

E36 CsI waveform analysis 進捗報告

2016.02.24

—概要—

時間情報で波形セレクトすると fast 波高は必ず second 波高より高くなるアルゴリズムのバグが発覚した。今月度はデバッグした結果と波形のタイミングについて立ち上がり時刻を活用できないかについて議論した。

1. デバッグ処理

時間ゲートを $60 < \text{TDC} < 65$ に設定して波形のタイミングを合わせている。これは CsI 結晶の減衰項の光学特性が 10^{-6} 秒と遅いことからノイズを落とすことも狙っている。セカンド波形をフィッティングによって分離して、ミュオン崩壊による電子のエネルギー分布がミッシュェル・スペクトラムになっていることを確認する。しかし、このアルゴリズムでは fast パルス波高が必ず second パルスの波高より必ず高いということは全イベントが収集できていないことになる。

そこで新しいアルゴリズムではピーク時刻がどこにあらうが、 $60 < \text{TDC} < 65$ のときに ADC が閾値を超えている波形をセレクトする。そしてシングル波形 Fitting した後、chi-square と波高の関係から、Fitting が合わない事象はセカンド波形がある可能性があるとしてダブル波形 Fitting を行う。図 1 に second 波形が fast 波形より高い事象もセレクトできている事象を示す。

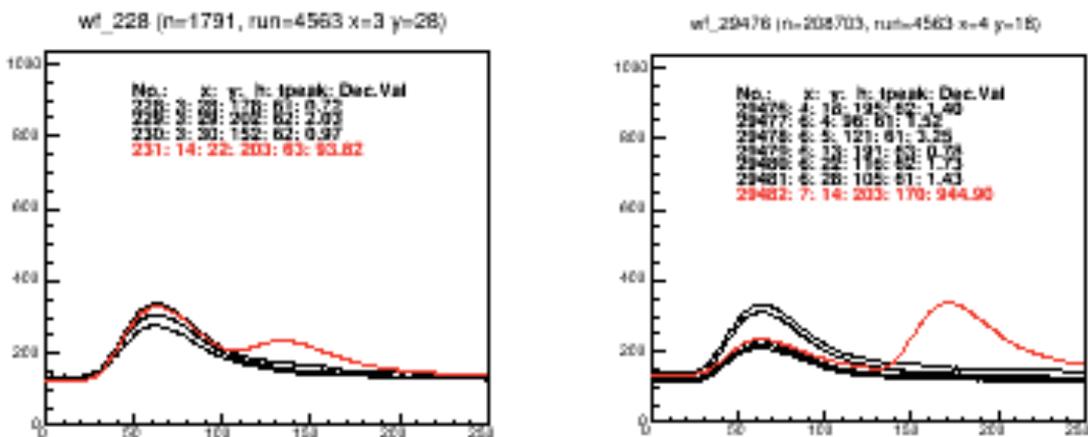


図 1. 事象ごとの信号波形一覧

2. シングル波形 Fitting の Good or Bad の決定

シングル波形 Fitting を実施すると chi-square と波高は図 2 左のような関係が現れる。図 2 左は横軸波高、縦軸 chi-square のスキッタプロットである。Chi-square は波高 h の 2 次関数で近似でき、 $f(x)=1.9e-3h^2+1.7h-2.3$ でよくフィットできた。この曲線に沿って射影すると Fitting の良し悪しを決定することができる。この良し悪しを決定するための値を

$$V_D(h, \text{chi}^2) = \text{chi}^2 / (1.9 \times 10^{-3} h^2 + 1.7 h - 2.3)$$

と定義する。縦軸 h で横軸 V_D のグラフを図 2 右に示す。 $V_D < 2$ は良く Fit されていることを確認できた。 $V_D > 10$ の波形は明らかにダブル波形や雑音を多く含んでいる事象であることが確認できた。 $2 < V_D < 10$ の事象はシングル波形でもノイズの影響で Chi^2 が悪くなりシングル波形もダブル波形も混ざっている領域である。

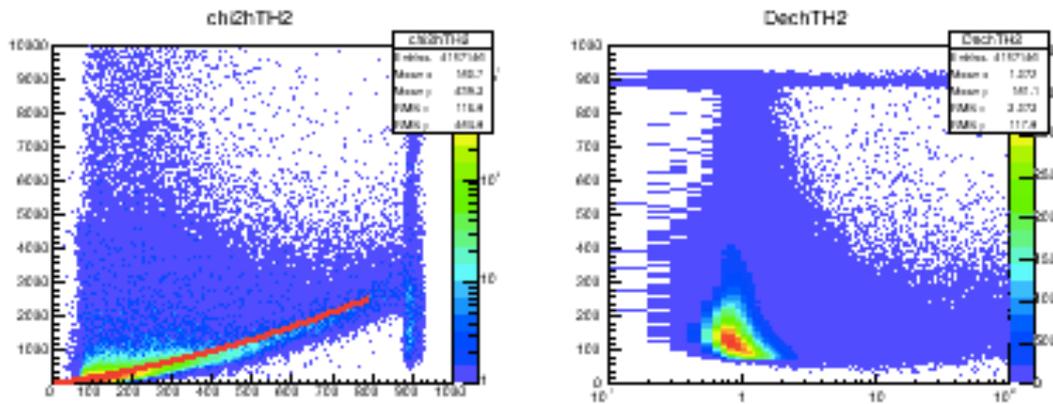


図 2. 波高と Chi^2 の関係と Fitting の良し悪しを決定するための値 V_D の設定

3. Second 波形の波高分布とピーク時間差分布

時間情報で波形セレクトしないことで second 波形が高い事象においても解析することができるようになった。このような事象はシングル波形 Fit が second 波形の位置で 2 つ目を fast 波形の位置で Fit するアルゴリズムである。つまり、場合分けして Fast 波形が高い場合はいつも通り 2 つ目の波形を参照し、second 波形が高い場合は 1 つ目の波形を参照すれば良い。

ダブル波形における Fit の良し悪しの決定するために、シングル波形 Fit と同様に chi^2 と波高分布の関係を図 3 に示す。縦軸が chi^2 で横軸が second 波高を示す。大きく 2 種類に分

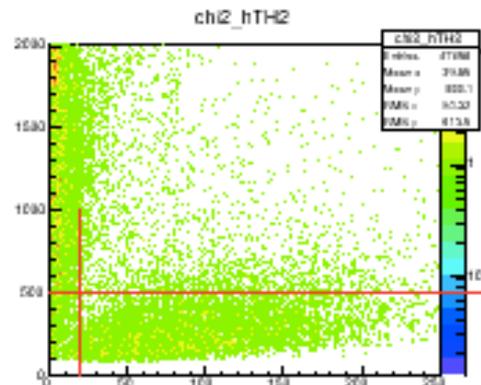


図 3. 波高と Chi^2 の関係

類でき、赤線で仕切った右下の領域がおそらく良く Fit できている波形だ。2月現在 Run 番号 4563-4575 までのイベントについて消化できた。この波形における second 波形の波高分布とピーク時間差分布を図 4 に示す。

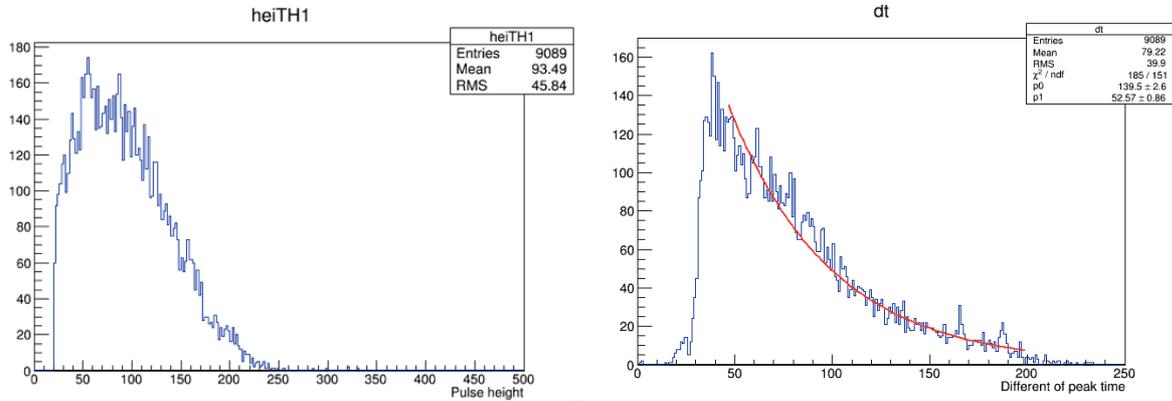


図 4. second 波形の波高分布とピーク時間差分布

Second 波形の波高分布は高い波高を持つ事象も解析できたことから、ADC 100ch.付近が盛り上がっている分布になり、デバッグ前と比較して気持ちミッシュェルスペクトラムに近づいた。ピーク時間差分布は TDC 50 ch.から指数関数的に減少傾向が見え、指数関数で Fitting すると、指数係数は TDC 52 ch. (= 2080 ns)でミュオンの平均寿命 $2.2 \mu s$ に矛盾しない。

Second 波高とピーク時間差のスキッタプロットを図 5 に示す。40<TDC<100、20<ADC<150 にかけて集中していることがわかる。TDC<40 の領域は second 波形の波高が小さい事象はセレクトされていない。これは分離の限界を示しており、接近したパルスは波高が大きくないと識別できないことを意味している。Second 波形の最大波高は ADC 250 ch に分布していることから Kmu2 による校正係数に矛盾していない。しかしこのスキッタプロットからミッシュェルスペクトラムに近似されない原因が見つかるかもしれない。

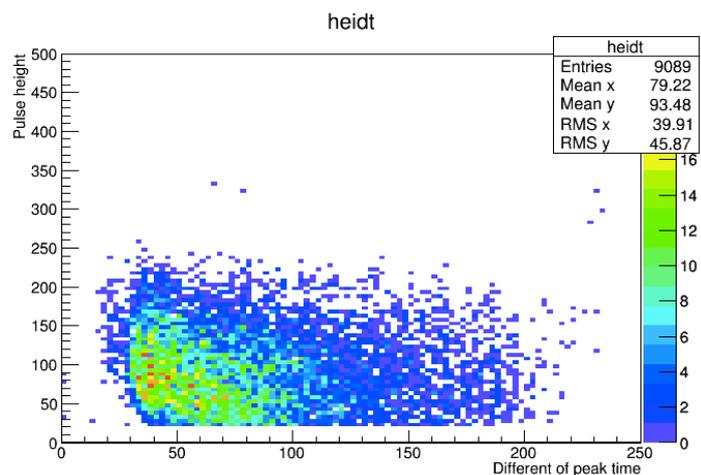


図 5. second 波形の波高とピーク時間差のスキッタプロット

4. 信号タイミング決定

せっかく Fitting しているのだからタイミング情報を離散ではなく、細かく決定することができるはず。波形のプロパティはピーク時間 TDC を採用しており、Physics 解析にもこの値が使用されている。ピーク時間分布は図 6 に示すように int 型の離散的な値である。ガウスフィットすると、1.22 TDC channel の標準偏差が得られた(つまり $\sigma = 48.8$ ns)。

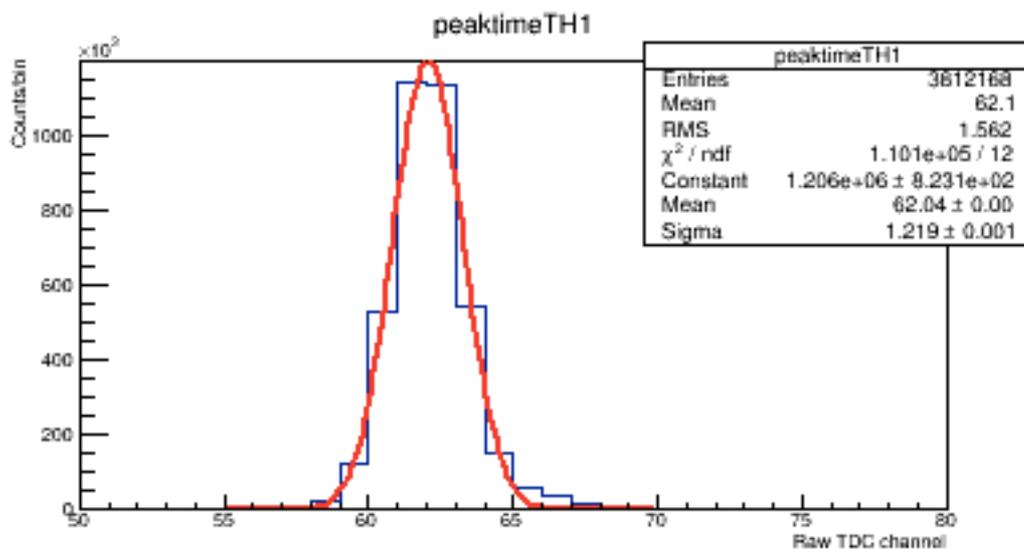


図 6. 波形プロパティのピーク時間分布

波形模型から導き出したピーク時間分布を図 7 に示す。この値は模型関数でフィットして良く fit した事象($V_D < 2$)についてセレクトされている。このとき 65-67 ch に分布している事象を分離することができる。標準偏差は 0.59 ch ($\sigma = 23.6$ ns)が得られた

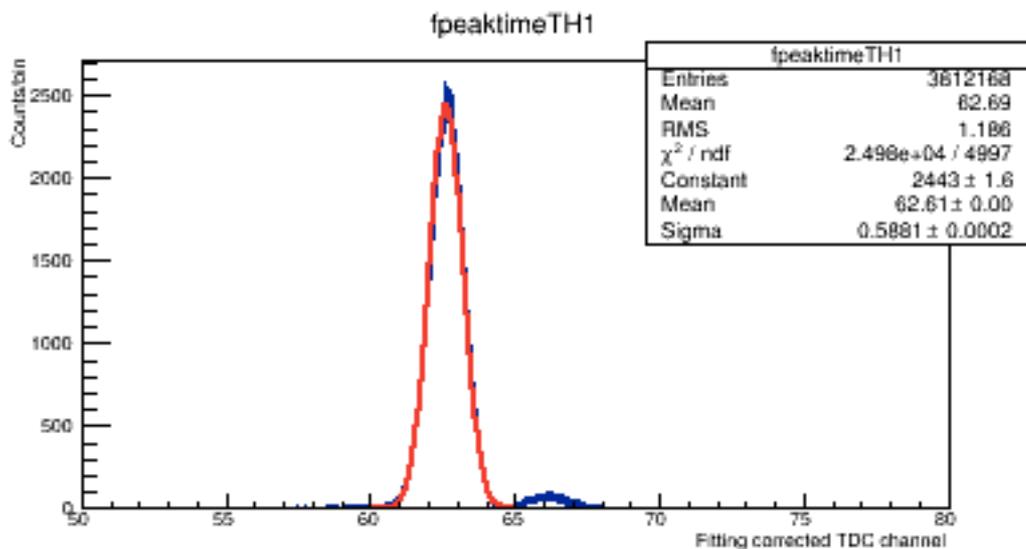


図 7. 波形模型フィットによるピーク時間分布

ピーク時間は緩やかな曲線なのでタイミング決定には向かず、波形模型によるフィットにおいても χ^2 が最小になるために減衰領域と立ち上がりに関して支配的でピーク時刻は若干(数十 ns)ずれることがある。そこで、波形の立ち上がり時刻を信号のタイミングとして決定することでより時間分解能を向上できるはずである。模型関数の自由パラメータ p_1 は立ち上がる時刻を示す(図 8 左)が離散的なデータポイントに引っ張られて分布が離散的である。

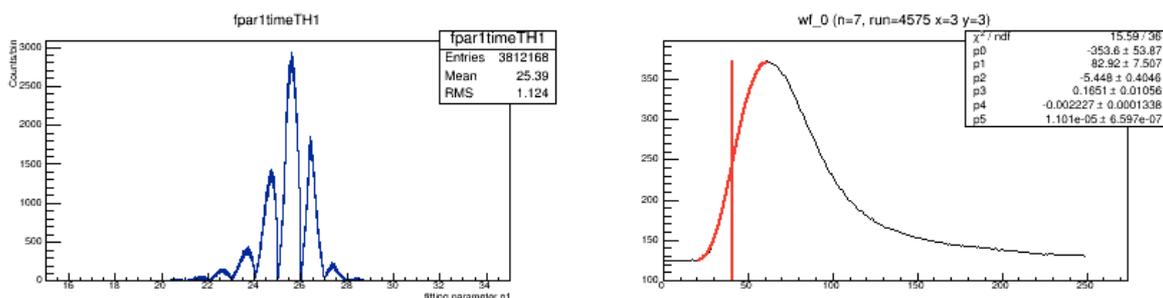


図 8. 模型の自由パラメータ p_1 分布(左)、立上り時刻の探索(右)

そこで、パラメータ p_1 の時刻からピーク時刻までの領域を再度フィッティングして立ち上がり時刻を決定する。常に増加傾向なので 5 次関数でよく近似でき、ちょうど波高の半分の値になった時刻を立ち上がり時刻(rise time)として格納する。Rise time 分布を図 9 に示す。ガウスフィットした結果、標準偏差は 0.48 ch ($\sigma = 19.2 \text{ ns}$)に向上した。

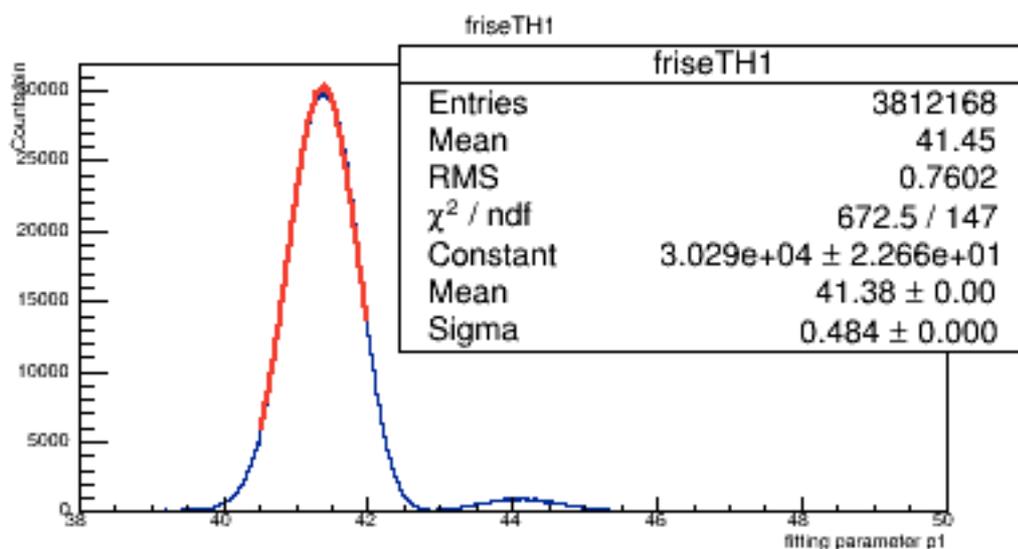


図 9. 立上り時刻の分布

5. 考察とまとめ

現在の模型関数の完成度は高いが、課題点は(1)立ち上がり時刻でチョンボしている、(2)ピーク時刻は若干ずれる可能性がある、(3)計算時間が長い。立上り時刻を信号タイミングの決定に採用した場合、波形プロファイルのピーク時刻の標準偏差 48.8 ns から標準偏差 19.9 ns に向上することができた。再びフィッティングすることは、信号の直前にノイズが乗りパイルアップした事象、オーバーレンジ波形などの雑音を落とすのでアドバンテージがあり、CsI detector の時間分解能を評価することに有効だ。立上り時刻の決定はまず波高の 50%になるときの時刻で定義しているが、波高の何%にするかの適正を調べる必要があるだろう。

Second 波形の Fitting の良し悪しを決定する際、シングル波形 Fitting のピーク時刻が 55-65 なのか、65 以上なのかで場合分けしたほうがよく、また、fast 波高と second 波高についてどちらも見ておく必要があるだろう。

今後の予定は(1)全ての Run を消化しミッシュェルスペクトラムは確認できるかの検証、(2)second 波形の Fit 良し悪し決定についてもっと詰めて検証してみる、(3)信号タイミングの決定のために立上りは波高の何%か調べる。