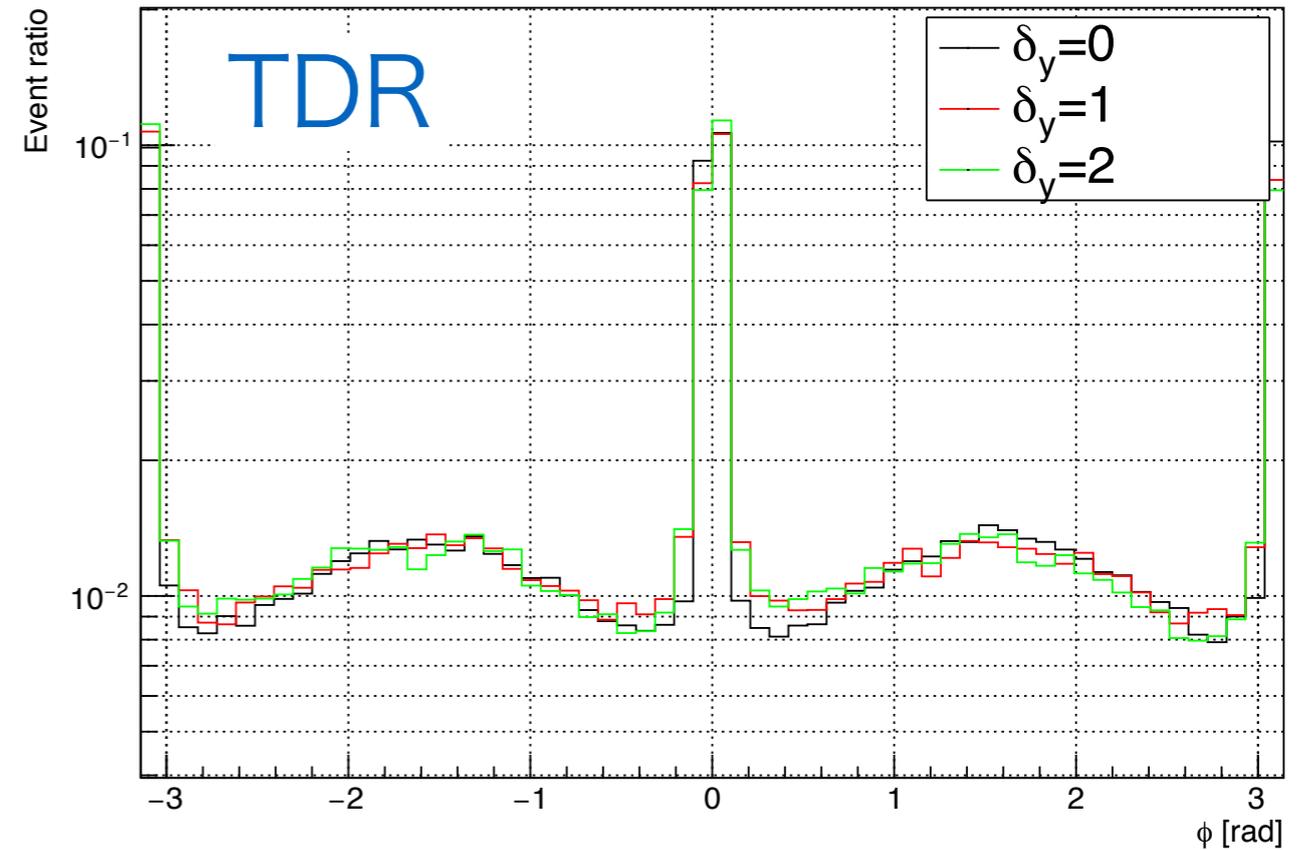
TDRにおいても α_y の再構成が可能だと期待される。

ϕ の δ_y 依存性

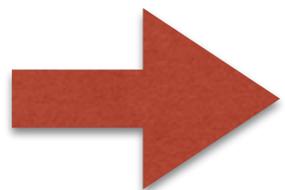
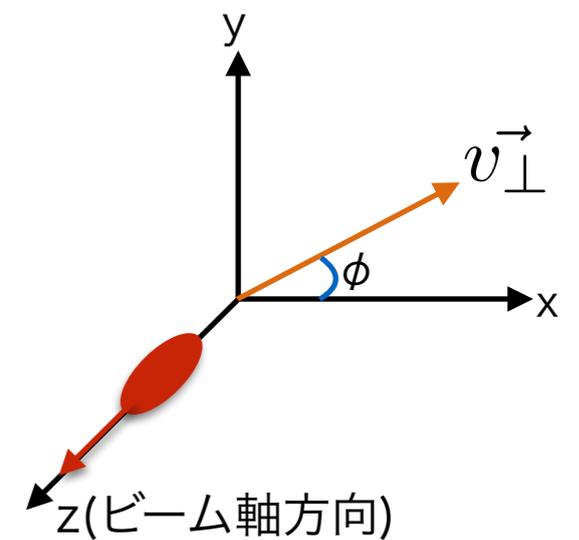
RDR E_{cm} 500GeV, ϕ 's δ_y dependence



TDR E_{cm} 500GeV, ϕ 's δ_y dependence



- δ_y に対する ϕ の分布の変化はあまり見て取れず、類似性はあまり見て取れない



RDR, TDR 共に δ_y の再構成に、 ϕ はあまり有効ではない

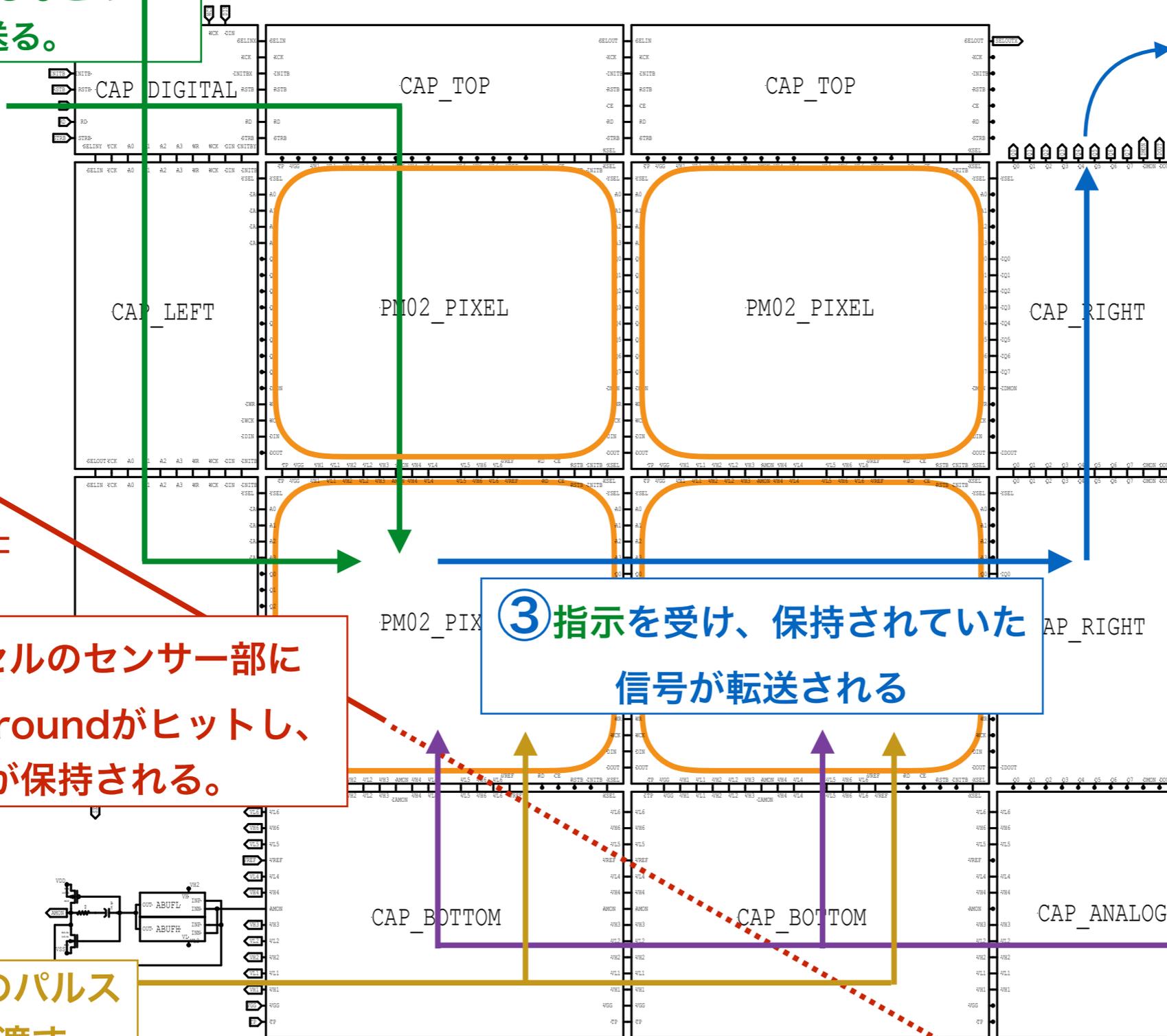
研究2

読み出し回路の シミュレーション評価

新しく設計された、読み出し回路の動作をシミュレーションにより評価

回路全体の動作(4ピクセルの例)

② ヒット数カウント許可、
ピクセル選択、
読み出させるなどの
指示を送る。



ヒット数信号が8bitで
読み出される

① 各ピクセルのセンサー部に
Pair backgroundがヒットし、
その数が保持される。

③ 指示を受け、保持されていた
信号が転送される

テスト用のパルス
などを渡す

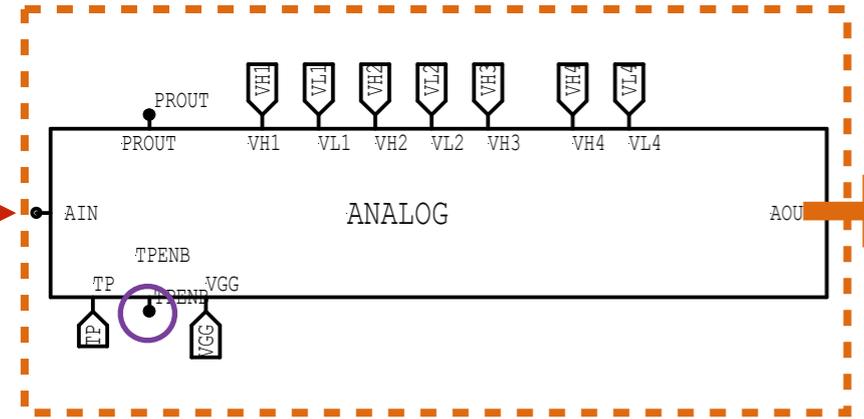
回路動作に必要な
基準電流などを渡す。

ピクセル回路の動作

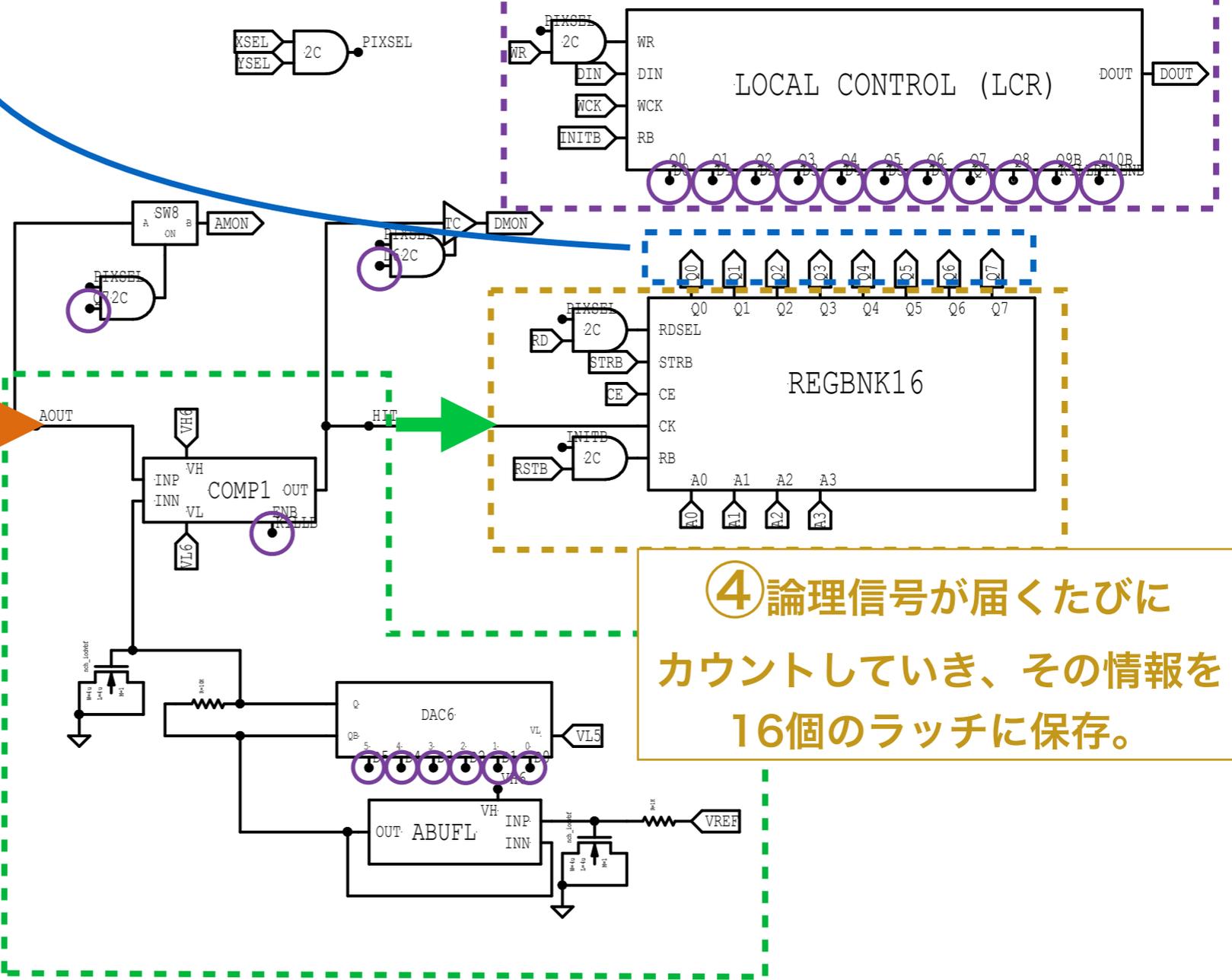
⑤ 保持しておいたヒット数情報を
周辺回路へと渡す

コンパレーターの基準電圧を調整する
など、ピクセル回路内で幾つかの調整
を行う 11 個の信号を生み出す

② 届いたパルスを整形、増幅する



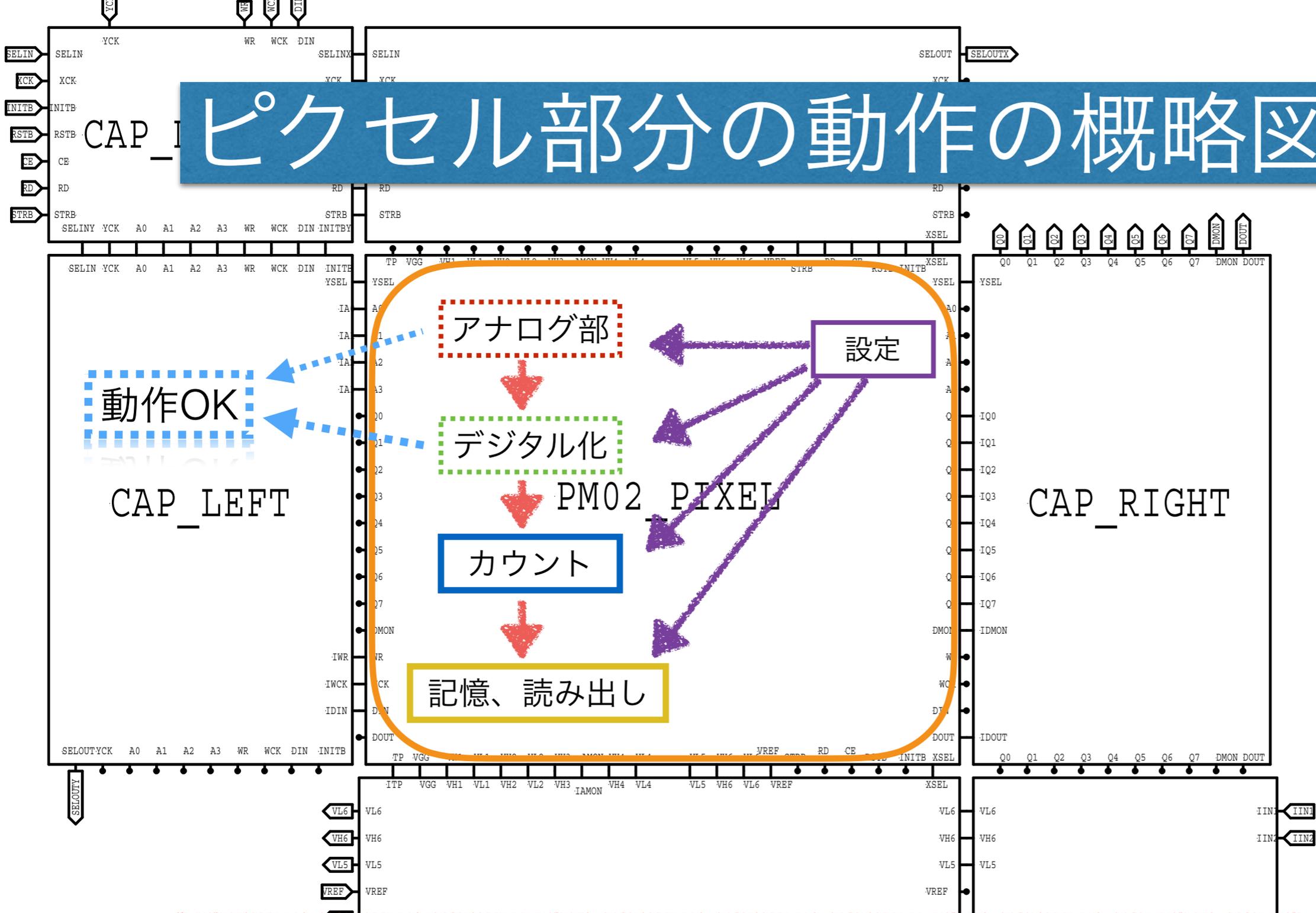
① センサー部にPair background
がヒットするとパルスが届く



④ 論理信号が届くたびに
カウントしていき、その情報を
16個のラッチに保存。

③ ANALOGからのパルス信号を
論理信号に変換(デジタル化)

ピクセル部分の動作の概略図



本研究のメインはピクセル回路部分の評価
(その他の評価も行っています)

シミュレーション条件

- ・ 1ピクセルを備えた回路全体の評価を行った

→ピクセル数が増えるとシミュレーションの収束が厳しくなるため、少ないピクセル数からシミュレーションを行う。

本研究では1ピクセルまでのシミュレーションのみ行った。

- ・ 回路の最上流から擬似的なヒット信号を送り、各パーツを連動させながらシミュレーションした。(パーツを独立して評価するわけではなく)

→実際の操作を意識したシミュレーション

シミュレーションソフト

Tanner EDA社

- ・ S-Edit
- ・ T-Spice
- ・ W-Edit

ピクセル部の評価

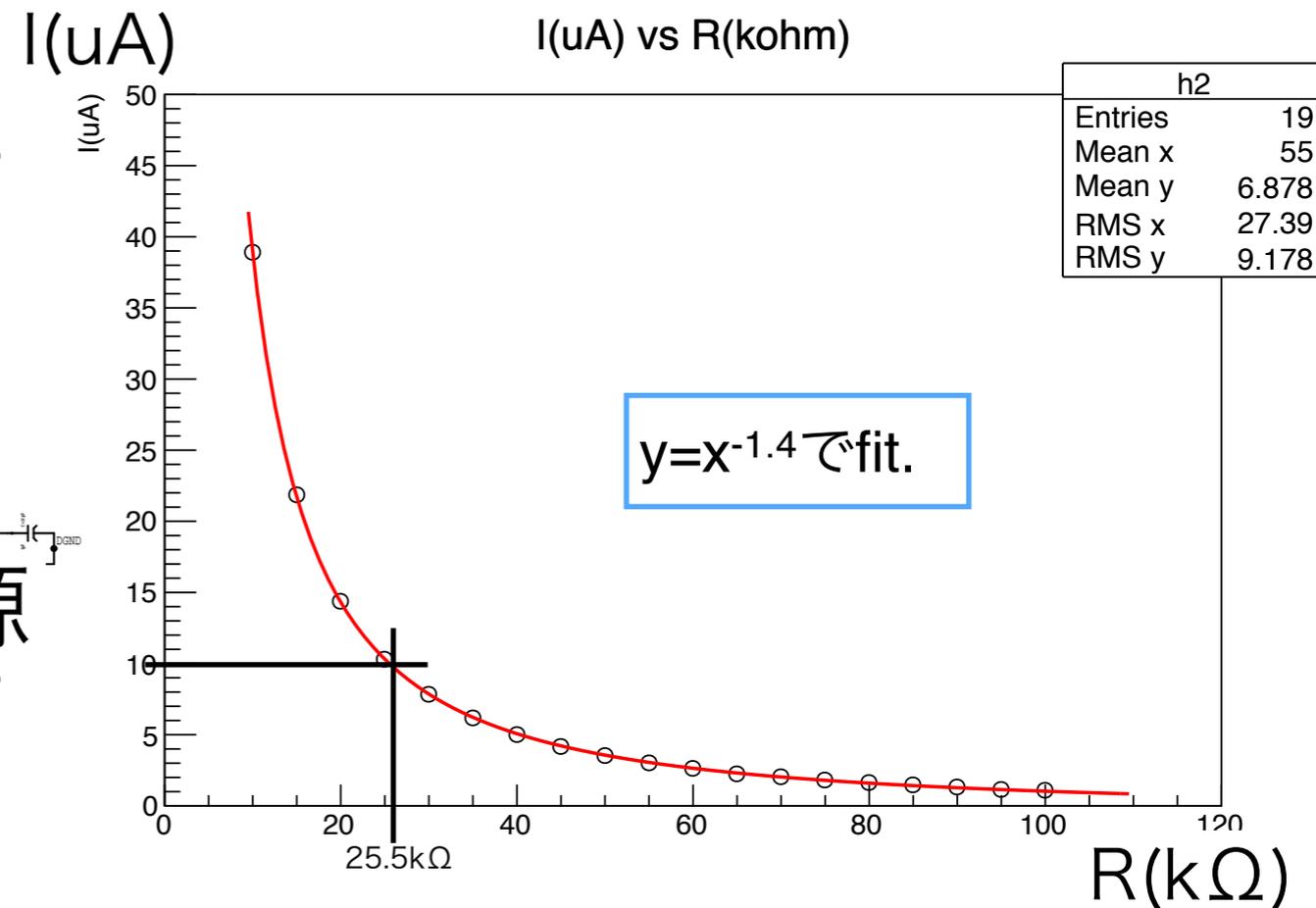
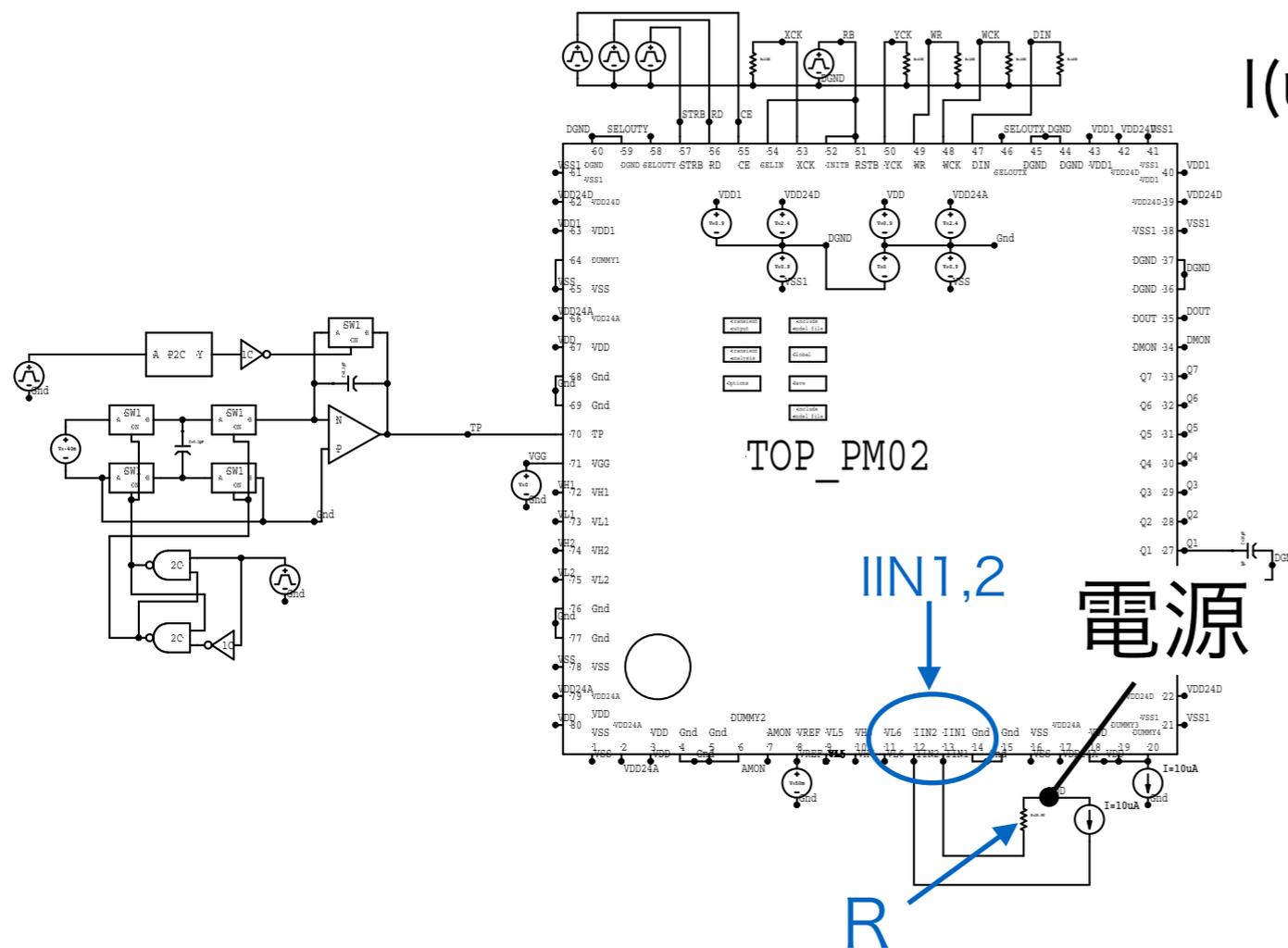
- ・ ・ ・ の前に、回路全体に関わる動作についての評価

回路全体に流す基準電流を決めるための抵抗値について

内容

設計上、**回路には、基準電流(IIN1,IIN2に流れる電流)として10uAを流したい**。IIN1,2に流れる電流は電源(VDD)から、抵抗値Rを含めた回路の末端までのインピーダンスにより決まる。

Rの値を幾つかの値で変更させていき、その都度シミュレーションによって流れる電流を測定し、そこから10uAの電流が流れる為に適切な抵抗値を求めた。



グラフより、 **$R=25.5\text{K}\Omega$ を選ぶと、 $10\mu\text{A}$ の基準電流が流れることがわかった。**

以後、Rはこの値に設定しておく。

ピクセル選択信号と、回路動作許可信号の評価

INITB：回路全体を動作させる信号。Highの間動作する(Lowで全ての信号が動作しなくなる)。

X,YCK：読み出すピクセル選択を、x,y方向にずらす信号(Clock)。

X,YSELOUT：x,y方向の端のピクセルに到達した時に立つ信号。

→ 今は1ピクセルなので、X,YCK1つですぐに立つはず。

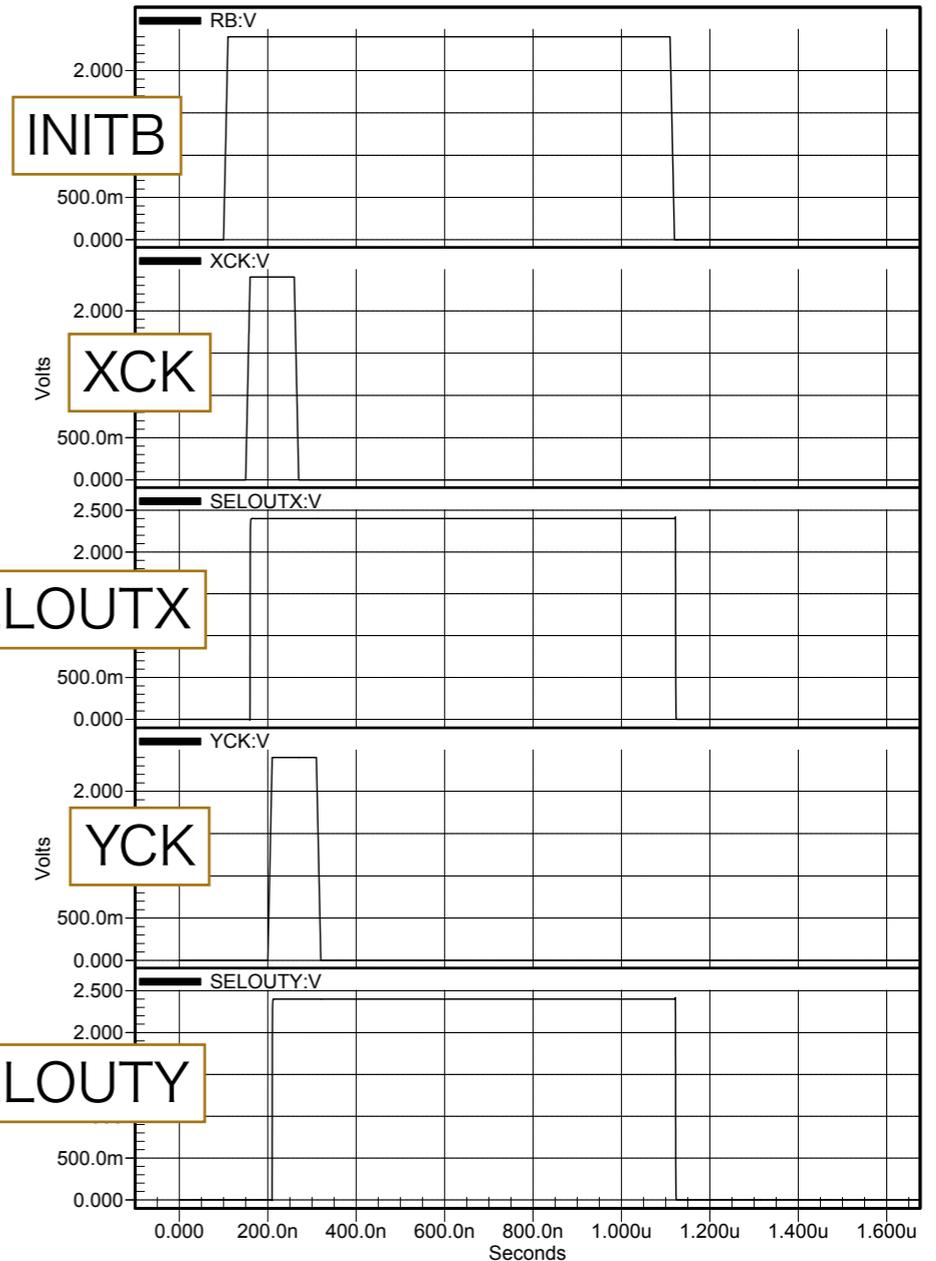
INITB

XCK

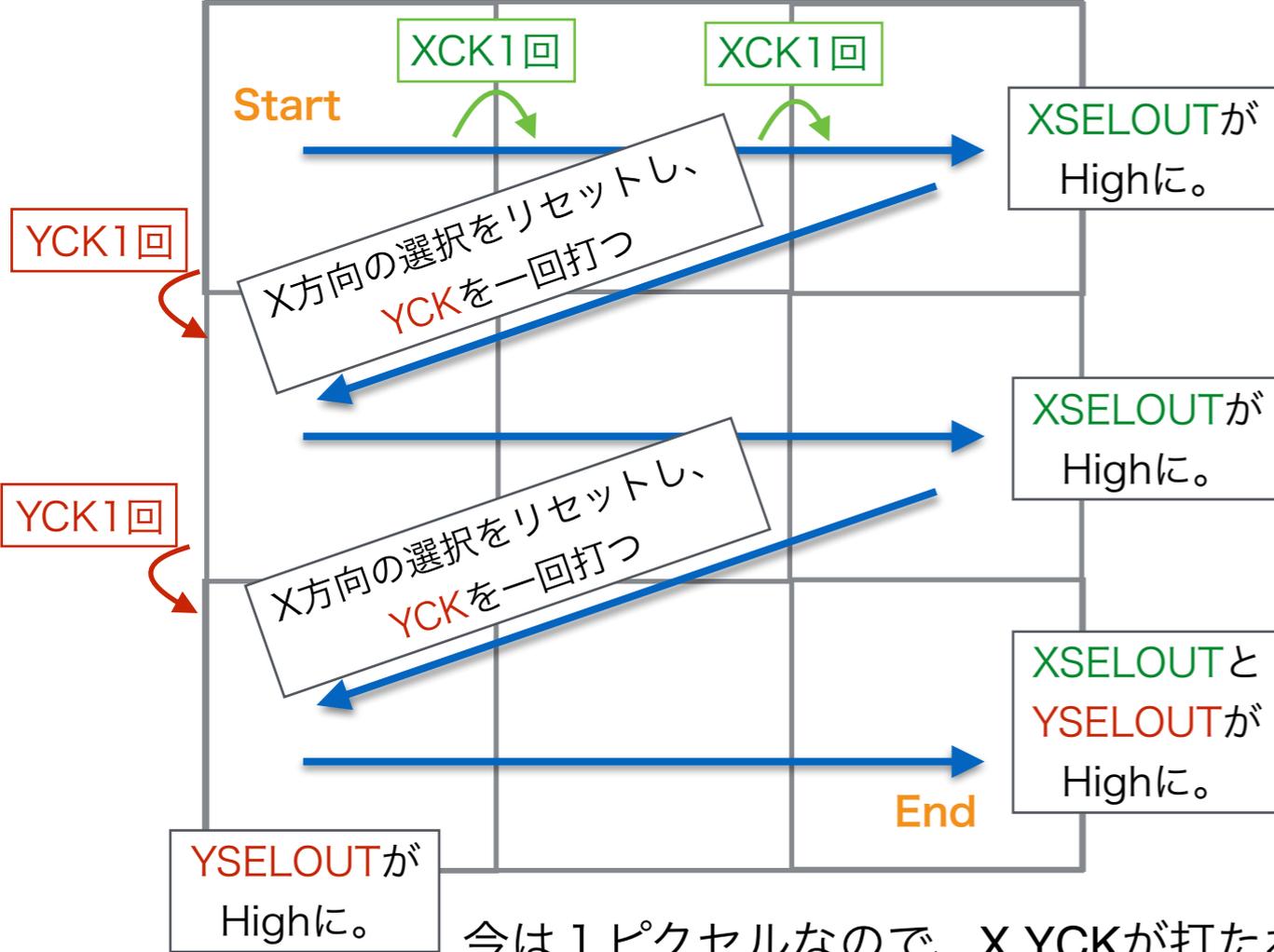
SELOUTX

YCK

SELOUTY



Pixel選択の流れ

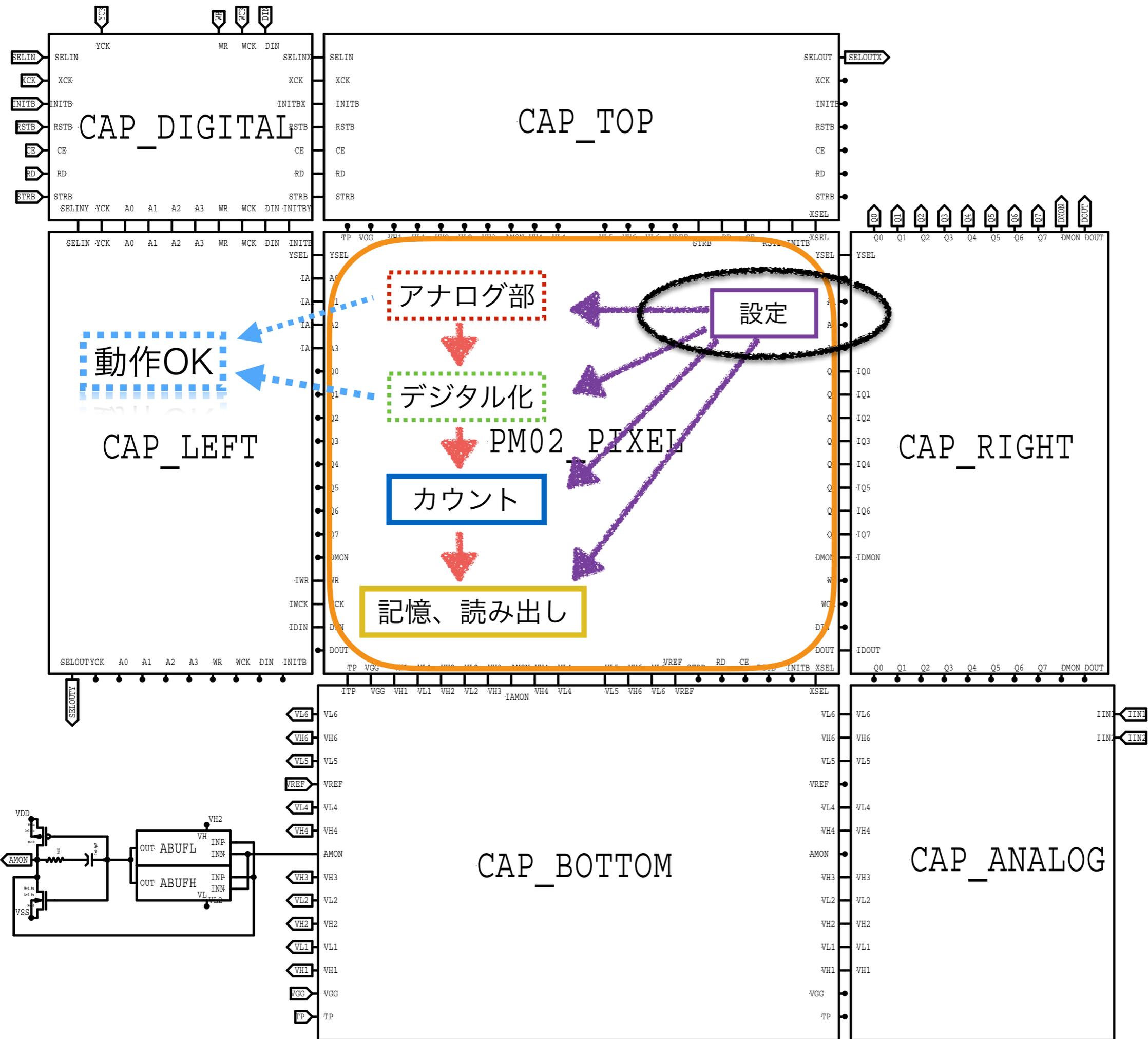


今は1ピクセルなので、X,YCKが打たれてすぐにX,YSELOUTがきちんと立っている。

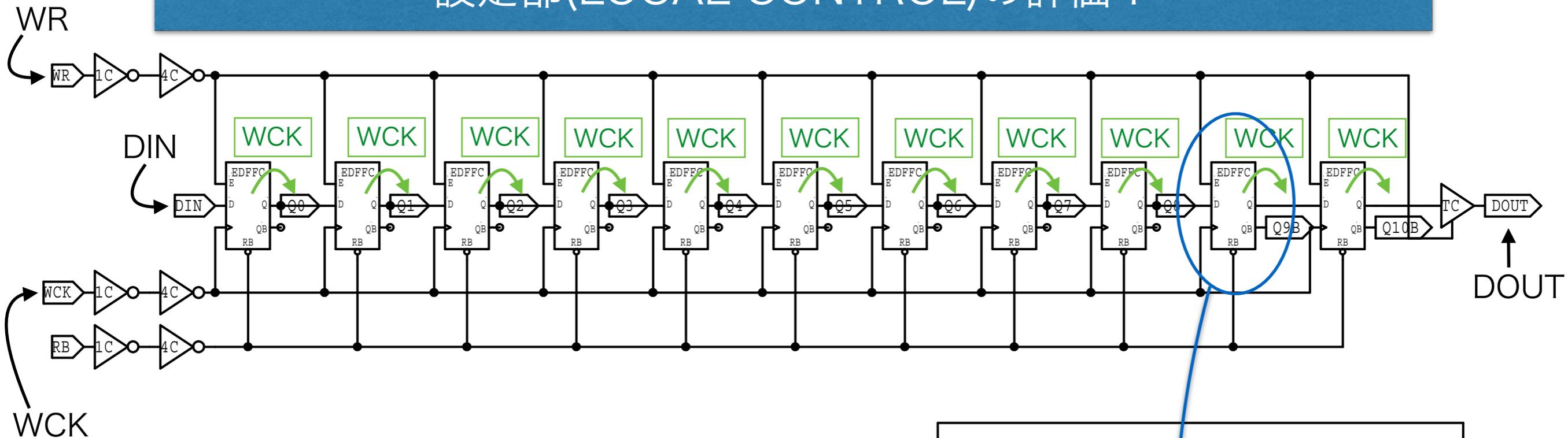
また、回路全体のON,OFF機能のINITBがオフになると、X,YSELOUTもきちんとOFFになっている。

正しく動作していると評価できた。

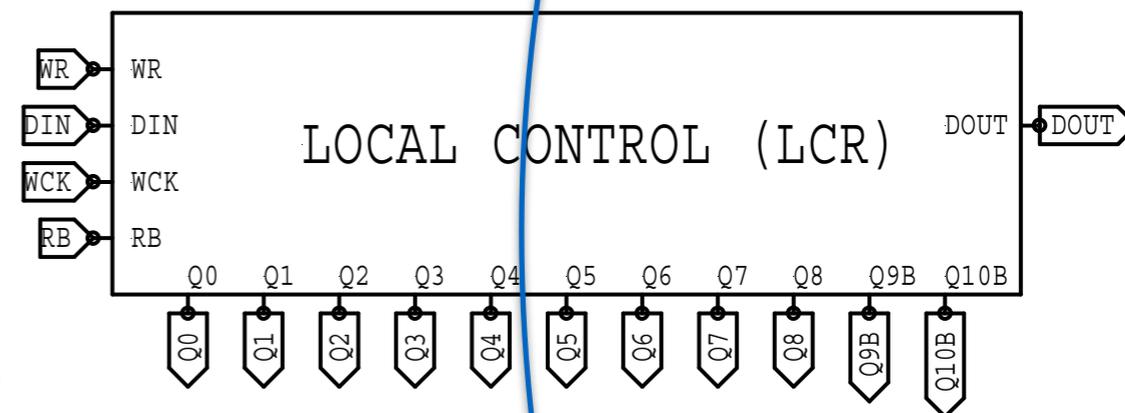
ピクセル部の評価



設定部(LOCAL CONTROL)の評価1



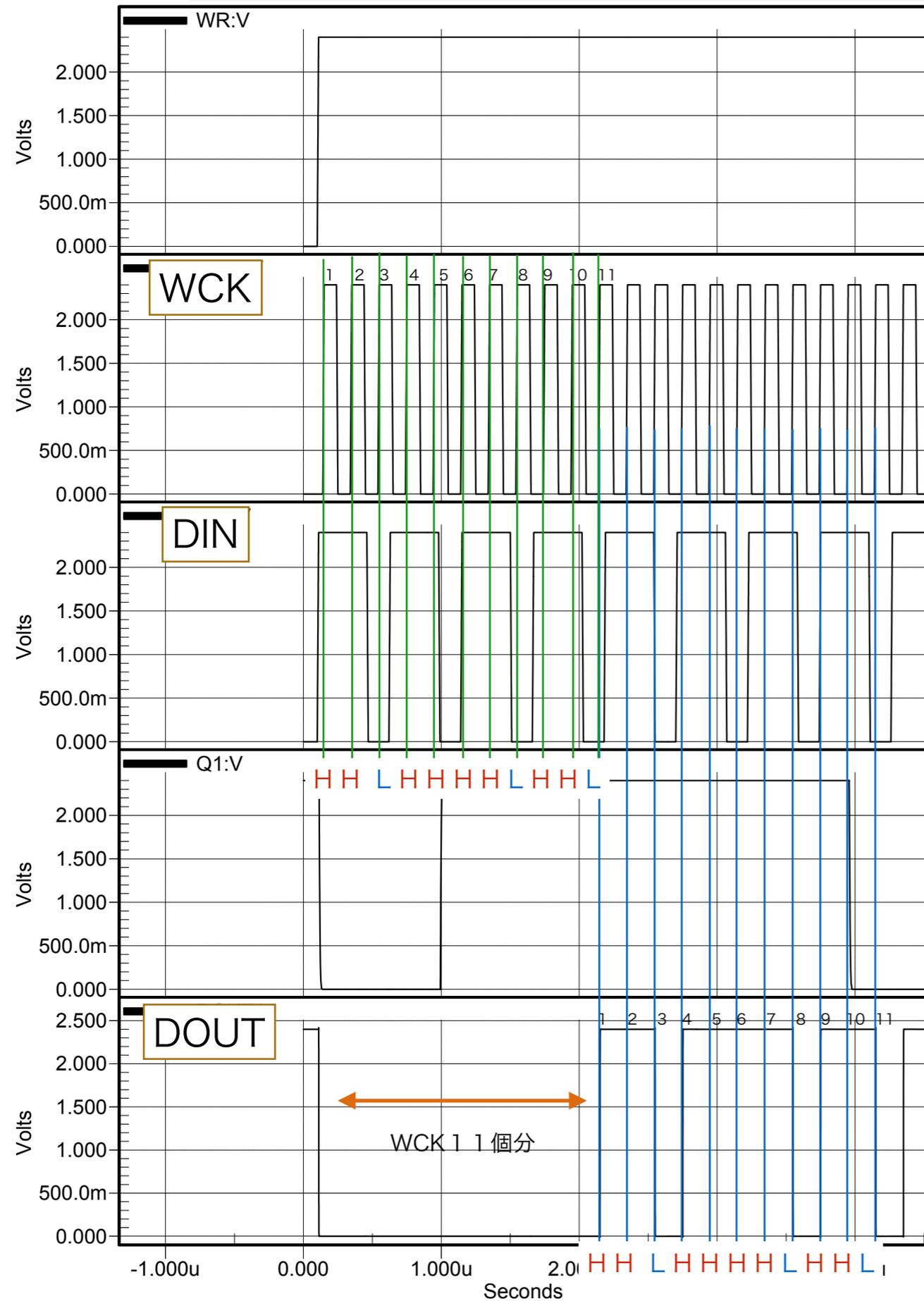
- WR : LCRでのDataの読み込みをEnableする信号。
- WCK : データを隣のEDFFFCに移動させる信号(Clock)。
- DIN : 入力信号(1番左のEDFFFCのD端子に入力)
- DOUT : 出力信号



EDFFFCが11個あるので、11回WCKが打たれると、DOUTにDINの出力が現れるはず。

CK信号が入力された時
(立ち上がり)のD端子の入力を
Qとして出力し続ける
(記憶する)。
E=Highの間、CKが有効に。

設定部(LOCAL CONTROL)の評価2



内容

WCKの周期と、DINの周期をずらして入力した。
WCKの立ち上がり(緑線)の時点でのDINが、11個のEDFFCに次々に記憶されていき、11回WCKが打たれるとDOUTに出力されていくはず。

結果

WCKが打ち込まれた時のDINは

HH LHHHHLHHL

という順番だった。

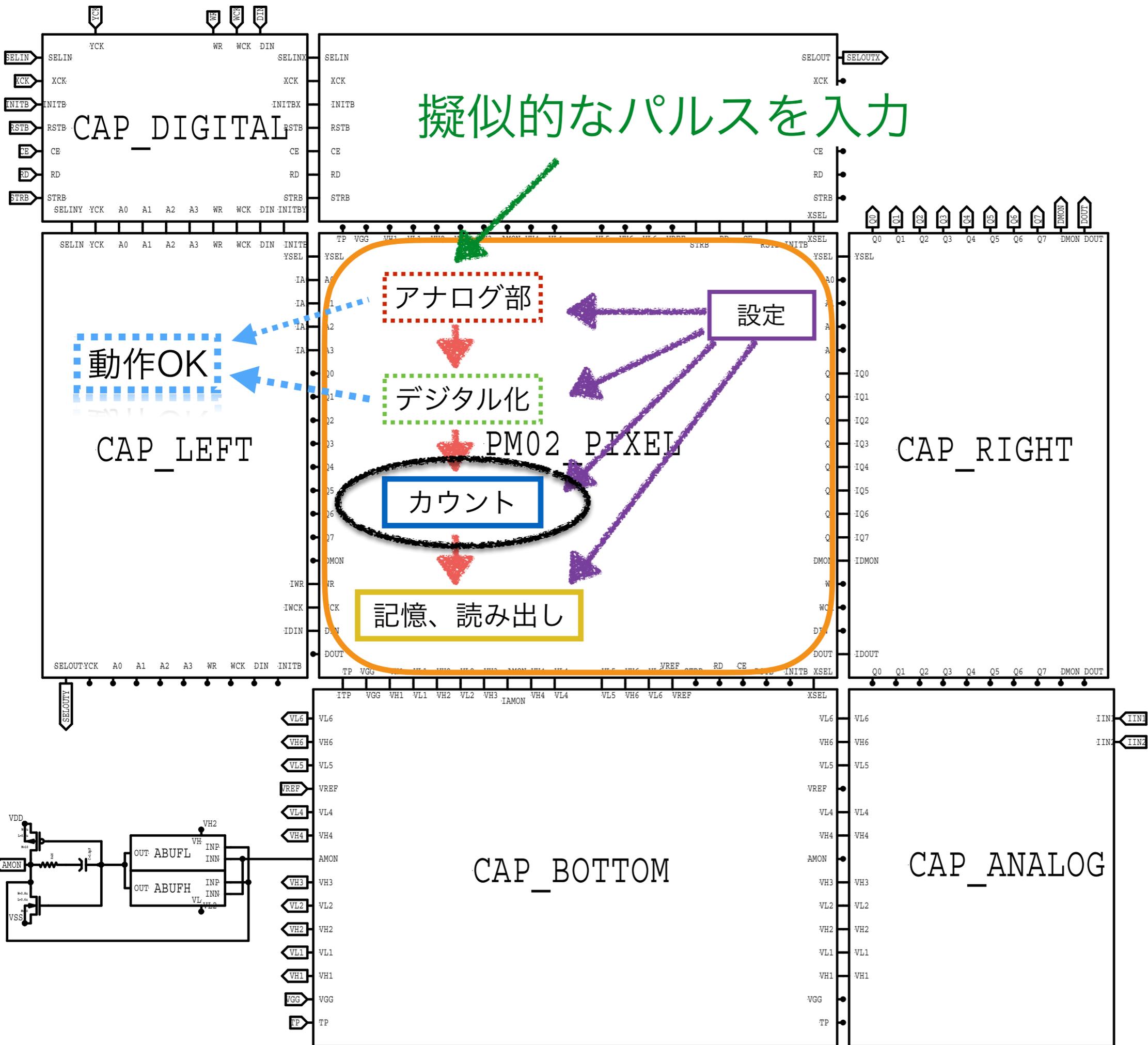
11回のWCKの後のDOUTはこれに対応して

HH LHHHHLHHL

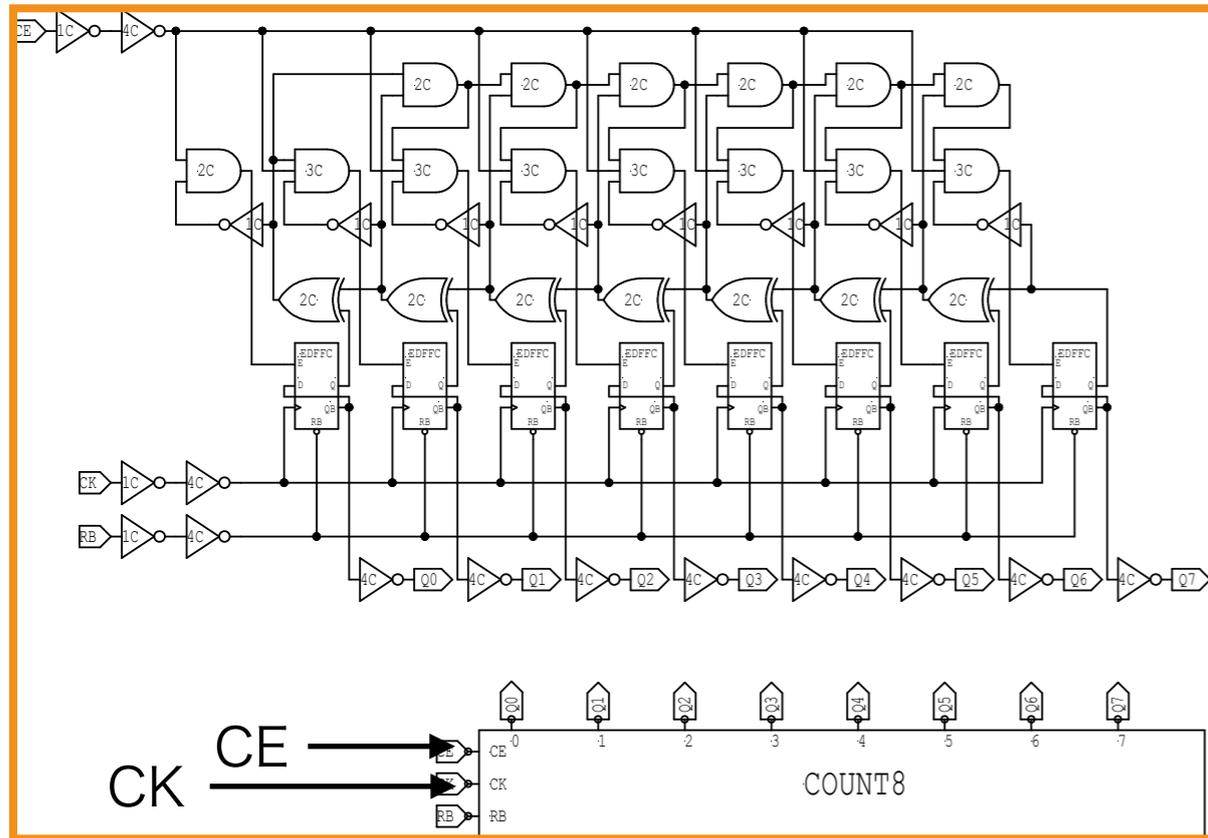
と出力されている。

正しく動作していると評価できた。

擬似的なパルスを入力



カウンタ部(COUNT8とGray2Binary)の評価1



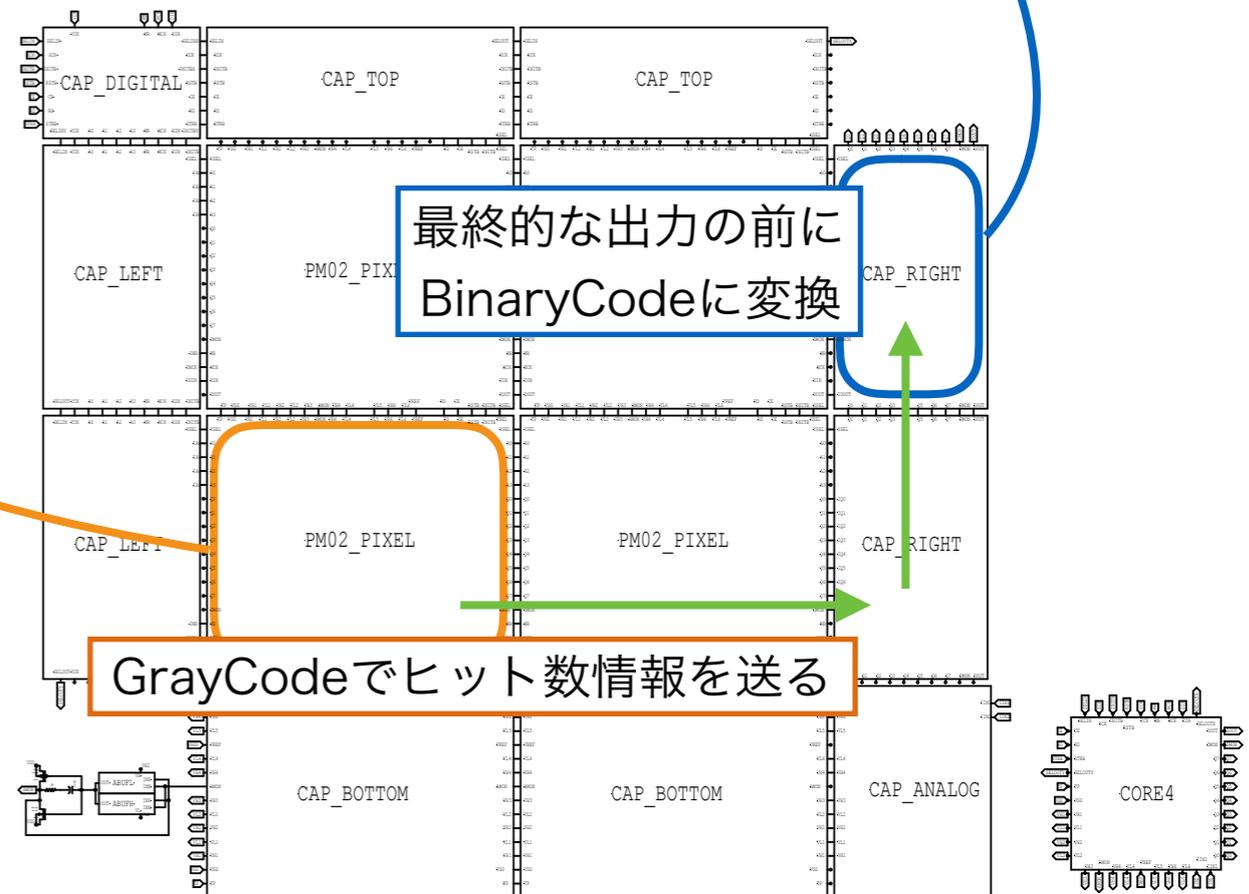
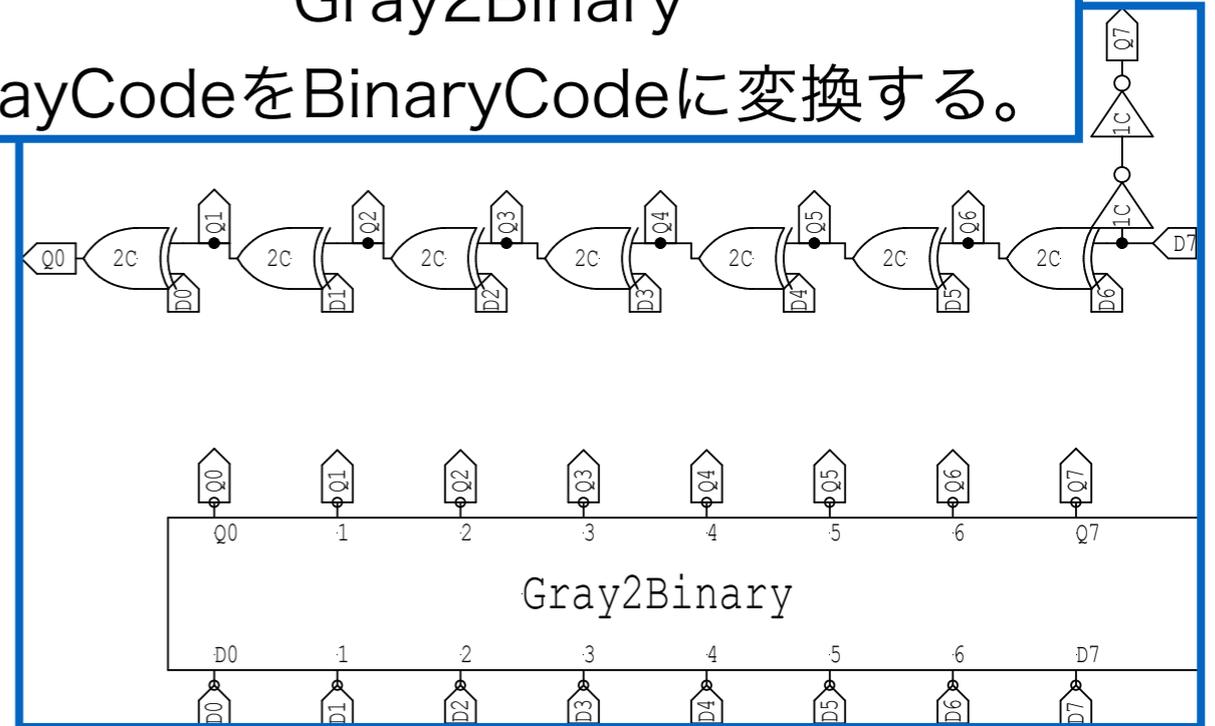
CK CE

COUNT8

COUNT8

8bitのヒット数カウンタ。
2進数(BinaryCode)ではなく、
GrayCodeでカウントしていく。
(CEがHighの間)

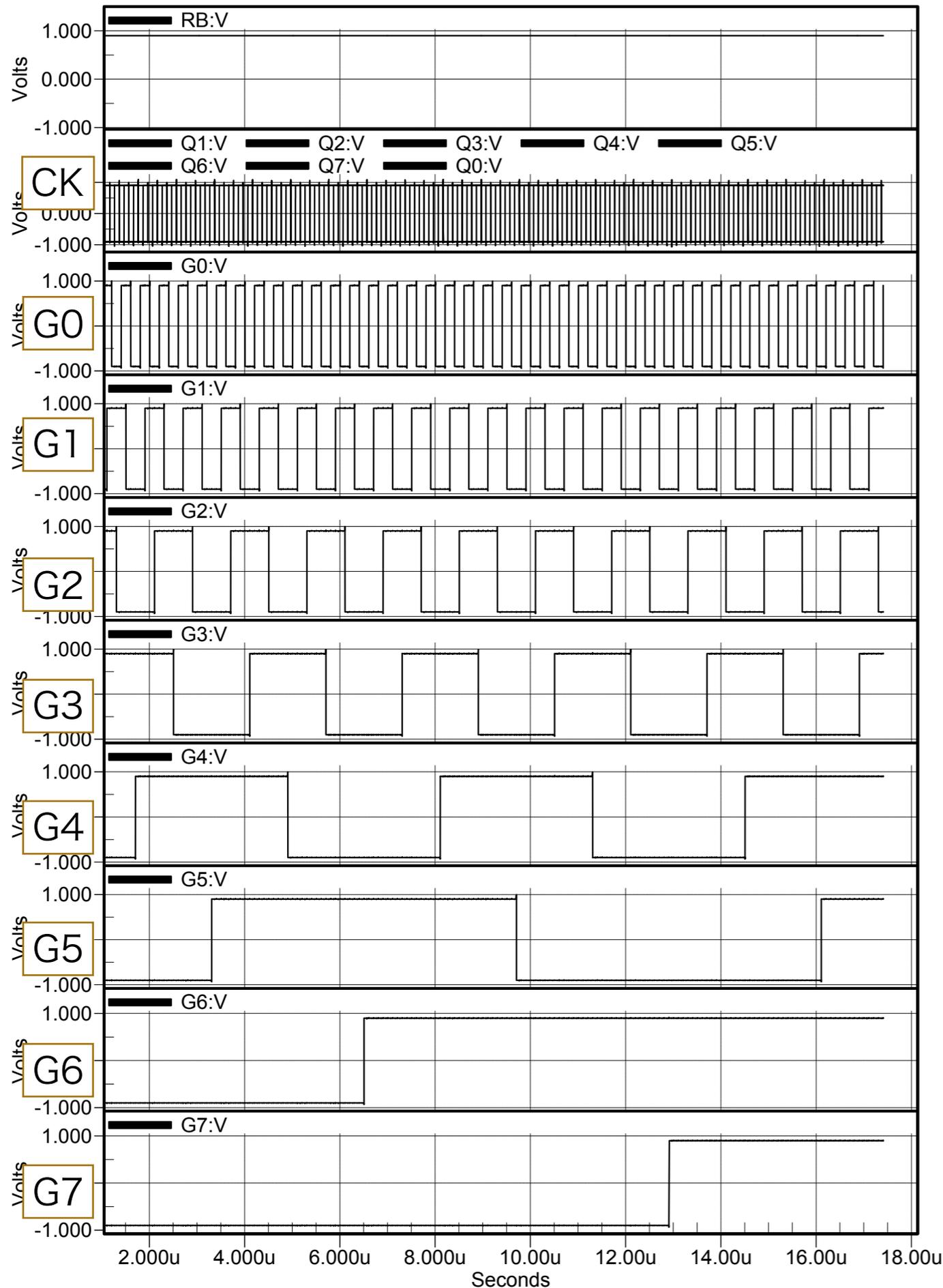
Gray2Binary GrayCodeをBinaryCodeに変換する。



最終的な出力の前に
BinaryCodeに変換

GrayCodeでヒット数情報を送る

カウンタ部(COUNT8とGray2Binary)の評価2



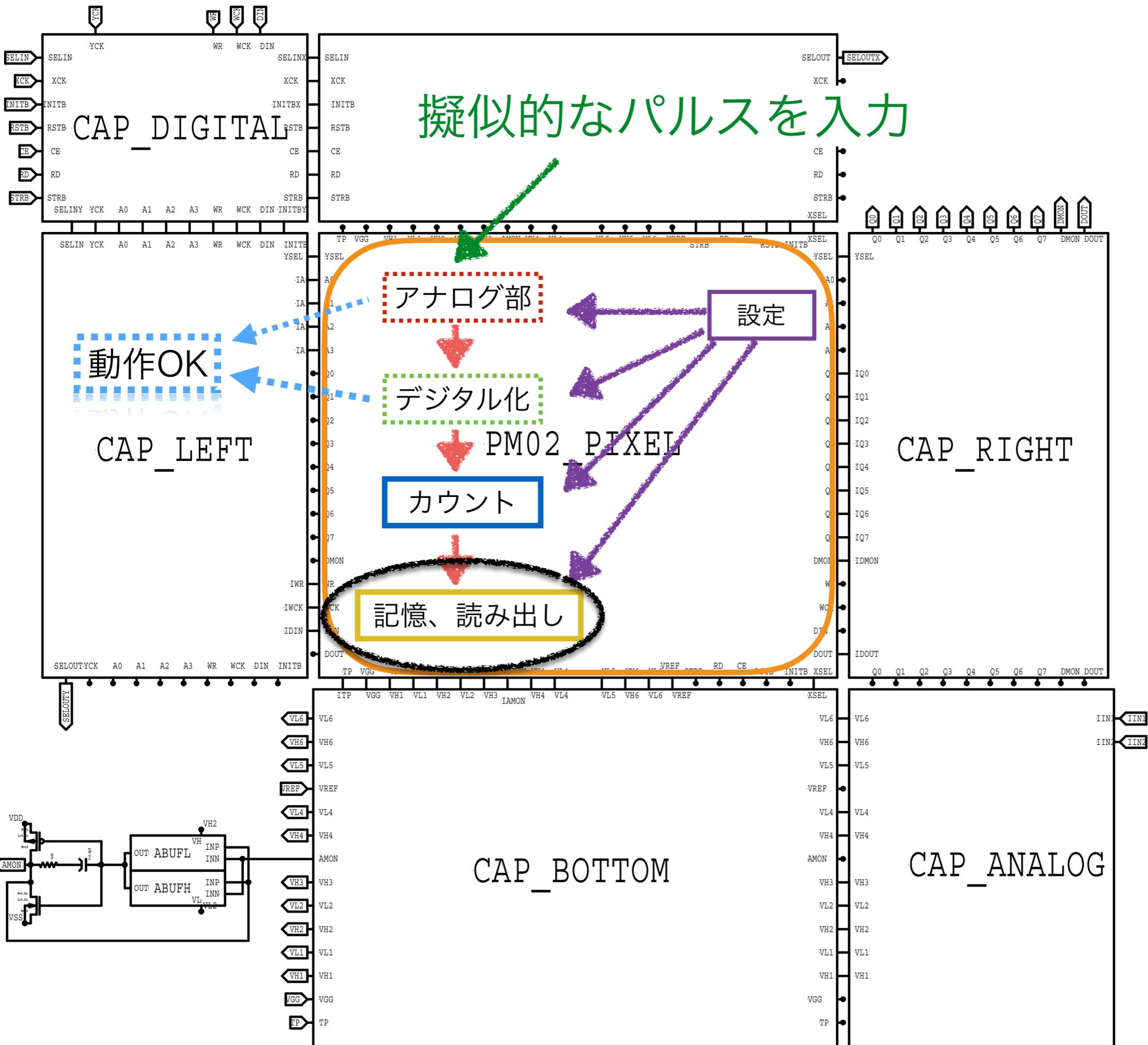
内容

ヒット信号として連続的なパルス(CK)を入力。最終的に最上流でBinaryCodeに変換されて出てくる信号(G0~G7)が正しくカウントしているか確認。

結果

G0~G7(8端子の出力)がきちんと値を増やしていつている。
正しく動作していると評価できた。

擬似的なパルスを入力



記憶、読み出し部(REGBNK16)の評価1

内容

- 1) CEがHighの間、COUNT8がTP(テストパルス)の回数をカウントする。
- 2) STRBでSEL信号を変えながらLATCH8にLoadさせる。
- 3) STRBでSEL信号を変えながら、LATCH8に保存されているカウント値をQ0~Q7として読み出す。

信号名	Period	Width
STRB	2 μ sec	1 μ sec
TP	800nsec	400nsec

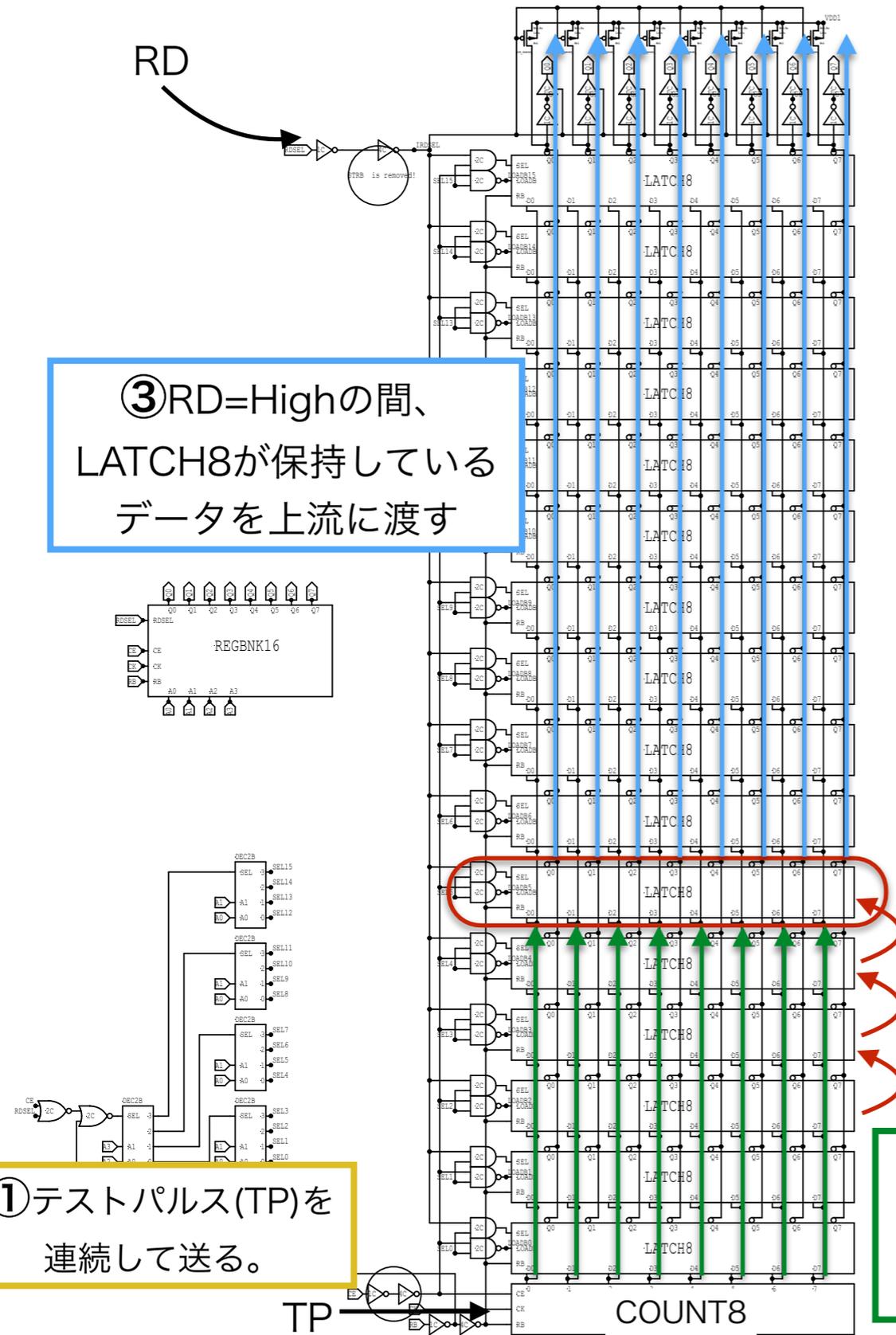
右のような信号 →
 を入力したので、**値は2~3ずつ増えていくはず。(単調増加)**

STRB信号の立ち下がりのタイミングでSELを変更

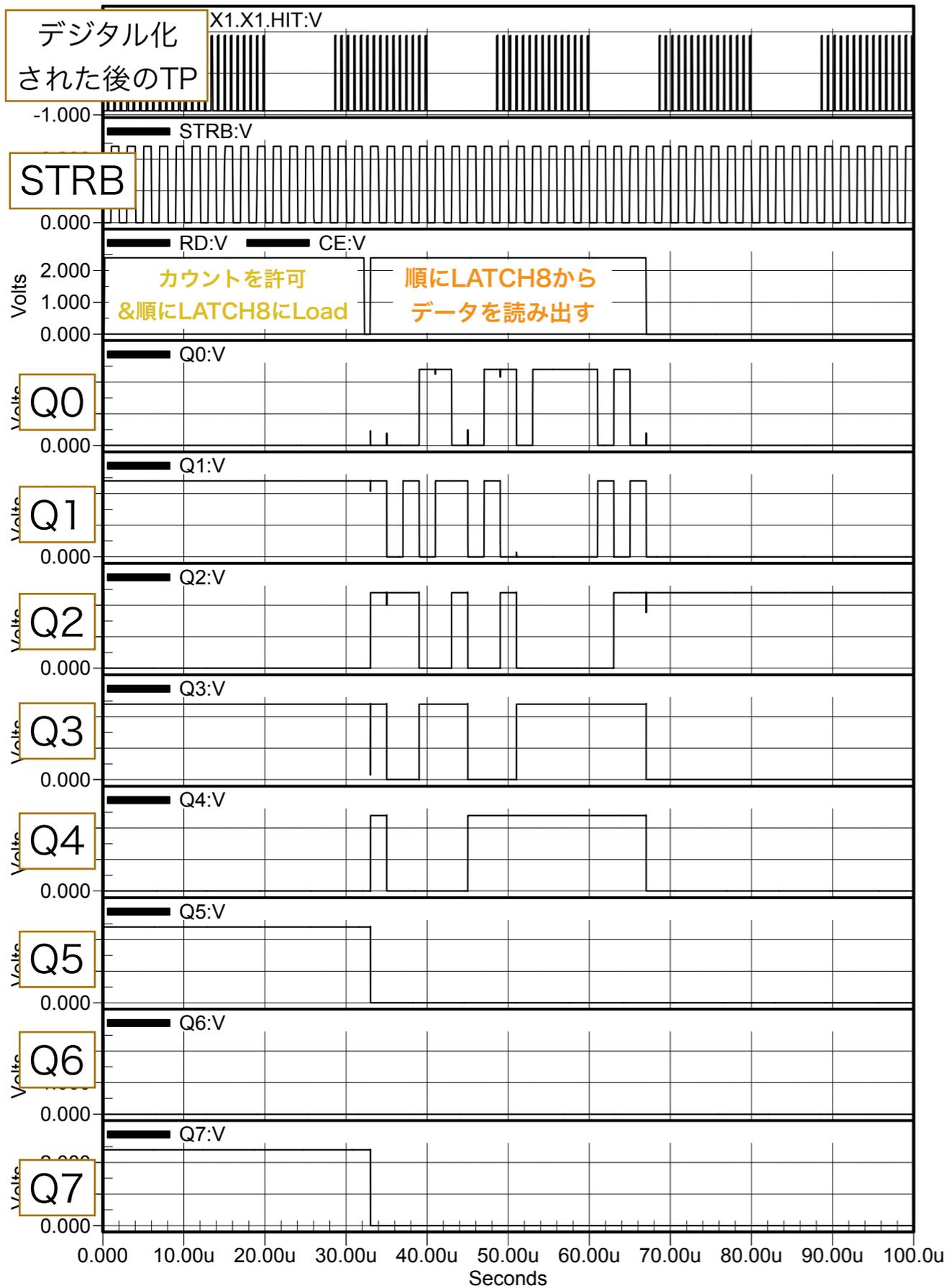
②カウントを許可している間 (CE=High)、COUNT8の出力をSELで選ばれているLATCH8にLoad

③RD=Highの間、LATCH8が保持しているデータを上流に渡す

①テストパルス(TP)を連続して送る。



記憶、読み出し部(REGBNK16)の評価2



内容

初期回路に対してかけたシミュレーションと同じ条件でシミュレーションを行った。

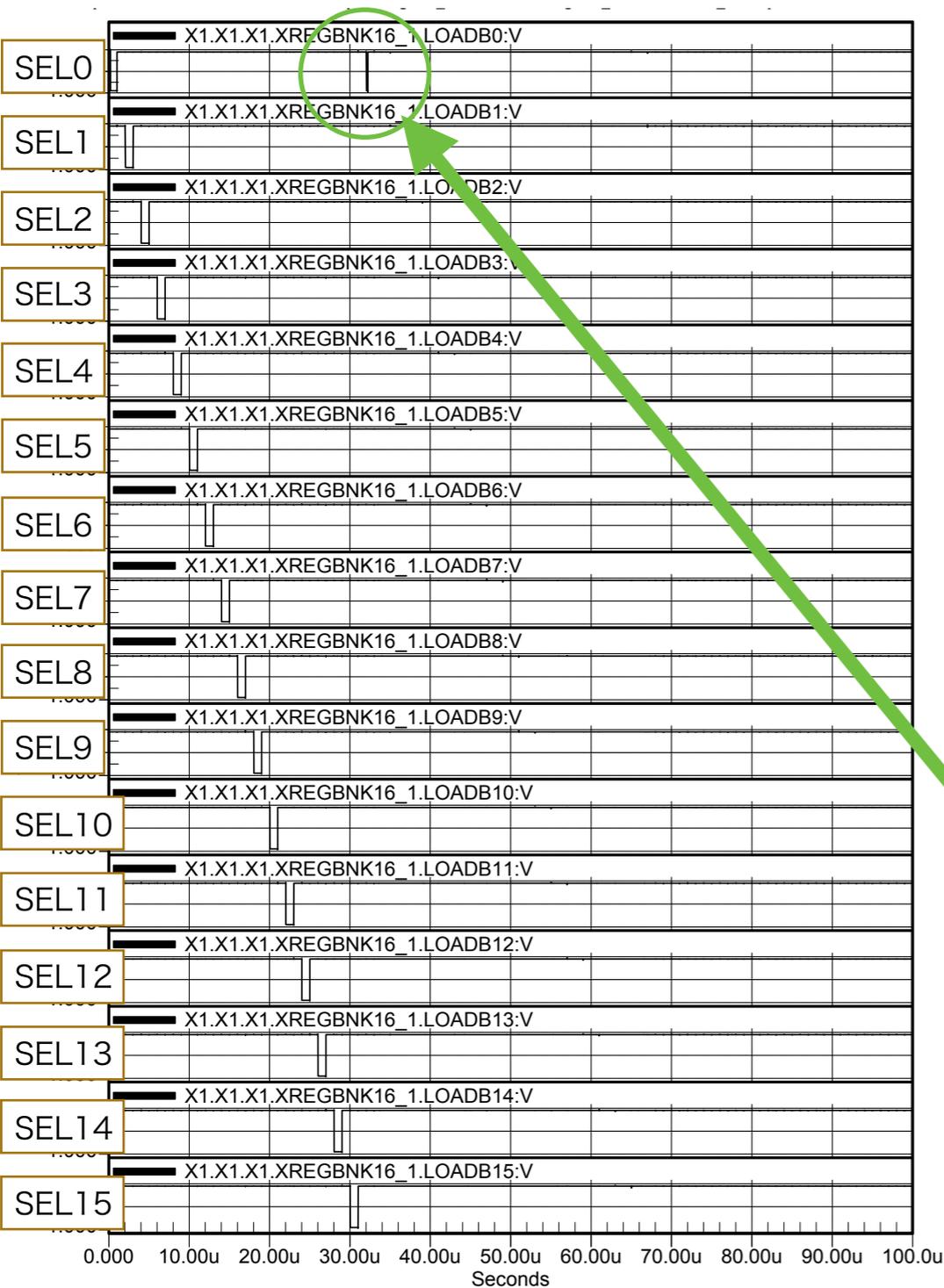
信号名	Period	Width
STRB	2 μ sec	1 μ sec
TP	800nsec	400nsec

結果

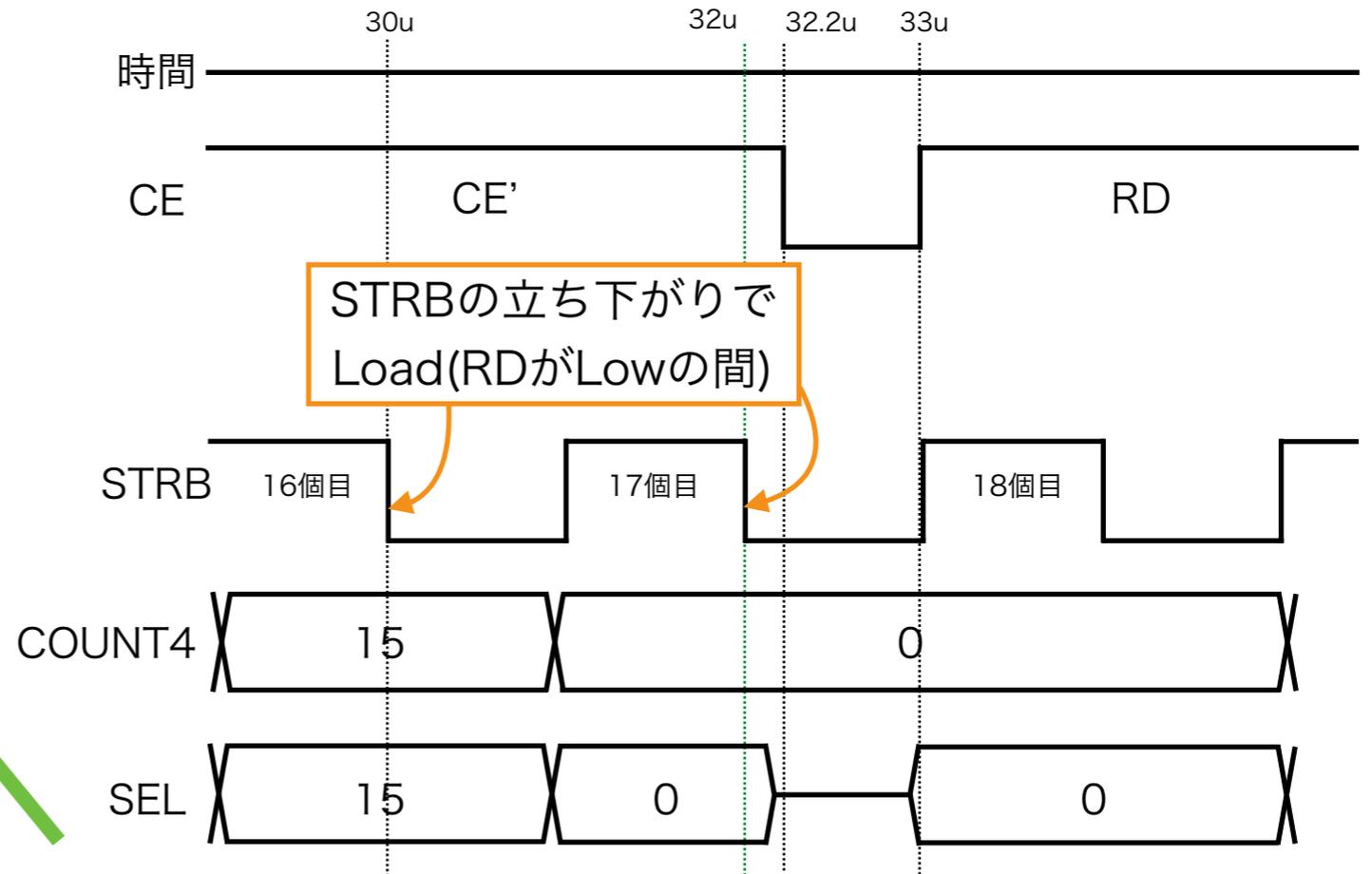
31 -> 4 -> 6 -> 9 -> 11 -> 14 ... となり、SEL0以外は単調増加している。

問題点だった、Read中にDataが上書きされるとい事は起こっておらず、正常に動作している。

記憶、読み出し部(REGBNK16)の評価3



CE' : Delay 200n Width 32u
 RD : Delay 33u Width 33u
 STRB : Delay 1u Width 1u Period 2u



STRBの立ち下がり
Load(RDがLowの間)

SEL0が選択された状態で、STRBの立ち下がりが来てる&RDがLow
なので、もう一度SEL0にCOUNT8の値(31)がLoadされる。

回路に問題があるのではなく、今回のシミュレーション条件が原因
だとわかった。つまり、**回路は正しく動作していると評価できた。**

オペレーションを間違えなければ問題無い。
今回の条件を参考に出来る。

まとめと今後

まとめと今後 1

ビームパラメーター再構成の研究まとめ

- N_{all} : ビームサイズに関わる (α_x, α_y) , ビーム位置のずれ δ_y の変化に対する $1/N_{all}$ の変化が RDR, TDR で類似。 → **再構成可能だと期待** される。
- ϕ : α_x, α_y の変化に対する ϕ の変化が RDR, TDR で類似 → **再構成可能だと期待** される。

ビームパラメーター再構成の研究の今後

- TDR で生成された Pair background が、ソレノイド磁場中を運動し、ペアモニターにどのようにヒットするかをシミュレーション
- ヒット情報からのビームパラメーター再構成の方法を探る

まとめと今後2

読み出し回路のシミュレーション研究まとめ

- ・ 1ピクセルを備えた読み出し回路の評価を終えた。

—回路全体の動作

- IIN1, IIN2に関わる抵抗値を25.5k Ω とすべきだと評価
- XCK, YCK, XSELOUT, YSELOUT, INITB

—ピクセル部分の動作

- LCR
- COUNT8
- REGBNK16：初期回路で意図しない動作が発覚し、2回の修正を行い、正しく動作すると評価

読み出し回路のシミュレーション研究の今後

- ・ 4 → 16 → 25 → とピクセル数を増やした環境下でも回路がうまく動作するかを評価する。

図参考

[1] The International Linear Collider Technical Design Report

[2] 佐藤 優太郎、修士論文「国際リニアコライダーのための衝突点ビーム形状モニターの研究開発」、東北大学 (平成 21 年)

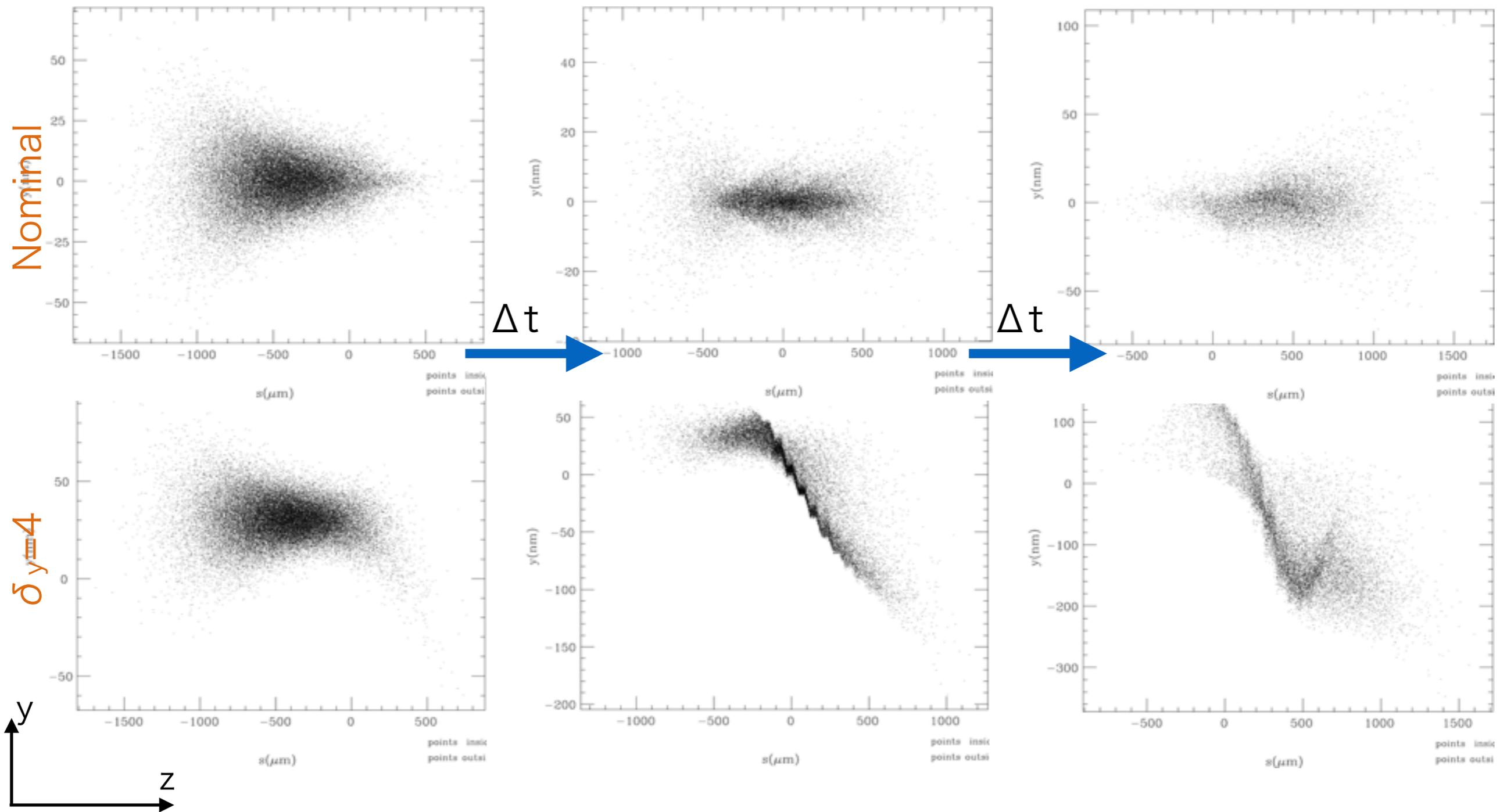
Backups

RDR,TDRのビームパラメーターの変化

パラメーター		2007年 RDR	2013年 TDR	単位
ルミノシティ	L	2.0	1.8	$10^{34} cm^{-2} s^{-1}$
1 train 中の bunch 数	n_b	2625	1312	
bunch の間隔	Δt_b	369	554	ns
IP RMS 水平方向ビームサイズ	σ_x^*	640	474	nm
IP RMS 垂直方向ビームサイズ	σ_y^*	5.7	5.9	nm
垂直方向エミッタンス	$\gamma\epsilon_y$	40	35	nm
IP 水平方向ベータ関数	β_x^*	20	11.0	mm
IP 垂直方向ベータ関数	β_y^*	0.4	0.48	mm

ビームの衝突前後の時間発展の様子

δy 依存性



10進数、Binary Code、Gray Codeの対応

10進数	Binary Code	Gray Code
0	0000	0000
1	0001	0001
2	0010	0011
3	0011	0010
4	0100	0110
5	0101	0111
6	0110	0101
7	0111	0100
8	1000	1100
9	1001	1101
10	1010	1111
11	1011	1110
12	1100	1010
13	1101	1011
14	1110	1001
15	1111	1000

隣り合う数値に対応するCodeの変化

- Binary Code : 1ビットの違いしかない。
- Gray Code : 複数のビットが変化



各ビットが変化している途中で読み出してしまった場合、実際の情報からのズレは

- Binary Code : 大きくなる可能性あり
- Gray Code : せいぜい1



Gray Codeの方が情報損失が少ない

ビームパラメータ再構成について

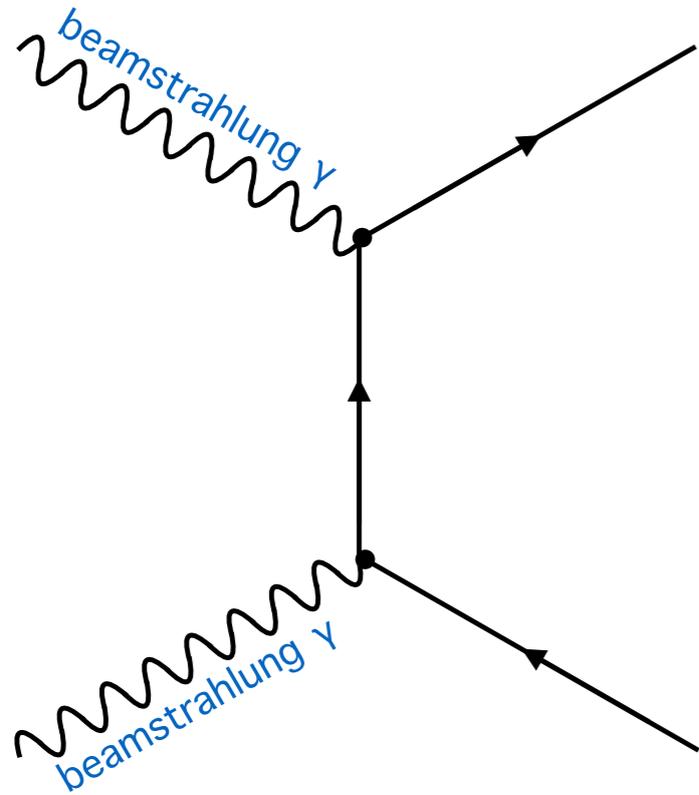
$$\begin{pmatrix} \omega_1 \cdot \Delta I / N_{all} \\ \omega_2 \cdot \Delta R_{max} \\ \omega_3 \cdot \Delta N_d / N_{all} \\ \omega_4 \cdot \Delta N_U / N_D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \omega_1 \cdot \frac{\partial I / N_{all}}{\partial \sigma_y} & \omega_1 \cdot \frac{\partial I / N_{all}}{\partial \sigma_x} & \omega_1 \cdot \frac{\partial I / N_{all}}{\partial \delta_y} \\ \omega_2 \cdot \frac{\partial R_{max}}{\partial \sigma_y} & \omega_2 \cdot \frac{\partial R_{max}}{\partial \sigma_x} & \omega_2 \cdot \frac{\partial R_{max}}{\partial \delta_y} \\ \omega_3 \cdot \frac{\partial N_d / N_{all}}{\partial \sigma_y} & \omega_3 \cdot \frac{\partial N_d / N_{all}}{\partial \sigma_x} & \omega_3 \cdot \frac{\partial N_d / N_{all}}{\partial \delta_y} \\ \omega_4 \cdot \frac{\partial N_U / N_D}{\partial \sigma_y} & \omega_4 \cdot \frac{\partial N_U / N_D}{\partial \sigma_x} & \omega_4 \cdot \frac{\partial N_U / N_D}{\partial \delta_y} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \Delta \sigma_y \\ \Delta \sigma_x \\ \Delta \delta_y \end{pmatrix} \\
 + \begin{pmatrix} \Delta \sigma_y \\ \Delta \sigma_x \\ \Delta \delta_y \end{pmatrix} \cdot (O(2)) \cdot \begin{pmatrix} \Delta \sigma_y \\ \Delta \sigma_x \\ \Delta \delta_y \end{pmatrix}$$

R_{max} : N_{all} の 97.5% のヒット数を含む半径

N_d / N_{all} : 領域 d を、 $0.6 \times R_{max} < R < 0.8 \times R_{max}$, $-\pi < \phi < 2.0$, $2.8 < \phi < \pi$ として定義し、このエリアのヒット数を N_{all} で割ったもの

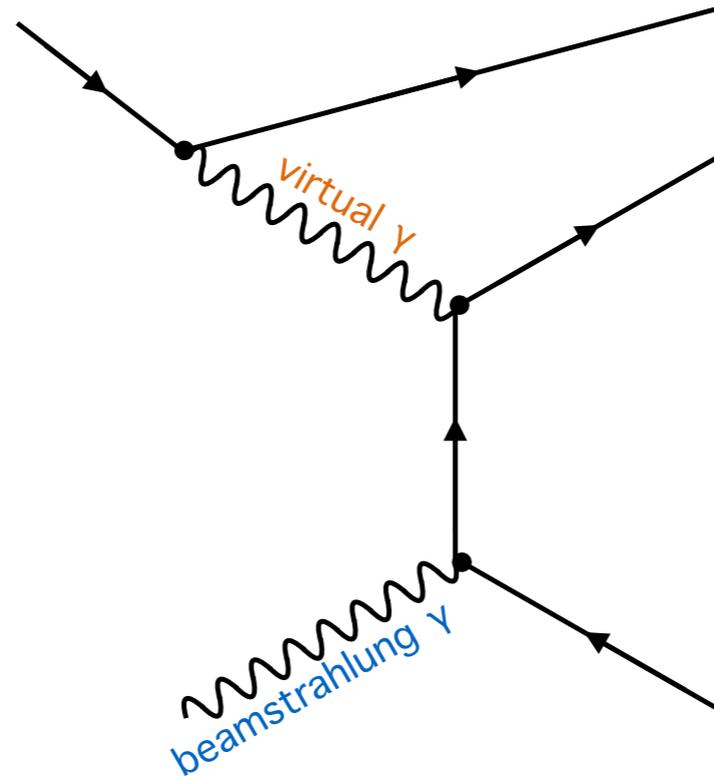
N_U / N_D : 領域 D を、 $R < 0.8 \times R_{max}$, $-\pi < \phi < 2.0$, $2.8 < \phi < \pi$ として定義し、また領域 U を $R < 0.8 \times R_{max}$, $0.8 < \phi < 1.6$ として定義し、これらの比を取ったもの。

Pair backgroundの生成過程



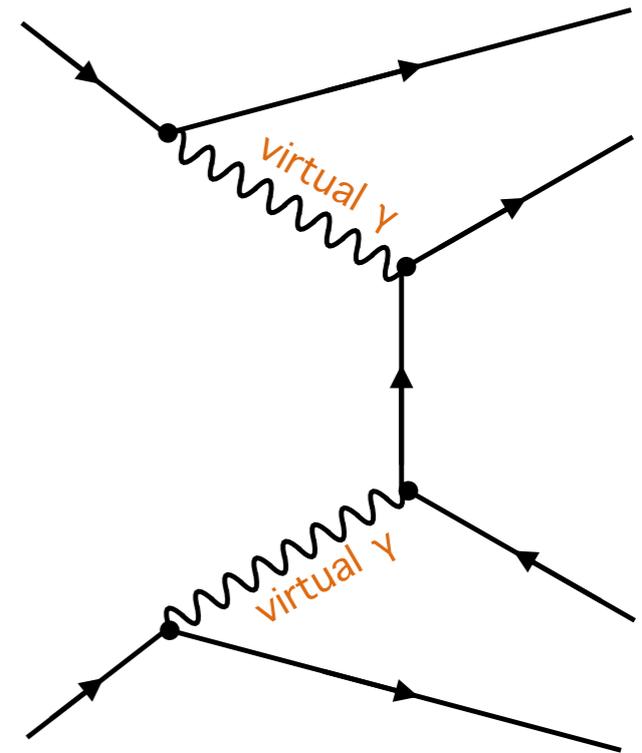
Breit-Wheeler 過程

$$(\gamma\gamma \rightarrow e^+e^-)$$



Bethe-Heitler過程

$$(e^\pm\gamma \rightarrow e^\pm e^+e^-)$$

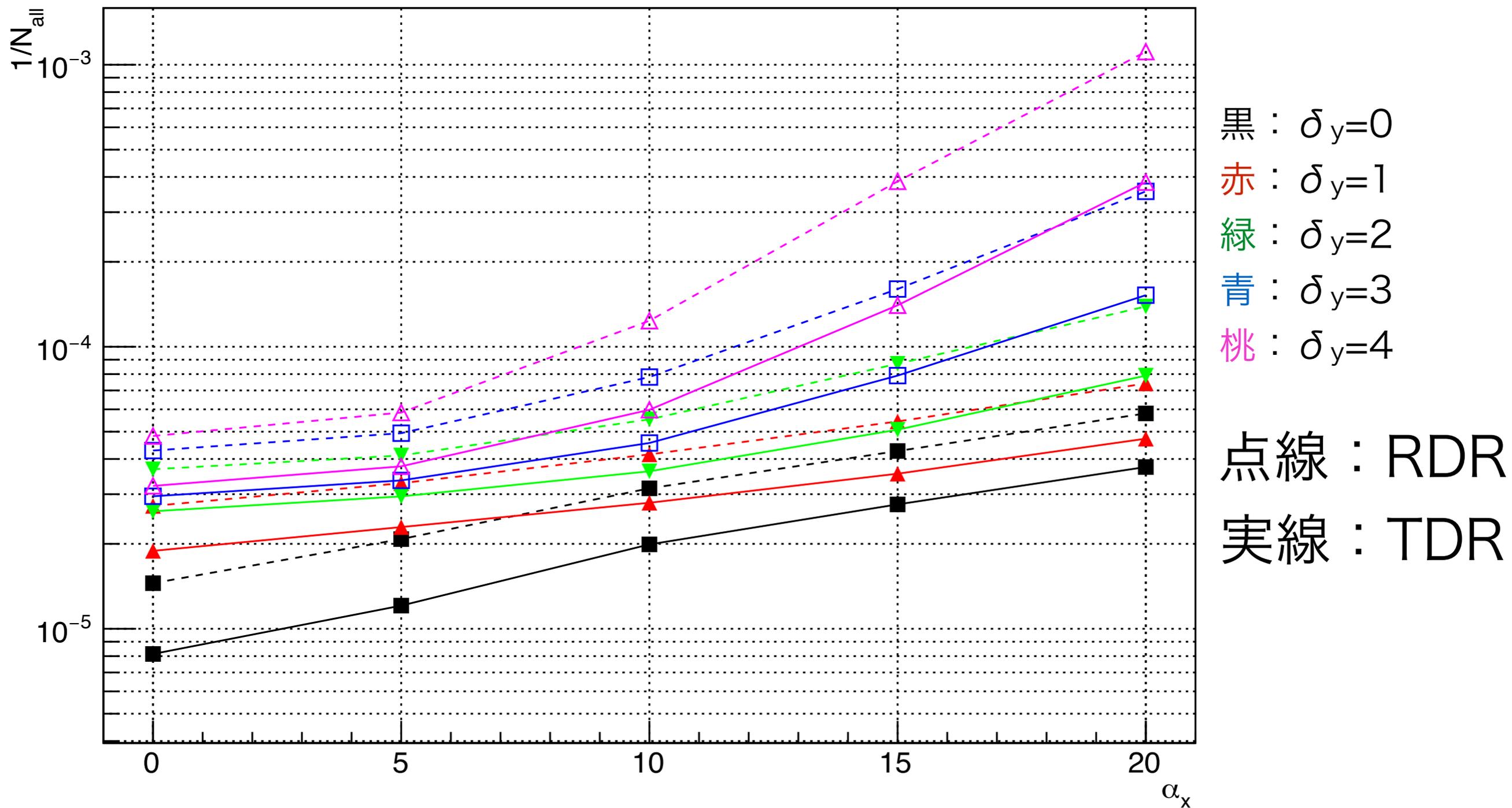


Bethe-Heitler過程

$$(e^\pm e^\pm \rightarrow e^\pm e^+e^-)$$

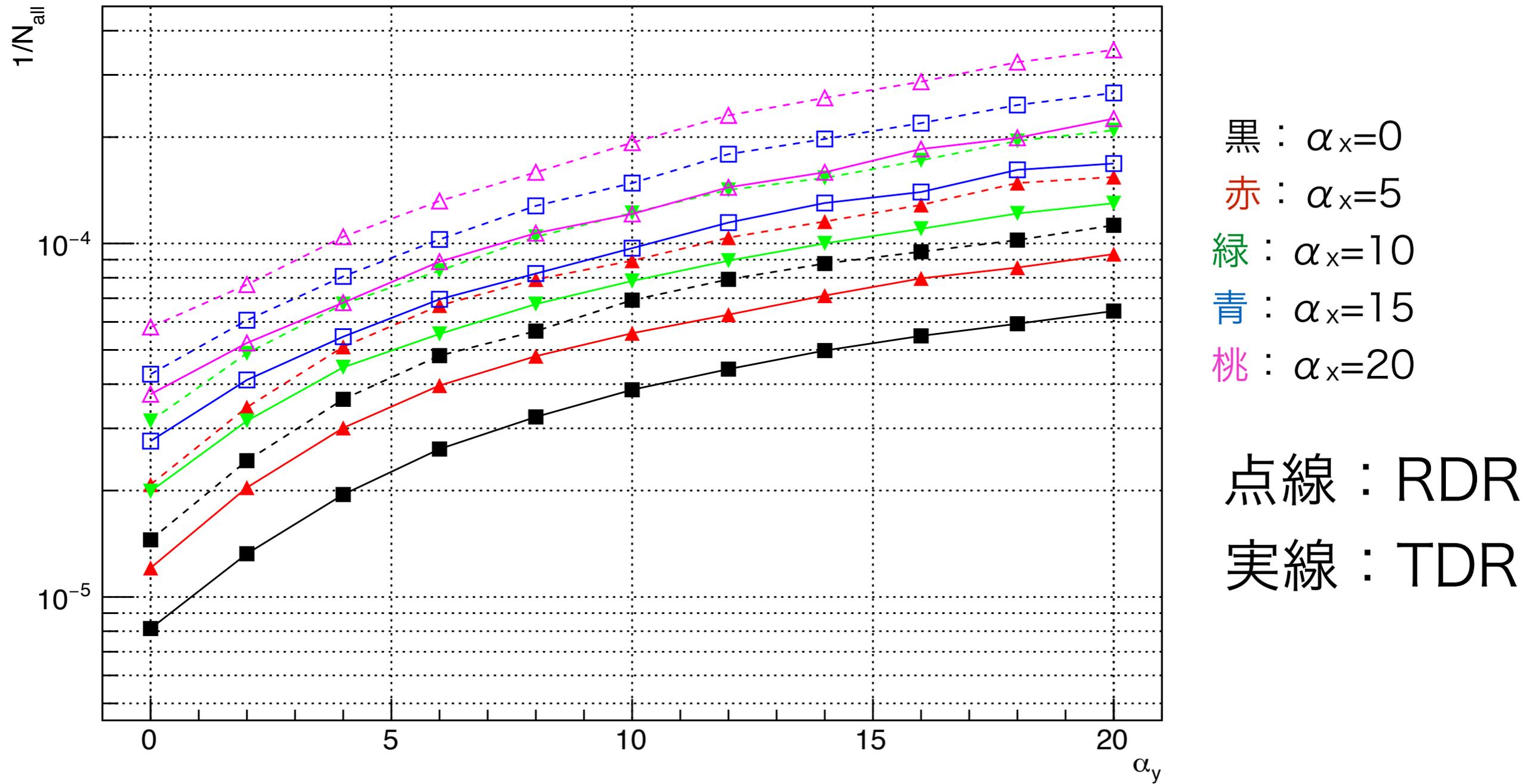
N_{all} の α_x, δ_y 依存性

RDR & TDR $E_{\text{cm}}=500\text{GeV}$

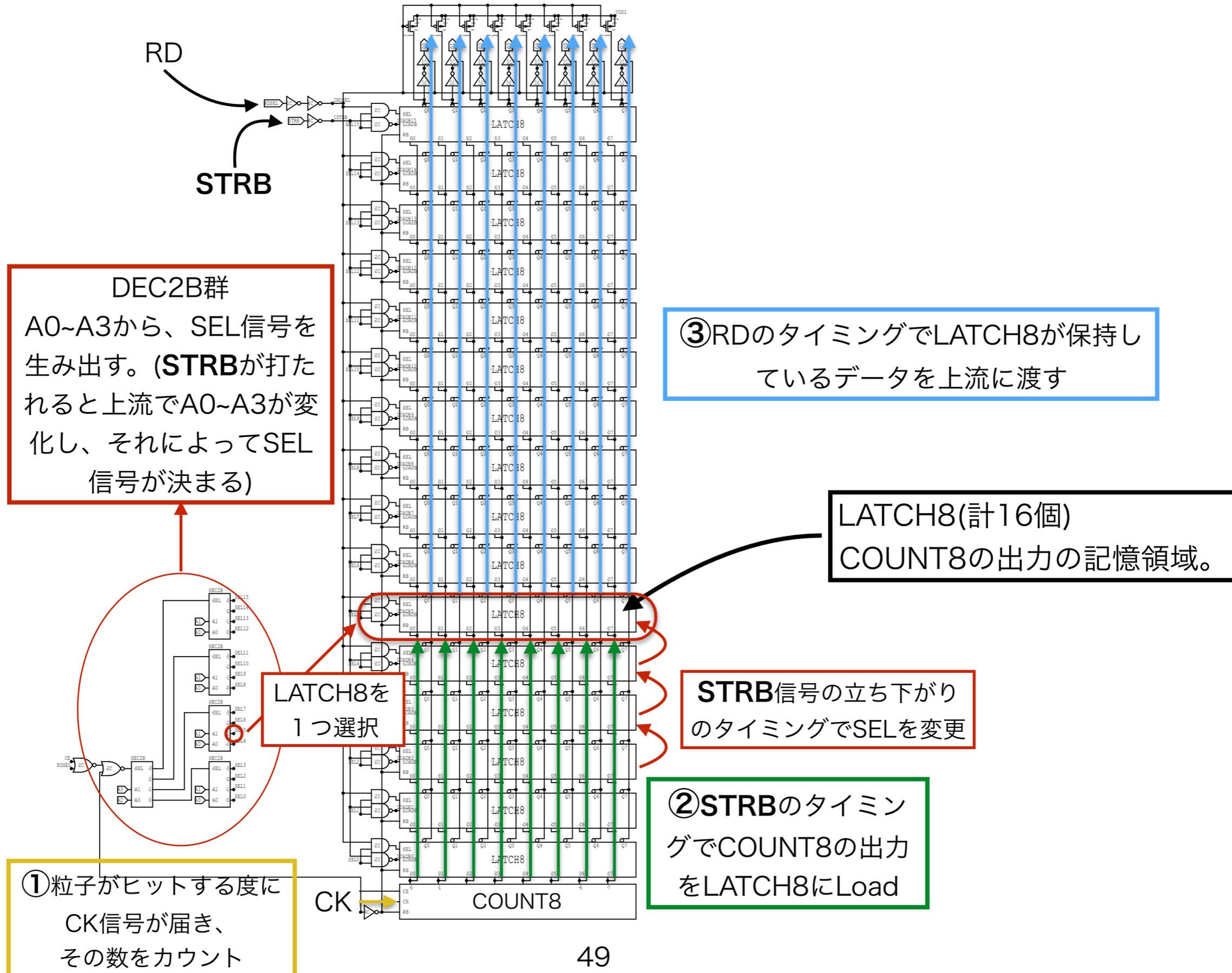


N_{all} の α_x, α_y 依存性

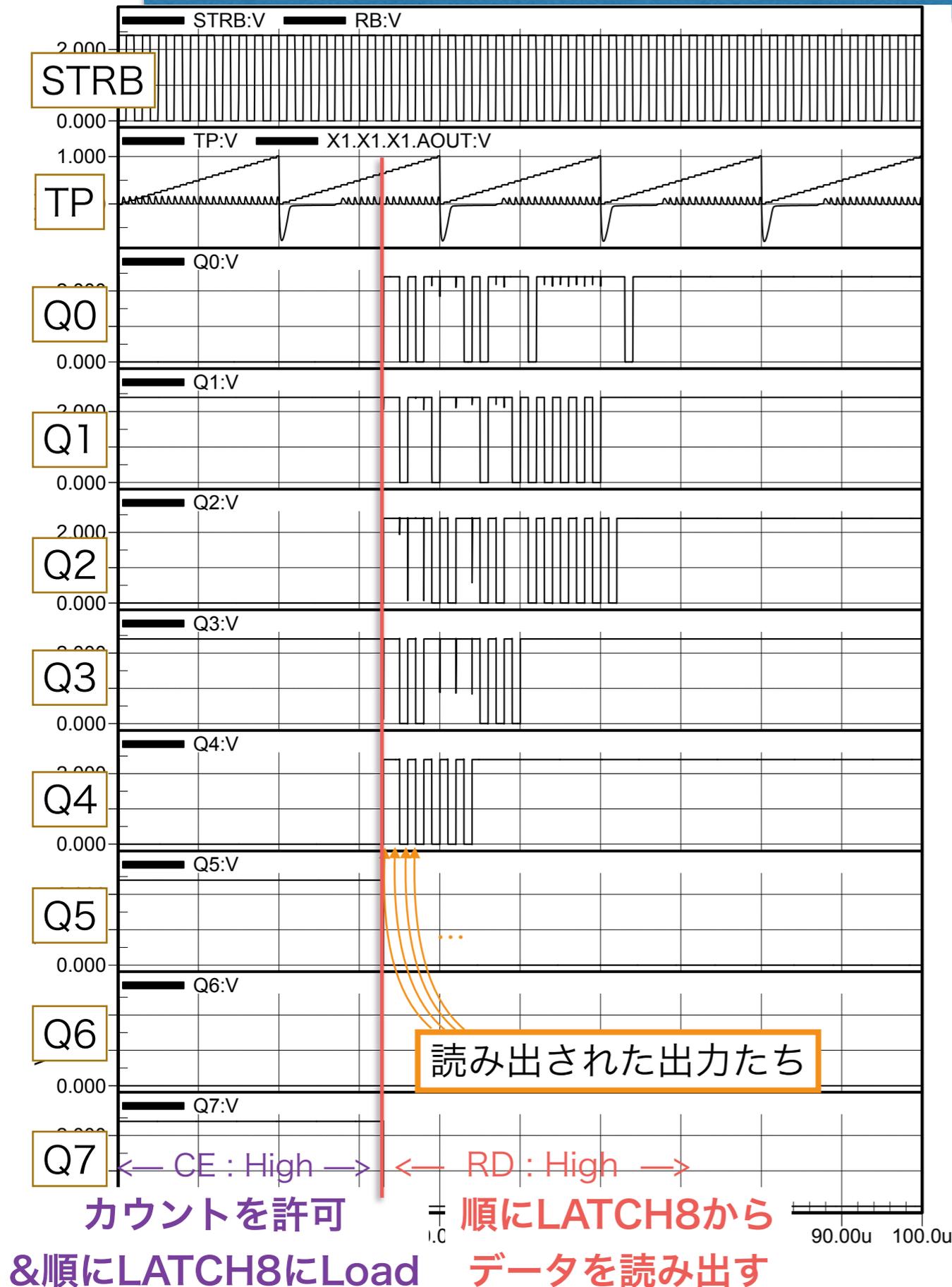
RDR & TDR $E_{\text{cm}}=500\text{GeV}$



REGBNK16の初期回路の評価 1



REGBNK16の初期回路の評価3

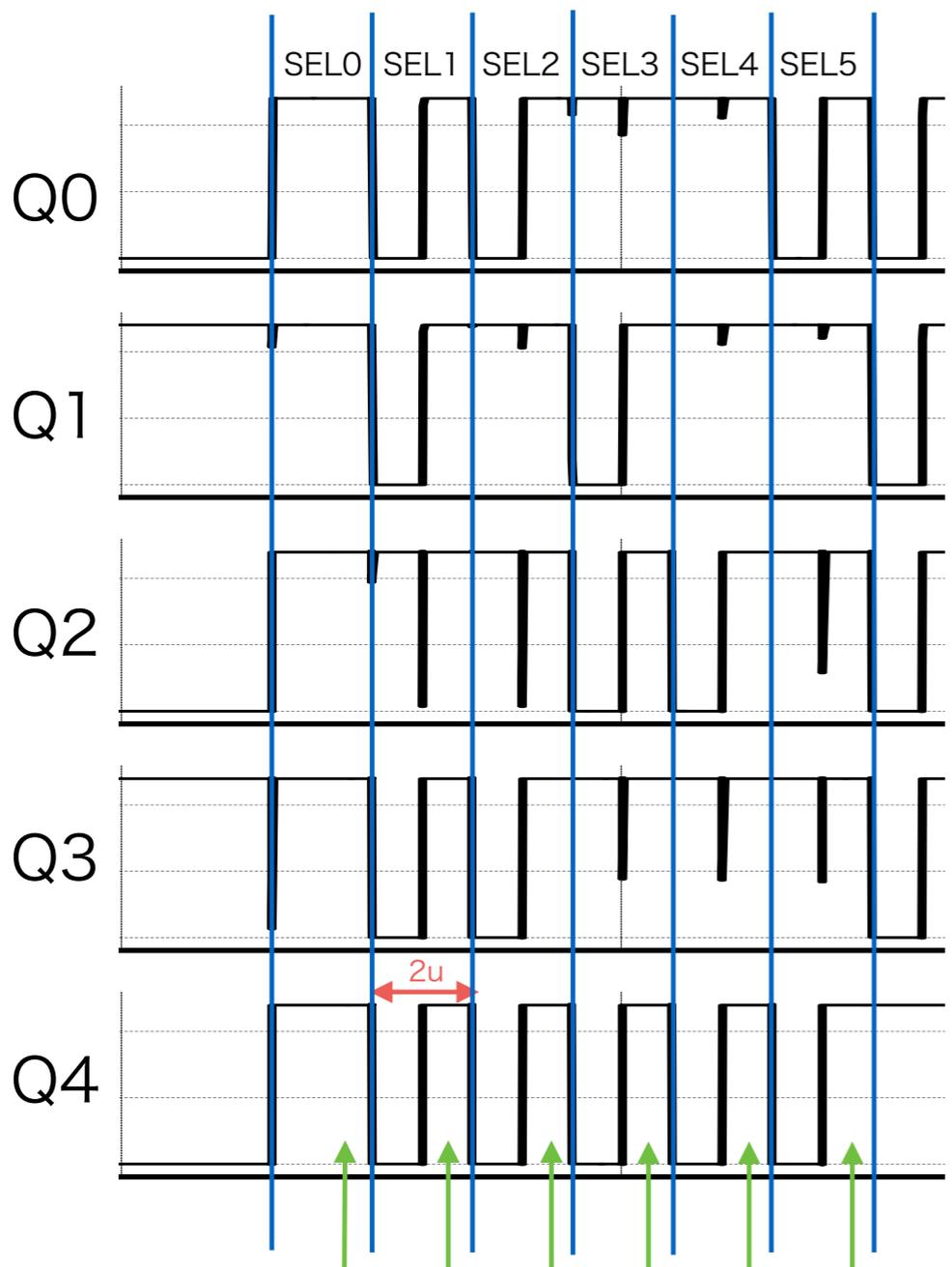


結果

Q0~Q7 までの出力を10進数に直すと
31 → 31 → 4 → 31 → 6 → 31 → 9 →
31 → 11 → 31 → 14 ...

となっており、期待される出力 (0 から
2,3 ずつ増えて行く) とは異なっており、
値が単調増加していないことがわかった。

REGBNK16の初期回路の評価3



CEがOffになり、値がずっと31になっているCOUNT8から、STRBがLowになるタイミング(後半の1u)でLoadしている。

信号名	Period	Width
STRB	2μsec	1μsec
TP	800nsec	400nsec

原因の考察

31以外の部分は上手くカウントしていることに注目する

31 → 31 → 4 → 31 → 6 → 31 → 9 → 31 → 11 → 31 → 14 ...

値をReadしている途中で、31というCOUNT8の出力をLoadしてしまっていると考えられる。

COUNT8にカウントを許可しているCEがHighの間に、カウントが31まで到達。その後CEがLowになり、カウントは31のままになっている。



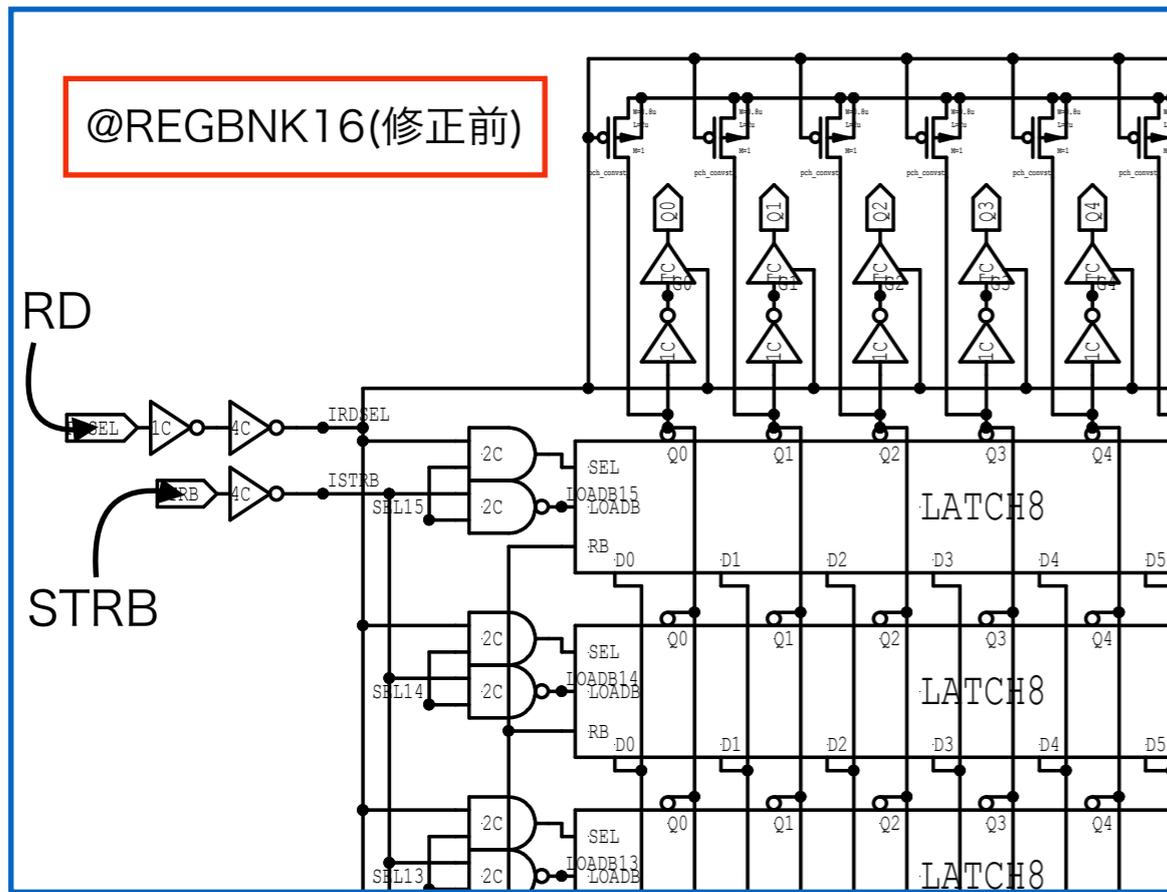
ReadするためにSTRBでSEL信号を変えようとする時、STRBをLoadをさせる信号としても用いている為、STRBの立ち下がりのタイミングで意図せずLoadが行われてしまう。



STRBの立ち下がりの意図しないLoadによってCOUNT8の出力：31がLoadされていた。

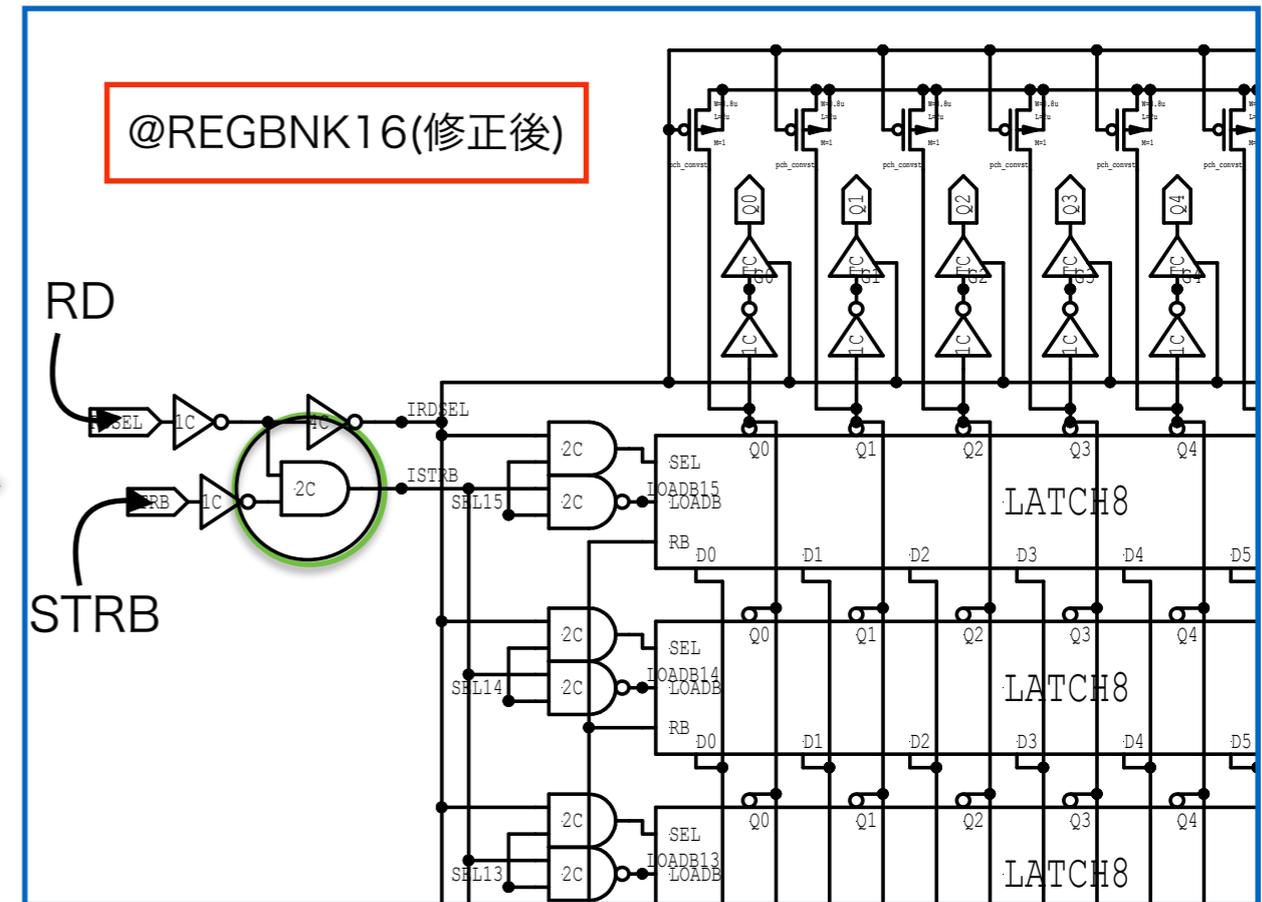
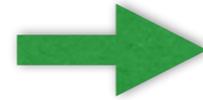
STRBがSEL信号と、Load信号の両方に同時に用いられていた事が一番の原因

REGBNK16の修正(その1)の評価1



修正前

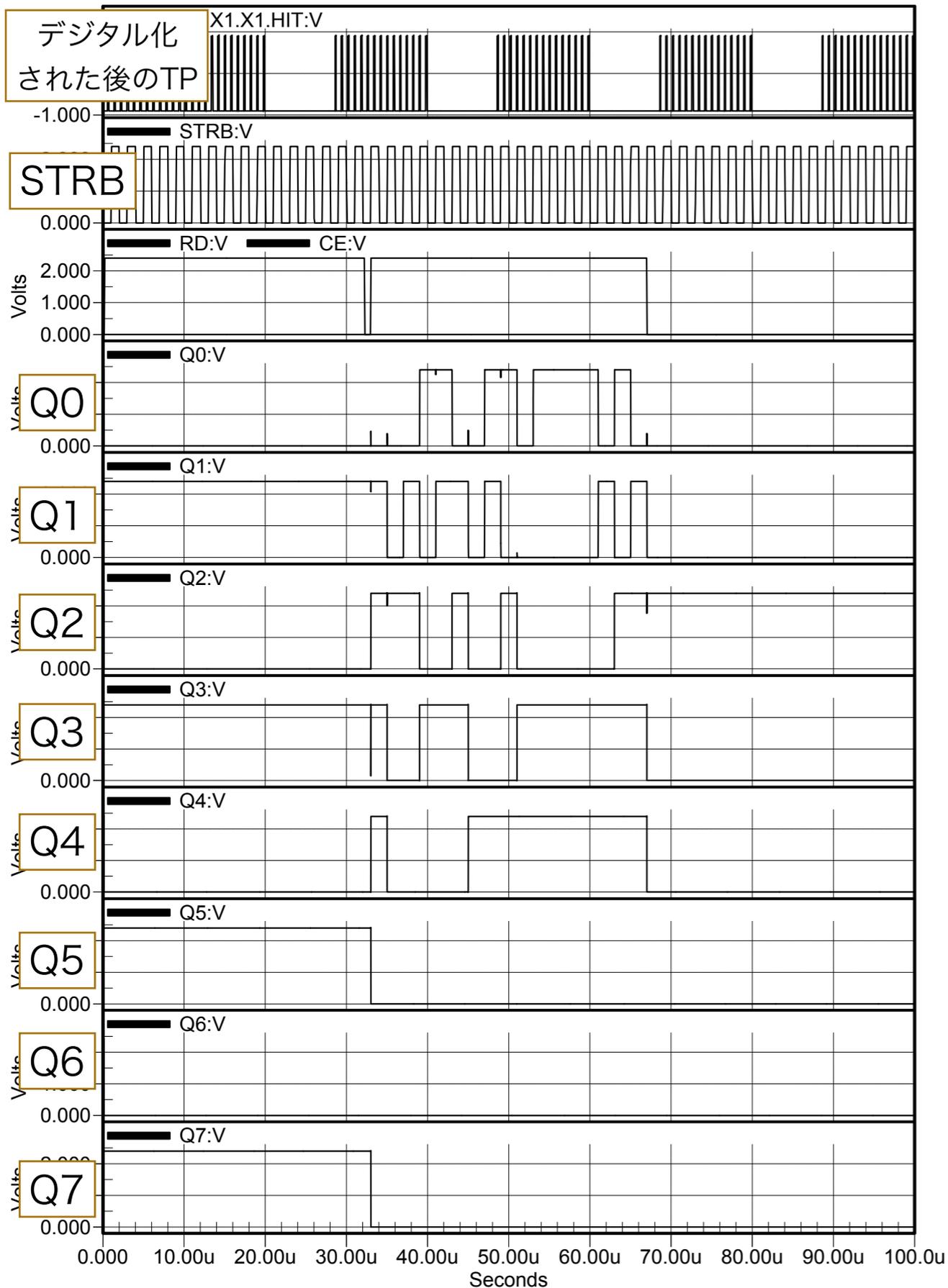
RDによりDataをReadすると同時にSTRB(立ち下がり時)によりDataを書き込むということが起こり得る。



修正後

RDとSTRBのANDを取り、Readさせるようにすることで、Readしている時はLoad出来ないようにした。

REGBNK16の修正(その1)の評価2



内容

初期回路に対してかけたシミュレーションと同じ条件でシミュレーションを行った。

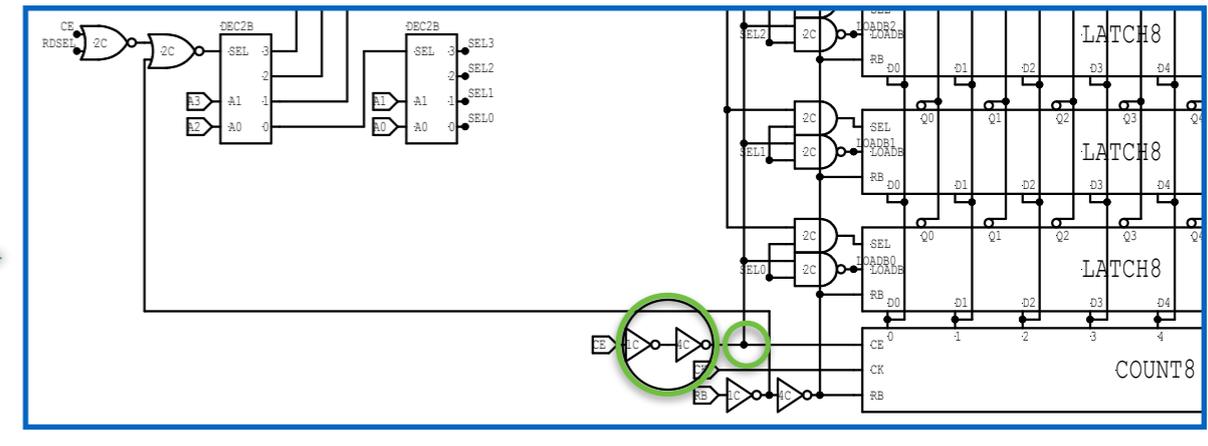
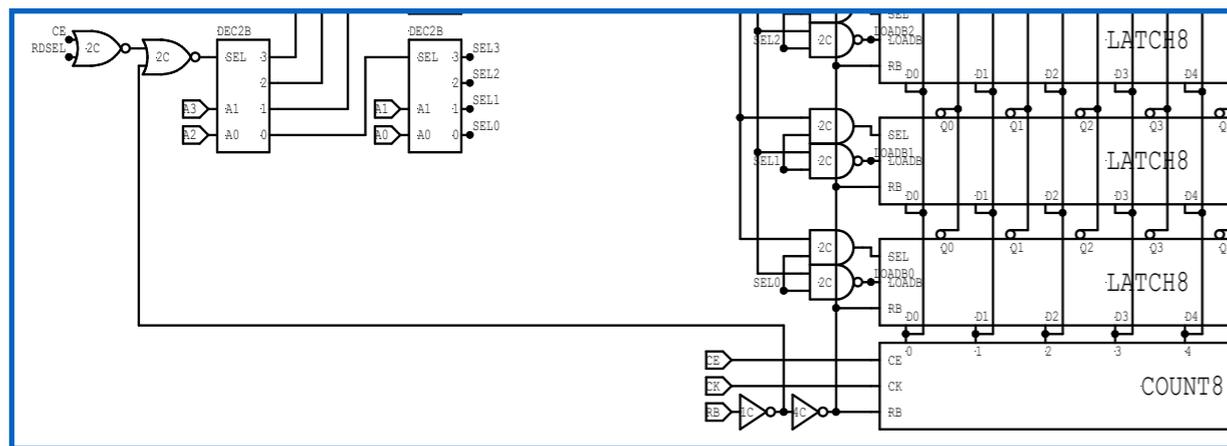
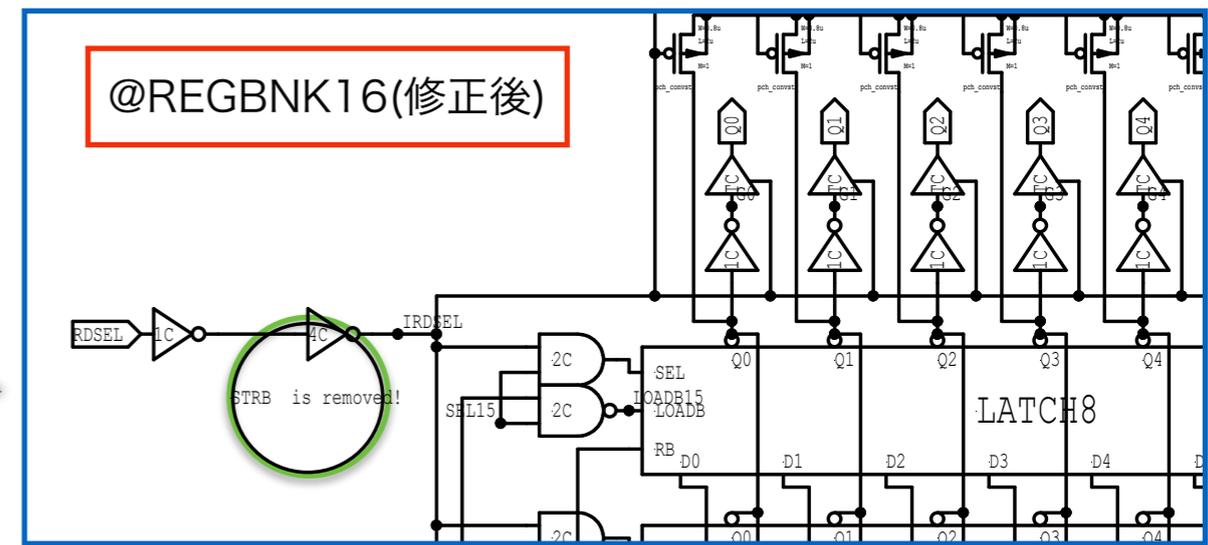
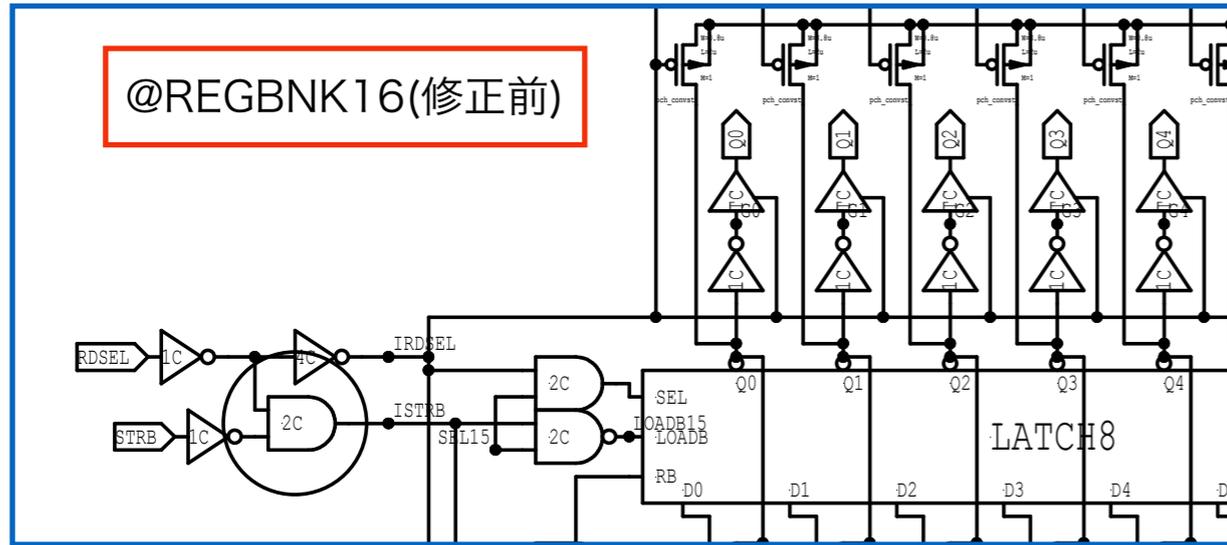
信号名	Period	Width
STRB	2μsec	1μsec
TP	800nsec	400nsec

結果

31 -> 4 -> 6 -> 9 -> 11 -> 14 ... となり、SEL0以外は単調増加している。

問題点だった、Read中にDataが上書きされるといった事は起こっておらず、正常に動作している。

REGBNK16の修正(その2)の評価1



修正前

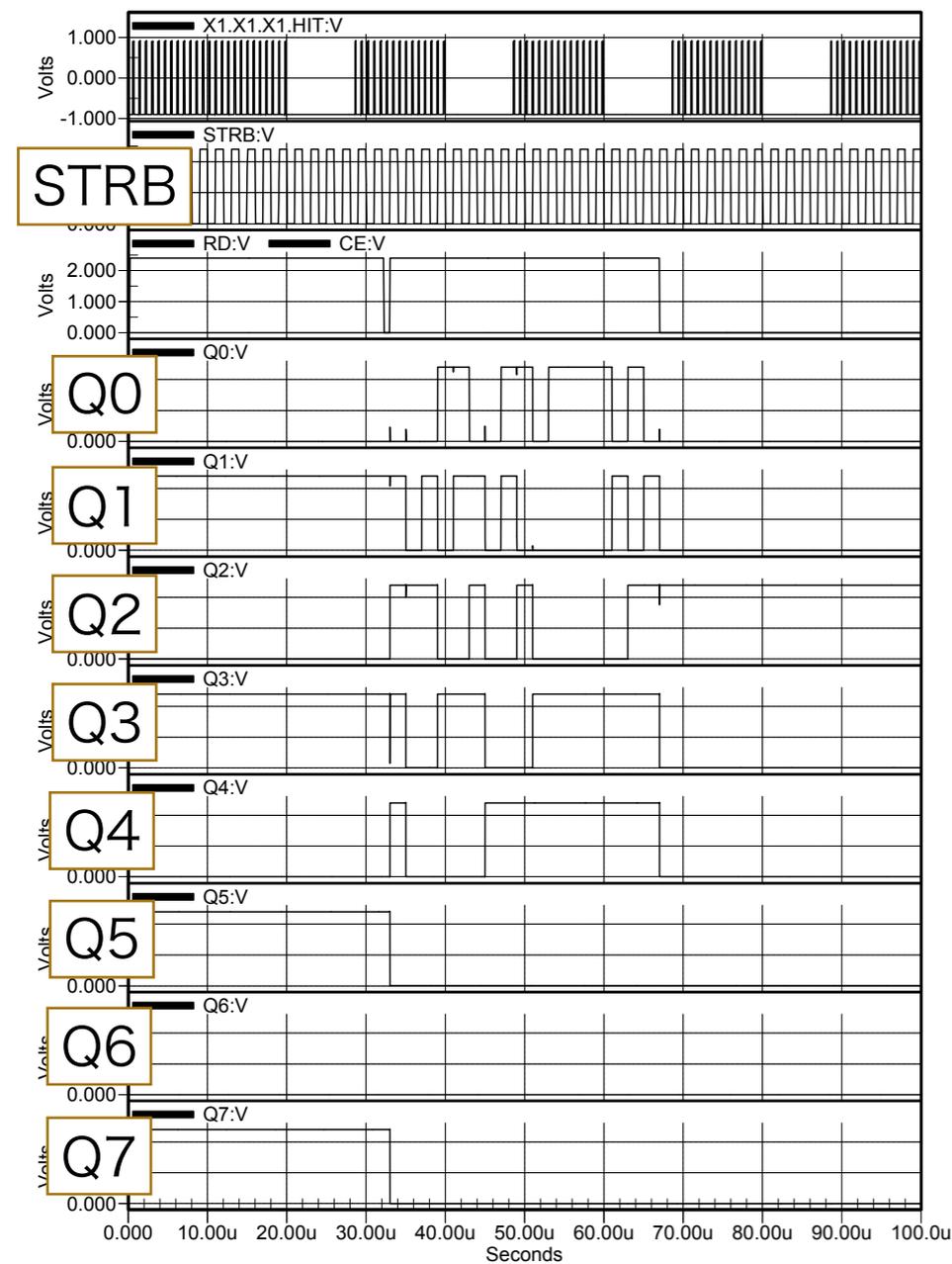
STRBの立ち下がりのタイミングでLoad。
 しかしRD=Highの時はこれが無効となる。
 また、STRBはSEL信号の生成にも用いられる。
 →STRBの立ち下がりが来るまでLoad出来ない。
 カウントする時は結局Loadするので、
 わざわざSTRBを用いなくても良いので
 は、、、

修正後

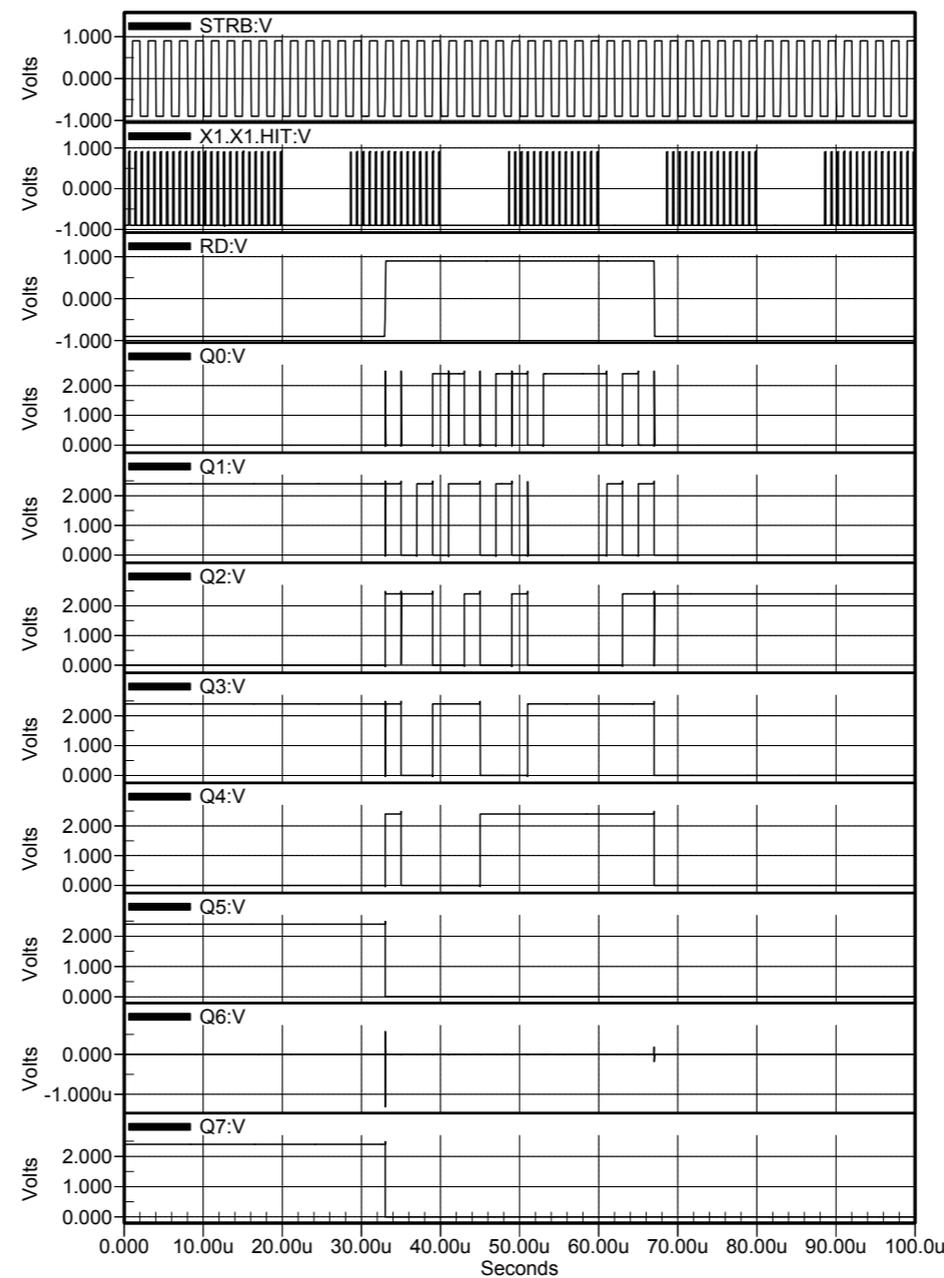
操作性Up

CEがHighであれば常にLoadされるようになった(STRBを用いない)。
 また、RDと同時にLoad可能(Read, Loadを同時にモニタリング可能)。
 実際のoperationではCE,RDを同時に行うことはないし、STRBが意図しないタイミングでLoadをしないので、これでも良い。
 → **STRBはSEL信号を生み出すClockとしての役割に。**

REGBNK16の修正(その2)の評価2



1つ修正を加えた時
(正しく動作した回路)の出力



今回の修正後の出力

内容

初期回路、1回修正回路と同じシミュレーション条件。今回の修正は操作性を向上しただけなので、1回修正回路の正しい挙動と同じ結果になるはず。

結果

左右を比較すると、同じ出力が出来ているのがわかる。今回の修正後も、**正しく動作している**と評価できた。