

Belle II 実験における
 $B^0 \rightarrow J/\psi K^{*0}$ 崩壊を用いた
フレーバータグ較正

奈良女子大学
楠戸 愛美

Belle II 実験

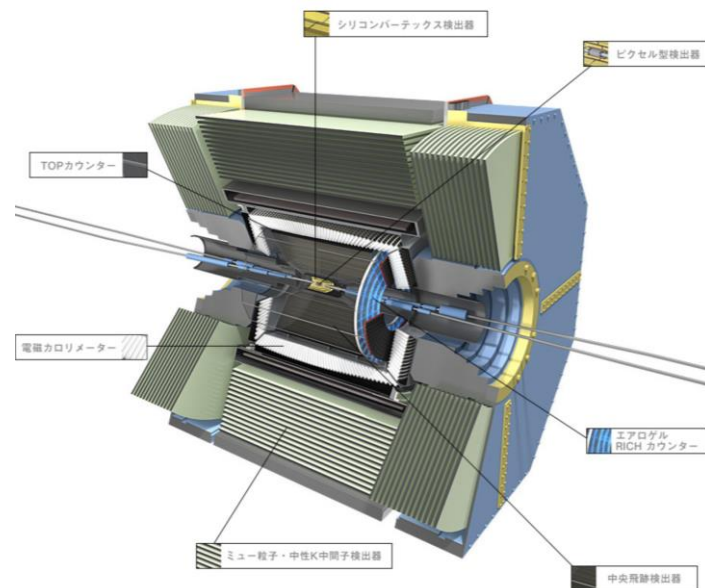
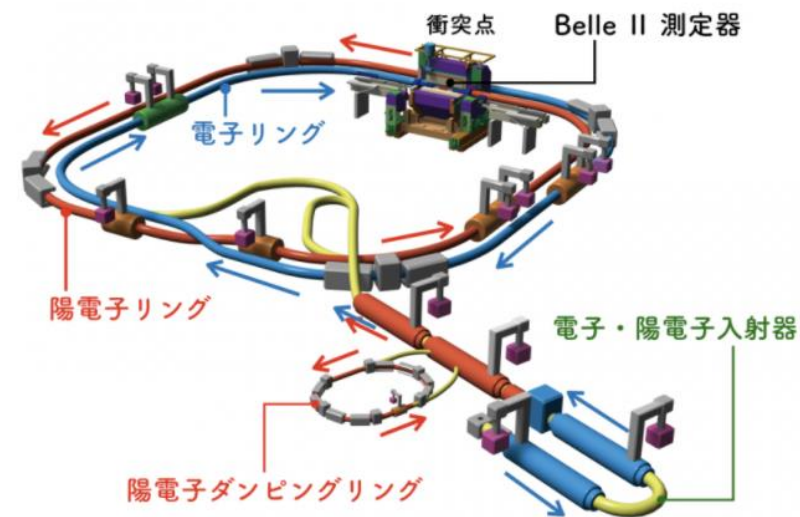
7GeVの電子と4GeVの陽電子を衝突させるSuperKEKB加速器とBelle II測定器による実験

最終的には先代の実験であるBelle実験の50倍のデータを収集

Belle II で目指す物理

- CP対称性の破れの精密測定による新物理探索
- タウのLFV事象探索
- ハドロン物理 など

実験の初期段階のため測定機の性能を理解し、解析プログラムの妥当性を確かめることが重要



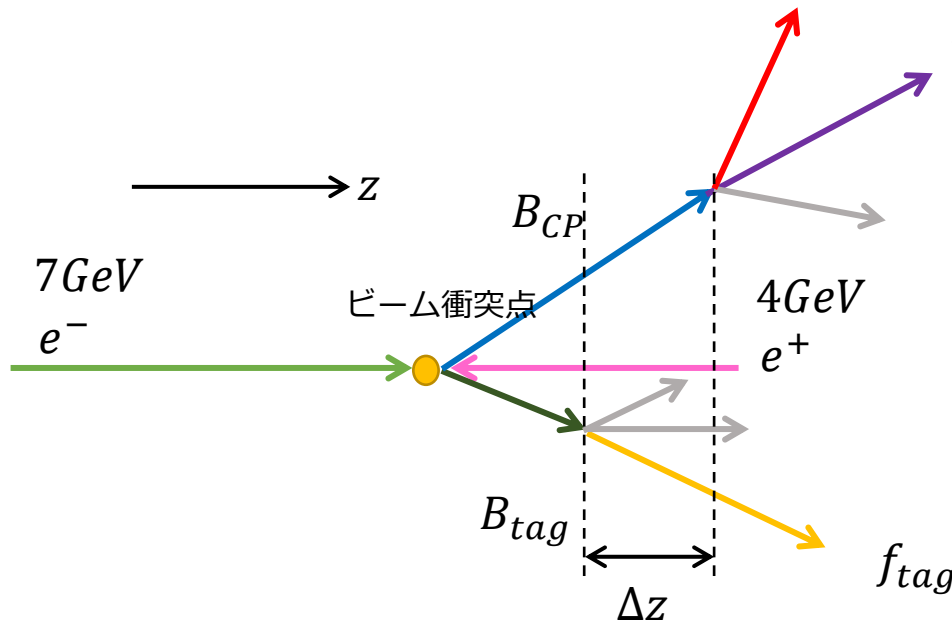
時間依存CP非保存の測定

$Y(4S) \rightarrow B^0 \bar{B}^0$ 崩壊のうち、一方は t_{CP} でCP固有状態 f_{CP} に崩壊し、もう一方は t_{tag} でフレーバー固有状態 f_{tag} に崩壊する。

解析手順

1. CP固有状態 f_{CP} に崩壊した、B中間子 B_{CP} を再構成する。
2. B_{CP} の娘粒子を除いた残りの粒子はtag側のB中間子 B_{tag} からきたものになる。
3. B_{CP} 、 B_{tag} の崩壊点を再構成すると、それぞれのz座標 z_{CP} 、 z_{tag} から Δt が得られる。

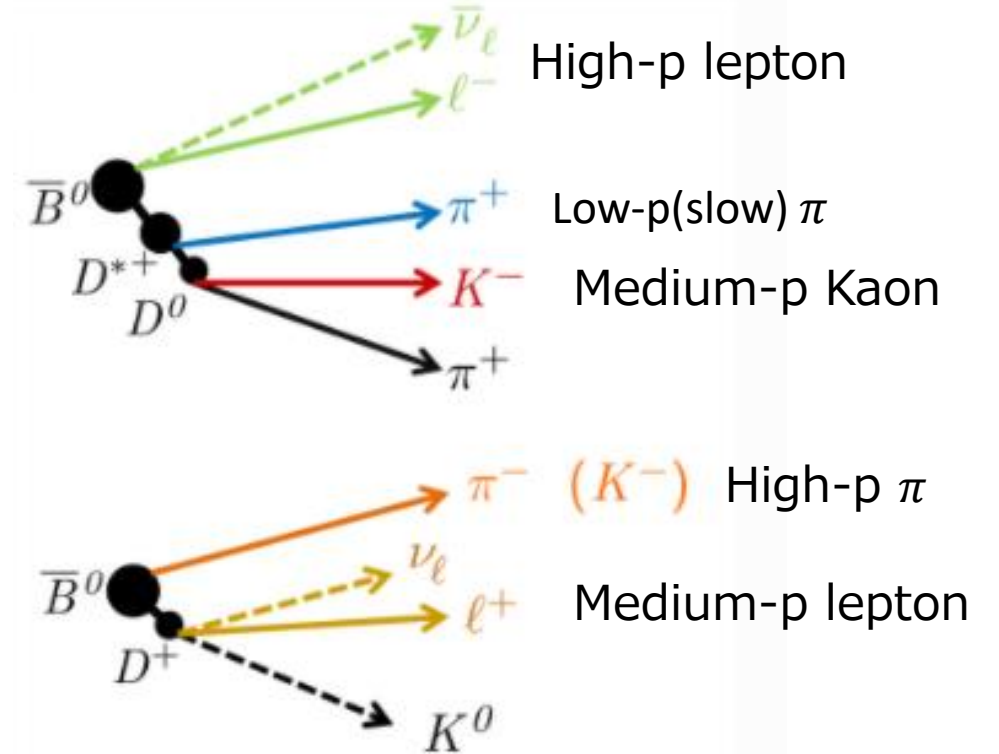
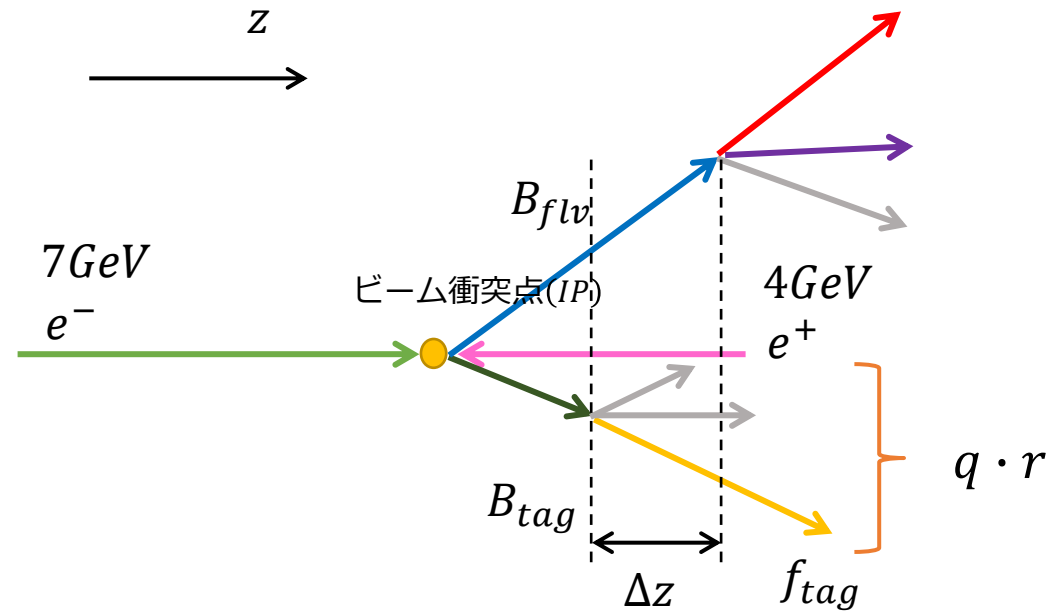
$$z_{CP} - z_{tag} = \Delta z, \quad \Delta t (= t_{CP} - t_{tag}) = \frac{\Delta z}{c\beta\gamma}$$
4. B_{tag} の娘粒子で B^0 か \bar{B}^0 かのflavor taggingを行う。



$$A_{CP}(t) = \frac{\Gamma(\bar{B}^0(\Delta t) \rightarrow f_{CP}) - \Gamma(B^0(\Delta t) \rightarrow f_{CP})}{\Gamma(\bar{B}^0(\Delta t) \rightarrow f_{CP}) + \Gamma(B^0(\Delta t) \rightarrow f_{CP})} = S_{f_{CP}} \sin(\Delta m \Delta t) A_{f_{CP}} \cos(\Delta m \Delta t)$$

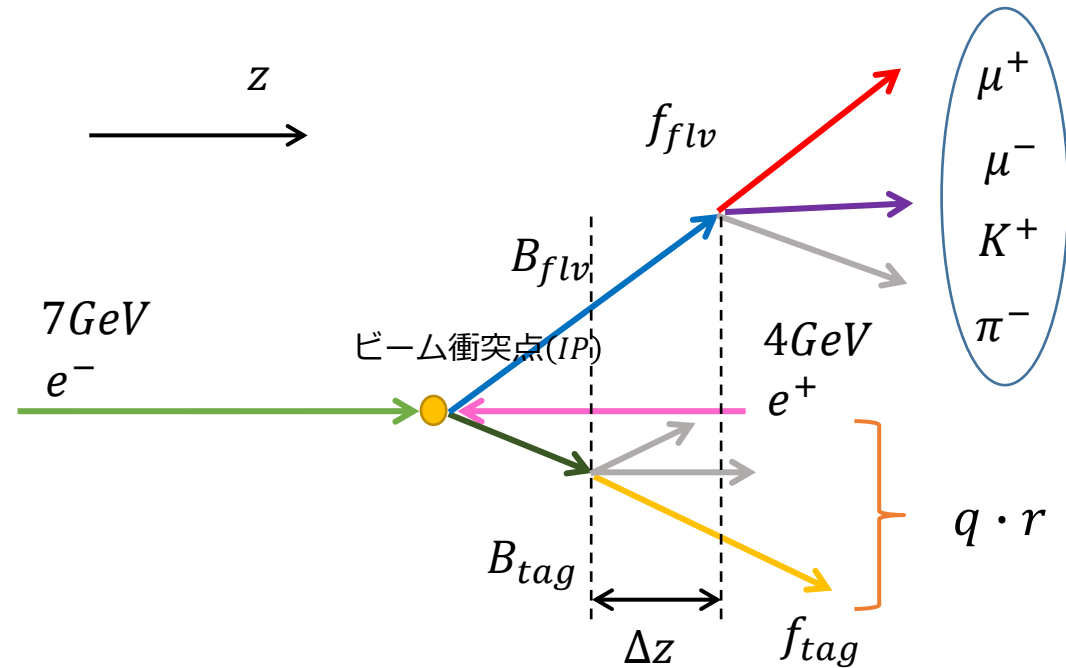
時間依存CP非保存を表すパラメータ
直接的CP非保存を表すパラメータ

Flavor tag



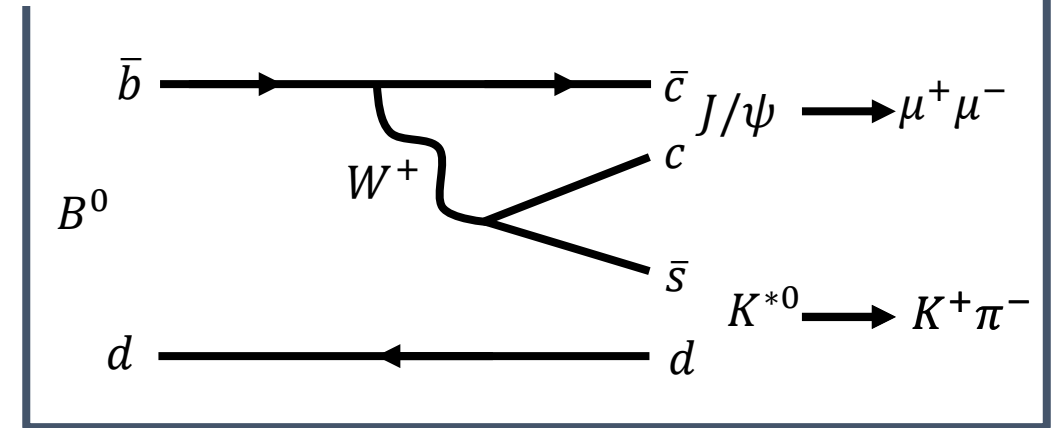
時間依存CP非対称性を測るのに、 f_{tag} に属する終状態の粒子のフレーバー情報を元に付随するB中間子のフレーバーを決定する。それにはこの識別がどれだけ正確か調べる必要があるため、flavor taggingの較正が必要になる。

Calibration of flavor tagging

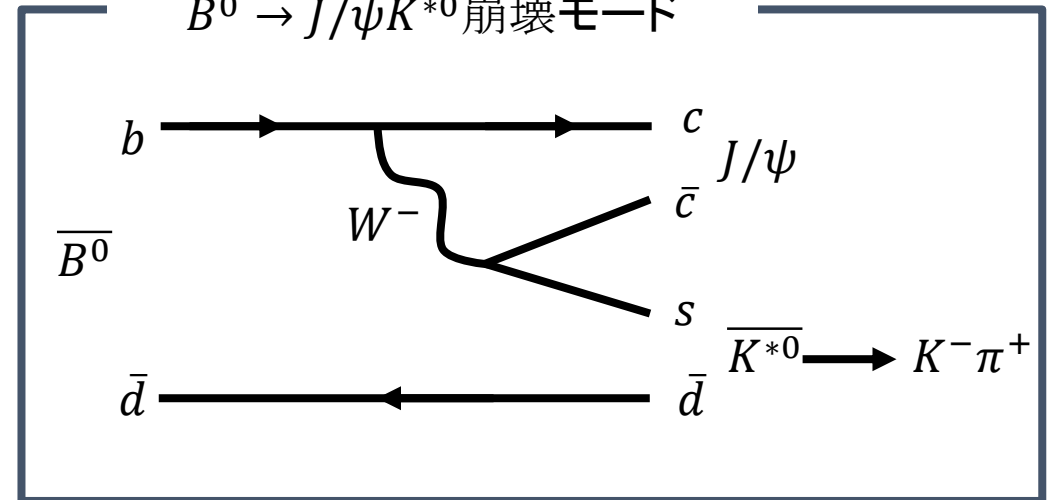


B^0 か \bar{B}^0 かが明らかなBメソン崩壊事象でflavor taggingの較正を行う。
 $K^+ \rightarrow B^0$ 、 $K^- \rightarrow \bar{B}^0$ と、 B^0 と \bar{B}^0 が識別できる崩壊モード $B^0 \rightarrow J/\psi(\rightarrow \mu^+\mu^-)K^{*0}(\rightarrow K^+\pi^-)$ を用いる。

$B^0 \rightarrow J/\psi K^{*0}$ 崩壊モード



$\bar{B}^0 \rightarrow J/\psi \bar{K}^{*0}$ 崩壊モード



$B^0 \rightarrow J/\psi K^{*0}$ 崩壊の再構成

本研究では $B^0 \rightarrow J/\psi K^{*0}$ のモンテカルロシミュレーションサンプルデータを用いた。

$$M_{bc} = \sqrt{E_{beam}^2 - p_B^2}$$

$$\Delta E = E_B - E_{beam}$$

信号事象は $M_{bc}: 5.28\text{GeV}$, $\Delta E: 0\text{GeV}$ にピークがある。

選別条件

μ, K, π

$muon ID > 0.1, kaon, pion ID > 0.6$

$J/\psi (\mu\mu)$

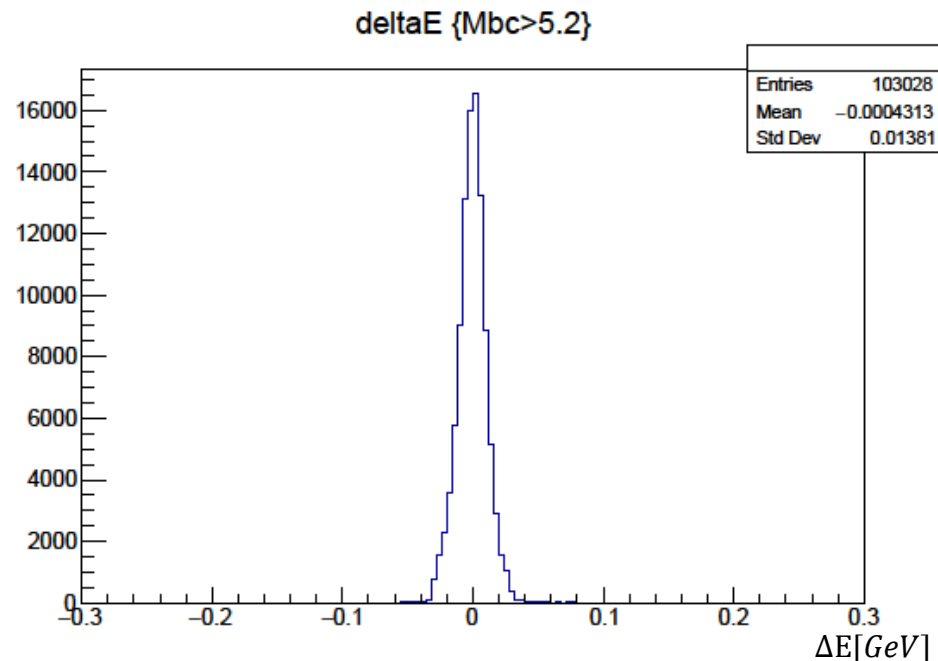
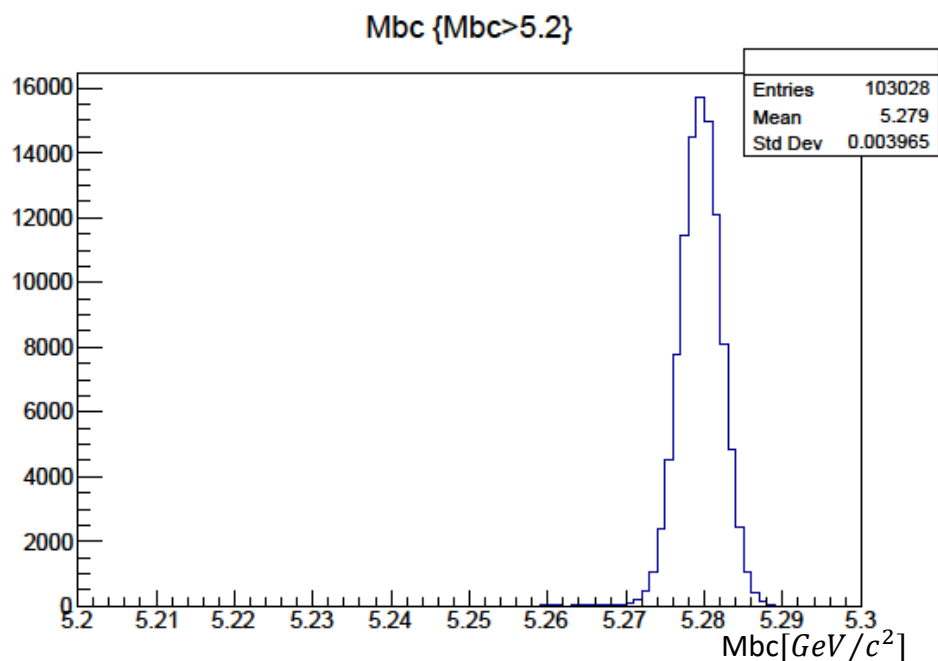
$3.05 \text{ GeV}/c^2 < M(\mu\mu) < 3.15 \text{ GeV}/c^2$

K^{*0}

$0.817 \text{ GeV}/c^2 < M(K\pi) < 0.967 \text{ GeV}/c^2$

B^0

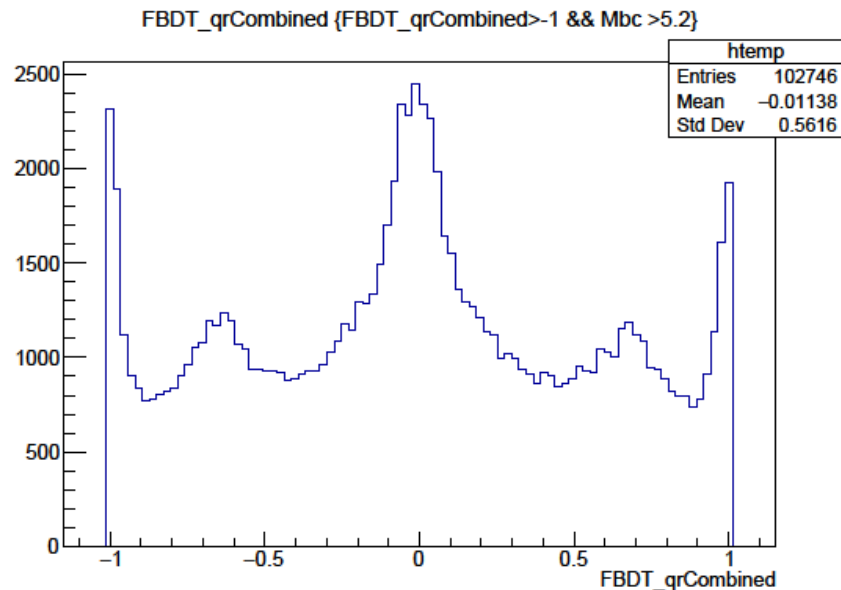
$M_{bc} > 5.2 \text{ GeV}/c^2, -0.03 \text{ GeV} < \Delta E < 0.03 \text{ GeV}$



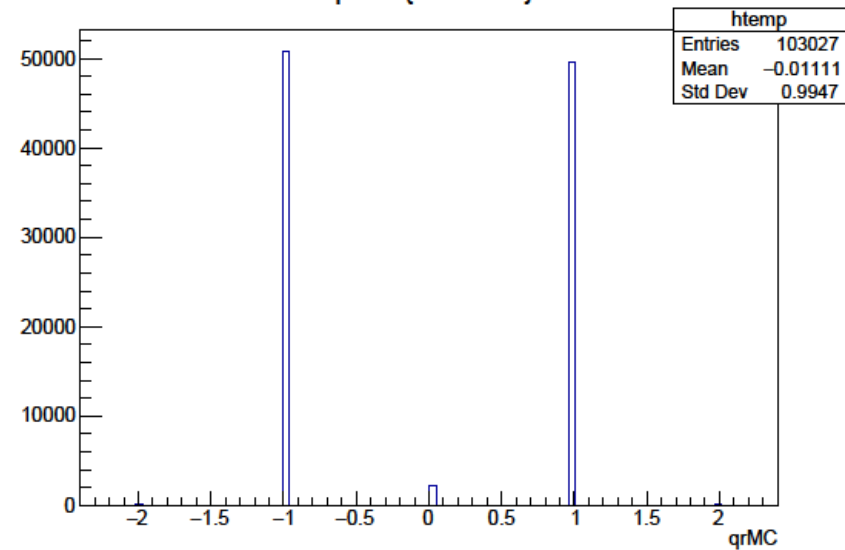
Flavor taggingのqrとMCのqr

MCシミュレーションサンプルデータを用いたため、 B^0 と \bar{B}^0 のどちらであるかわかっている。そのため、それとflavor taggingの結果を比較してフレーバー誤認率を求める。

flavor taggingによるqr分布

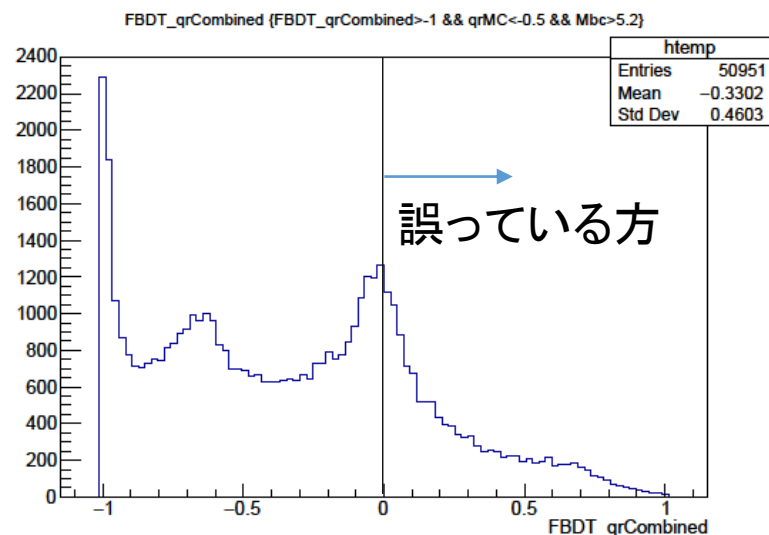


MCの正解のqの分布

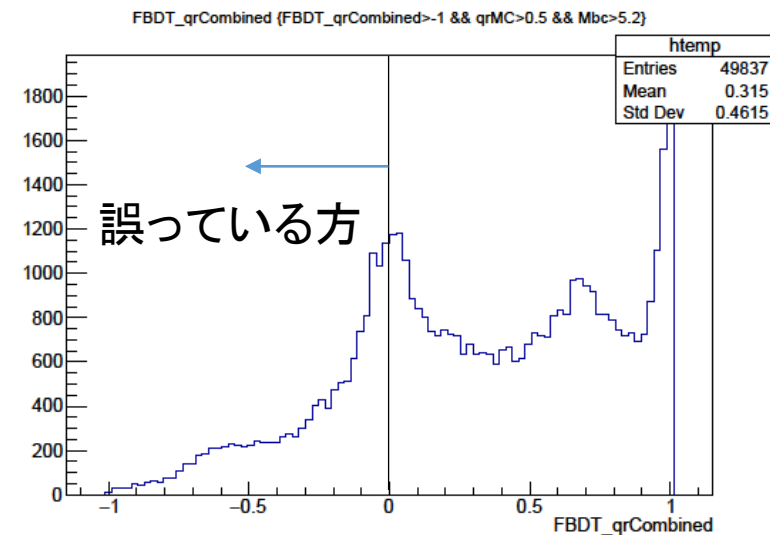


q : B^0 と \bar{B}^0 を識別を表す。q=1なら B^0 、q=-1なら \bar{B}^0
r : 0<r<1の範囲でフレーバーが確かに識別できているかを表す。
1に近いほど明確にフレーバーのタグ付けが明確に行われている。

q=-1のときとq=+1のときのqr分布及びイベント数



MCがqが-1のときの識別したqr分布



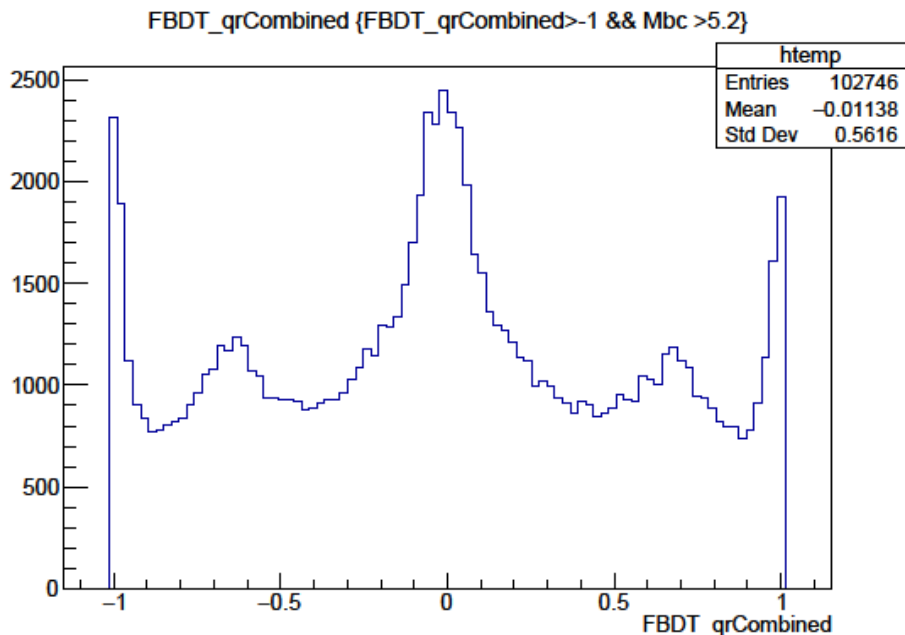
MCのqが1のときに識別したqr分布

MCのqでカットした場合、qが正しく識別されているかが分かる。

flavor taggingを誤っているほうの事象数を数え、

フレーバー誤認率(wrong tagging fraction) $w = \frac{\text{flavor taggingを誤っている事象数}}{\text{フレーバーの識別をした事象数}}$
をそれぞれ計算し、平均にした。

$B^0 \rightarrow J/\psi K^{*0}$ での計算結果



フレーバーの識別ができたイベントのqr分布とrを $l = 1 \sim 6$ に場合分けしたときの ε 、 w 、 ε^{eff} を表にまとめた。また、rの値が計算したwに沿っているかを確認した。

- q : B^0 と \bar{B}^0 を識別を表す。q=1なら B^0 、q=-1なら \bar{B}^0
- r : $0 < r < 1$ の範囲でフレーバーが確かに識別できているかを表す。
 $r = 1 - 2w$ で表される。
- ε : flavor taggingできた確率。
- w : flavor taggingの誤認率。
- ε^{eff} : flavor taggingの性能を示す。 $\varepsilon^{eff} = \varepsilon(1 - 2w)^2$ で表される。

l	r	r mean	(1 - r mean)/2	ε_l	w_l	Δw_l	ε_l^{eff}
1	$0.100 < r < 0.250$	0.1704	0.41480	0.1620 ± 0.0011	0.3932 ± 0.0038	$+0.0234 \pm 0.0075$	0.0074 ± 0.0004
2	$0.250 < r < 0.500$	0.3702	0.31490	0.1934 ± 0.0012	0.2977 ± 0.0032	$+0.0138 \pm 0.0065$	0.0317 ± 0.0007
3	$0.500 < r < 0.625$	0.5649	0.21755	0.1043 ± 0.0009	0.2089 ± 0.0039	$+0.0293 \pm 0.0078$	0.0354 ± 0.0007
4	$0.625 < r < 0.750$	0.6856	0.15720	0.1139 ± 0.0010	0.1455 ± 0.0032	-0.0002 ± 0.0065	0.0553 ± 0.0009
5	$0.750 < r < 0.875$	0.8101	0.09495	0.0855 ± 0.0009	0.0892 ± 0.0030	-0.0092 ± 0.0061	0.0593 ± 0.0008
6	$0.875 < r < 1.000$	0.9575	0.02125	0.1403 ± 0.0011	0.0249 ± 0.0013	$+0.0043 \pm 0.0026$	0.1267 ± 0.0011
							$\varepsilon^{eff} = 0.3161 \pm 0.0019$

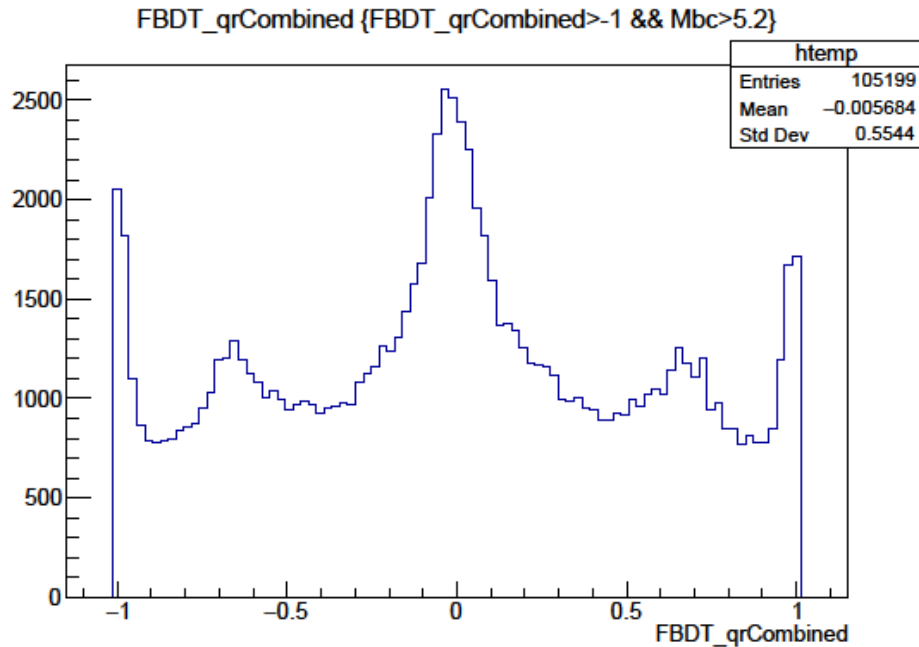
他の崩壊モードとの比較

再構成する側の、終状態の粒子数が違ったり、flavor specific状態とCP固有状態の違いがあると、flavor tagが影響を受けるか調べた。

そのために $B^0 \rightarrow K^+\pi^-$ と $B^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ 、 $B^0 \rightarrow J/\psi K_S^0$ の3つの崩壊モードでqr分布や $B^0 \rightarrow J/\psi K^{*0}$ と同様に計算した ε 、 w 、 ε^{eff} を比較した。

以下の3ページで示すようにモードによる若干の差異があるが、実験データの統計誤差を考えると、顕著にあらわれるほどではない見込み。

$B^0 \rightarrow K^+ \pi^-$ での計算結果



μ, K, π

$muon ID > 0.1, kaon, pion ID > 0.6$

B^0

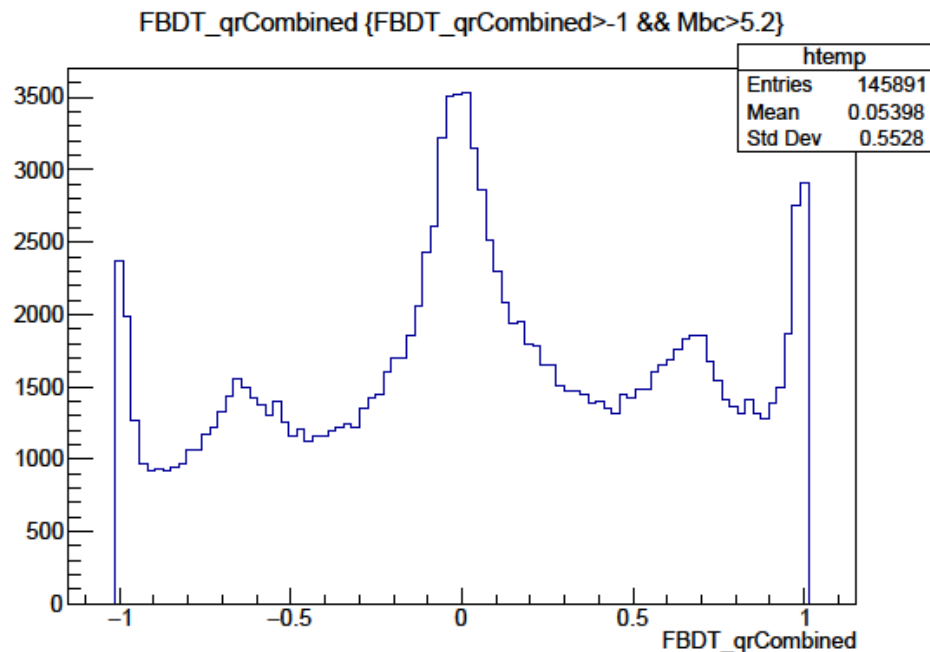
$M_{bc} > 5.2 GeV/c^2, -0.03 GeV < \Delta E < 0.03 GeV$

q : B^0 と \bar{B}^0 を識別を表す。q=1なら B^0 、q=-1なら \bar{B}^0
 r : 0<r<1の範囲でフレーバーが確かに識別できているかを表す。
 $r = 1 - 2w$ で表される。
 ε : flavor taggingできた確率。
 w : flavor taggingの誤認率。
 ε^{eff} : flavor taggingの性能を示す。 $\varepsilon^{eff} = \varepsilon(1 - 2w)^2$ で表される。

l	r	r mean	(1 - r mean)/2	ε_l	w_l	Δw_l	ε_l^{eff}
1	0.100 < r < 0.250	0.1708	0.41460	0.1646 ± 0.0011	0.3972 ± 0.0037	+0.0215 ± 0.0074	0.0069 ± 0.0004
2	0.250 < r < 0.500	0.3707	0.31465	0.2015 ± 0.0012	0.2876 ± 0.0031	+0.0036 ± 0.0062	0.0364 ± 0.0008
3	0.500 < r < 0.625	0.5637	0.21815	0.1027 ± 0.0009	0.2032 ± 0.0038	+0.0343 ± 0.0077	0.0362 ± 0.0007
4	0.625 < r < 0.750	0.6854	0.15730	0.1181 ± 0.0010	0.1448 ± 0.0032	-0.0004 ± 0.0063	0.0596 ± 0.0009
5	0.750 < r < 0.875	0.8106	0.09470	0.0863 ± 0.0009	0.0752 ± 0.0028	-0.0089 ± 0.0055	0.0623 ± 0.0008
6	0.875 < r < 1.000	0.9565	0.02175	0.1350 ± 0.0011	0.0173 ± 0.0017	+0.0033 ± 0.0022	0.1258 ± 0.0011

$$\varepsilon^{eff} = 0.3272 \pm 0.0020$$

$B^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$ での計算結果



μ, K, π

$muon ID > 0.1, kaon, pion ID > 0.6$

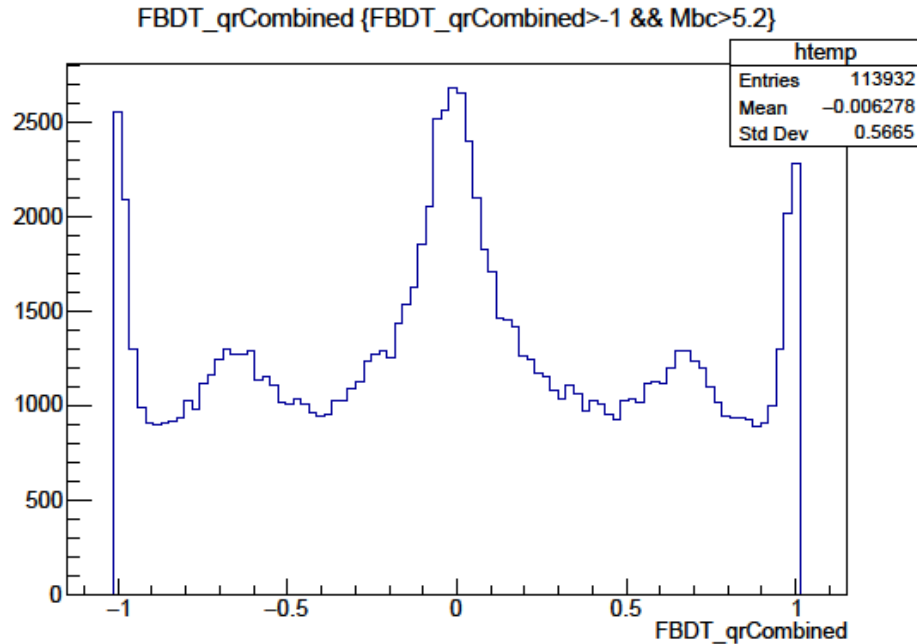
B^0

$M_{bc} > 5.2 GeV/c^2, -0.03 GeV < \Delta E < 0.03 GeV$

q : B^0 と \bar{B}^0 を識別を表す。q=1なら B^0 、q=-1なら \bar{B}^0
 r : 0<r<1の範囲でフレーバーが確かに識別できているかを表す。
 $r = 1 - 2w$ で表される。
 ε : flavor taggingできた確率。
 w : flavor taggingの誤認率。
 ε^{eff} : flavor taggingの性能を示す。 $\varepsilon^{eff} = \varepsilon(1 - 2w)^2$ で表される。

l	r	r mean	(1 - r mean)/2	ε_l	w_l	Δw_l	ε_l^{eff}
1	0.100 < r < 0.250	0.1700	0.41500	0.1678 ± 0.0009	0.3998 ± 0.0032	+0.0127 ± 0.0064	0.0067 ± 0.0003
2	0.250 < r < 0.500	0.3711	0.31445	0.2007 ± 0.0010	0.2905 ± 0.0027	+0.0033 ± 0.0054	0.0352 ± 0.0007
3	0.500 < r < 0.625	0.5642	0.21790	0.1088 ± 0.0008	0.2015 ± 0.0032	+0.0211 ± 0.0065	0.0388 ± 0.0007
4	0.625 < r < 0.750	0.6853	0.15735	0.1165 ± 0.0008	0.1454 ± 0.0027	+0.0139 ± 0.0055	0.0586 ± 0.0008
5	0.750 < r < 0.875	0.8111	0.09445	0.0865 ± 0.0007	0.0814 ± 0.0025	+0.0061 ± 0.0050	0.0606 ± 0.0007
6	0.875 < r < 1.000	0.9559	0.02205	0.1351 ± 0.0009	0.0180 ± 0.0010	+0.0021 ± 0.0019	0.1256 ± 0.0009
							$\varepsilon^{eff} = 0.3255 \pm 0.0017$

$B^0 \rightarrow J/\psi K_S^0$ での計算結果



μ, K, π $muon ID > 0.1,$ $kaon, pion ID > 0.6$

K_S^0 $0.45 GeV/c^2 < M < 0.55 GeV/c^2$

B^0 $M_{bc} > 5.2 GeV/c^2, -0.03 GeV < \Delta E < 0.03 GeV$

q : B^0 と \bar{B}^0 を識別を表す。q=1なら B^0 、q=-1なら \bar{B}^0
 r : 0<r<1の範囲でフレーバーが確かに識別できているかを表す。
 $r = 1 - 2w$ で表される。
 ε : flavor taggingできた確率。
 w : flavor taggingの誤認率。
 ε^{eff} : flavor taggingの性能を示す。 $\varepsilon^{eff} = \varepsilon(1 - 2w)^2$ で表される。

l	r	r mean	(1 - r mean)/2	ε_l	w_l	Δw_l	ε_l^{eff}
1	0.100 < r < 0.250	0.1703	0.41485	0.1607 ± 0.0011	0.4007 ± 0.0035	+0.0276 ± 0.0071	0.0063 ± 0.0003
2	0.250 < r < 0.500	0.3702	0.31490	0.1958 ± 0.0011	0.2956 ± 0.0030	+0.0081 ± 0.0060	0.0327 ± 0.0007
3	0.500 < r < 0.625	0.5639	0.21805	0.1046 ± 0.0008	0.2040 ± 0.0036	+0.0251 ± 0.0072	0.0366 ± 0.0007
4	0.625 < r < 0.750	0.6863	0.15685	0.1156 ± 0.0009	0.1562 ± 0.0031	+0.0100 ± 0.0062	0.0547 ± 0.0008
5	0.750 < r < 0.875	0.8104	0.09480	0.0886 ± 0.0008	0.0894 ± 0.0028	+0.0007 ± 0.0055	0.0598 ± 0.0008
6	0.875 < r < 1.000	0.9578	0.02110	0.1452 ± 0.0010	0.0202 ± 0.0011	+0.0026 ± 0.0021	0.1337 ± 0.0010
							$\varepsilon^{eff} = 0.3239 \pm 0.0018$

まとめと今後の計画

- 時間依存CP非保存測定に不可欠なflavor taggingを較正するのに、 $B^0 \rightarrow J/\psi(\rightarrow \mu^+\mu^-)K^{*0}(\rightarrow K^+\pi^-)$ は適した崩壊モードである。
- モンテカルロシミュレーション (MC) データサンプルにより、フレーバー誤認率 w を求め、その結果、 $\varepsilon^{eff} = \varepsilon(1 - 2w)^2 = 31.6 \pm 0.2 \%$ を得た。
- 終状態の粒子数が違ったり、flavor specific状態とCP固有状態の違いがあっても、flavor taggingの影響を受けないのが望ましいので、 $B^0 \rightarrow K^+\pi^-$ と $B^0 \rightarrow \pi^+\pi^-$ 、 $B^0 \rightarrow J/\psi K_S^0$ の三つのモードについても同様に調べた。モードごとの w や、 ε^{eff} の差異はMCの統計誤差に対して $3\sigma \sim 5\sigma$ くらいの効果だが、実データ ($213 fb^{-1}$) の統計誤差で顕著に見える大きさではない。
- バックグラウンドの見積もりを進行中。
- 実験データを用いたフレーバータグの較正へ進む。