

Neural Networkを用いたSK-Gdにおける中性子捕獲効率の評価と改善

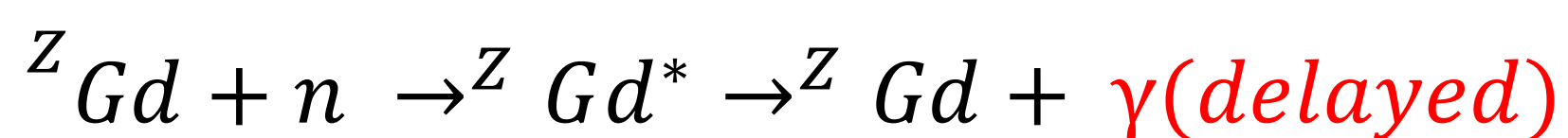
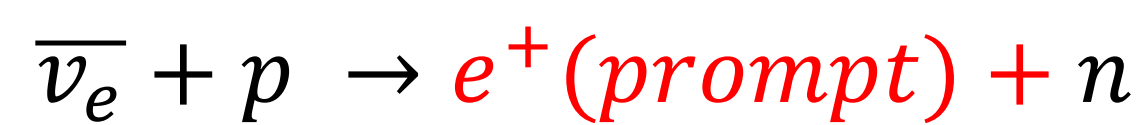
東京大学宇宙線研究所 関谷研究室 D1 兼村侑希

Abstract

本研究の目標は、スーパーカミオカンデ(SK)におけるガドリニウム(Gd)及び陽子による中性子捕獲信号を効率よく選択する手法の開発と評価を行うことである。Gd濃度0.01%であったSK-VIと0.03%であるSK-VIIそれぞれの期間で中性子線源を用いてdataを取得し、中性子捕獲事象とBG事象の識別を従来のcutに基づく解析(Cut)、あるいはNeural Networkを用いた解析(NN)によって行った。検出器内で中性子を放出する割合に対して、中性子信号を識別できる割合(中性子tag効率)の評価を行った結果、NNによる中性子捕獲事象とBG事象の識別の方が高いtag効率を得られることを確認できた。また、SK-VIIの期間においては、様々な場所で中性子線源のdata取得を行い、中性子tag効率を評価した結果、場所によらず一様であることを確認した。

I. Gd濃度と中性子捕獲効率の関係

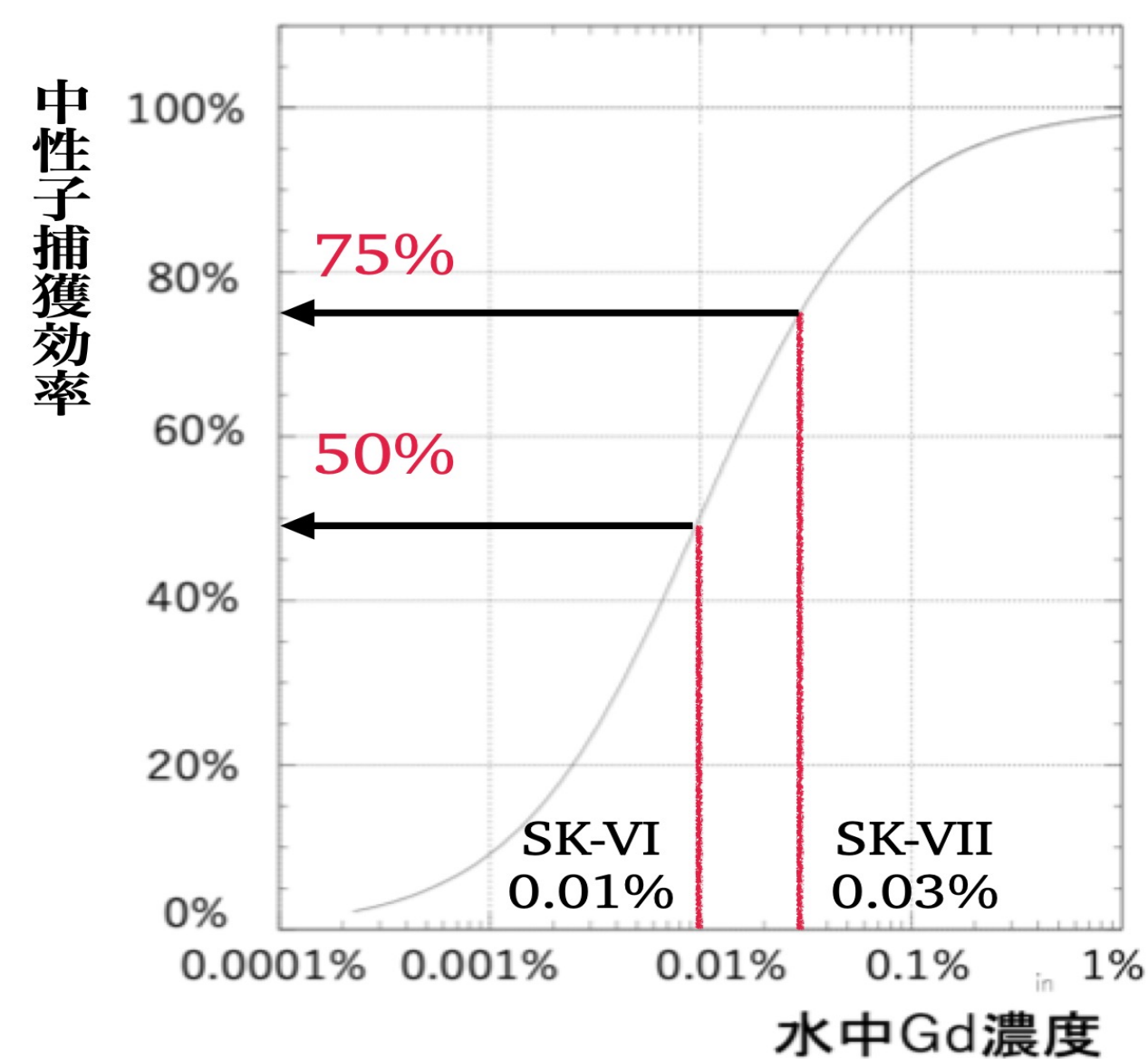
・超新星背景ニュートリノのIBD反応由来の中性子の捕獲効率を上げる為、2020年7月からSKにGdを導入した。



・中性子tag効率
= 中性子捕獲効率 × 検出効率

・BG事象と区別し、中性子捕獲事象を効率よく選択できる解析プログラムが必須!

・5万トンの純水に~40トンの硫酸ガドリニウム8水和物を導入した為、Gd濃度の場所依存性の確認が必須!



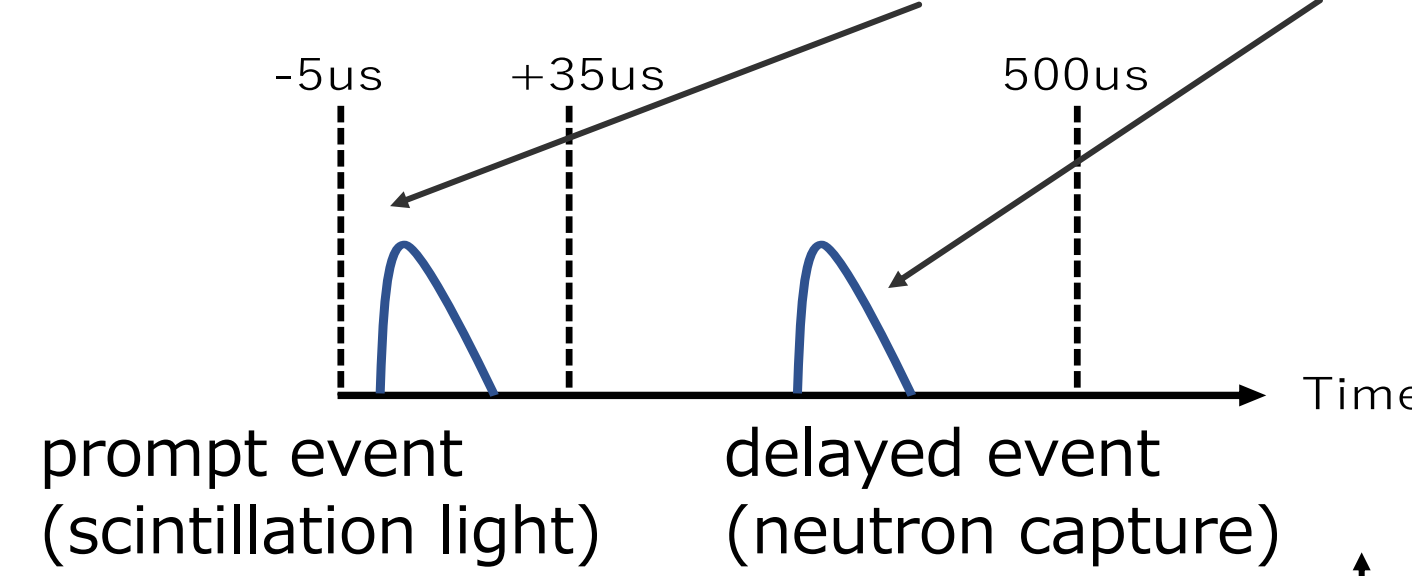
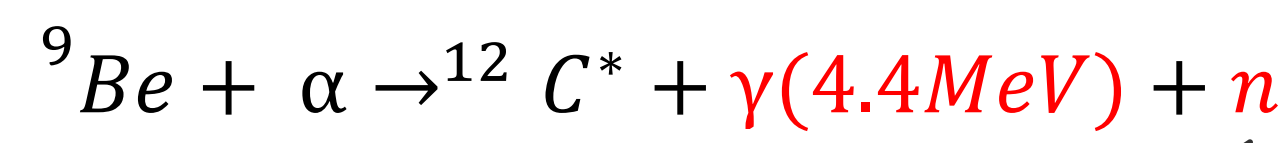
II. 中性子Dataの取得

◎使用した線源: ${}^{241}\text{Am}-{}^9\text{Be}$

Am由来の α 粒子と ${}^9\text{Be}$ の反応より中性子が生じる。



BGO(Bi₄Ge₃O₁₂) crystal



◎Dataを取得した位置

・SK-VIとSK-VIIの比較

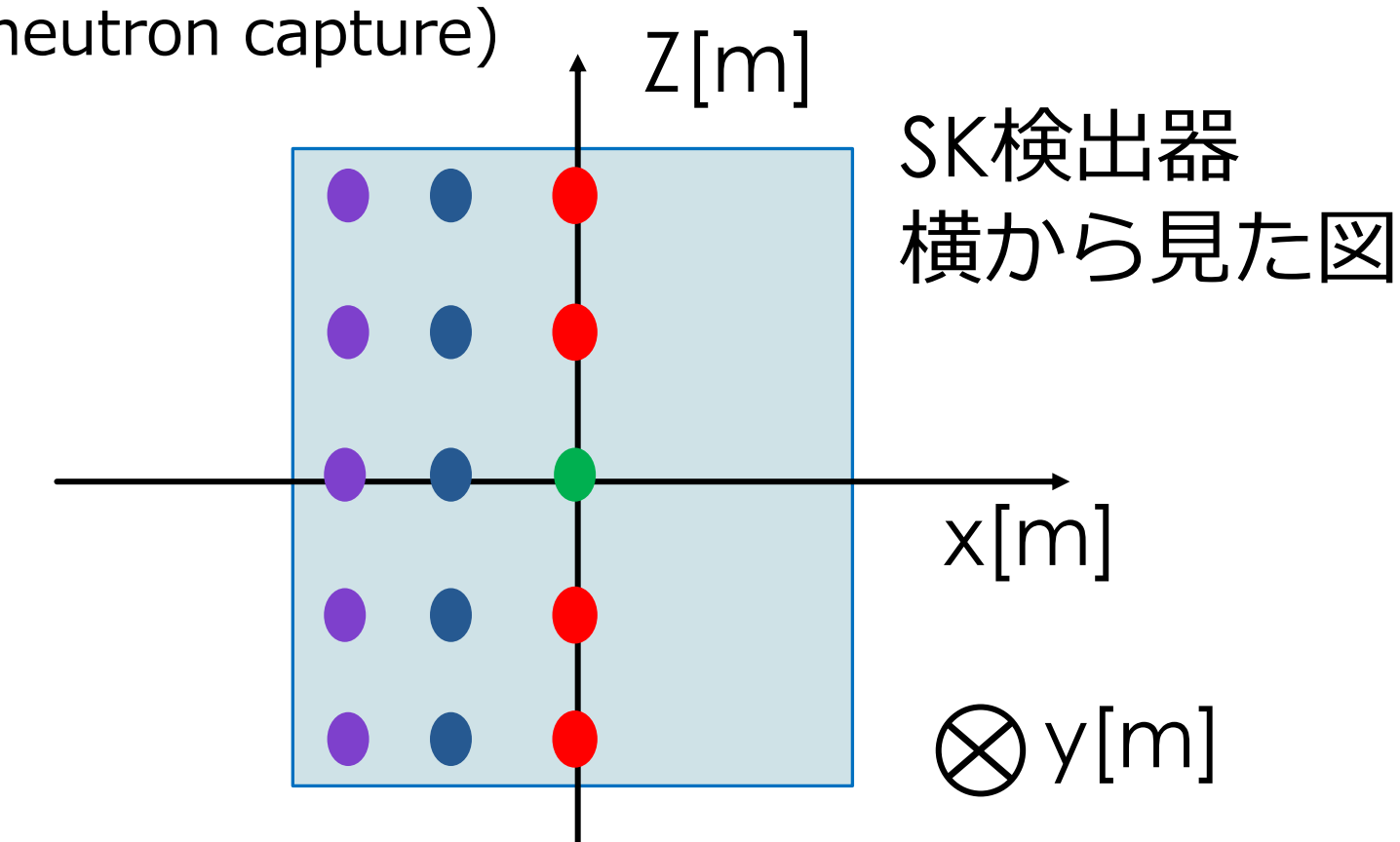
→(x,y,z) = (0,0,0)m (center)

・tag効率の場所依存性解析(SK-VII)

→・y方向: 0mで固定

・x方向: x=-12, -4, 0m

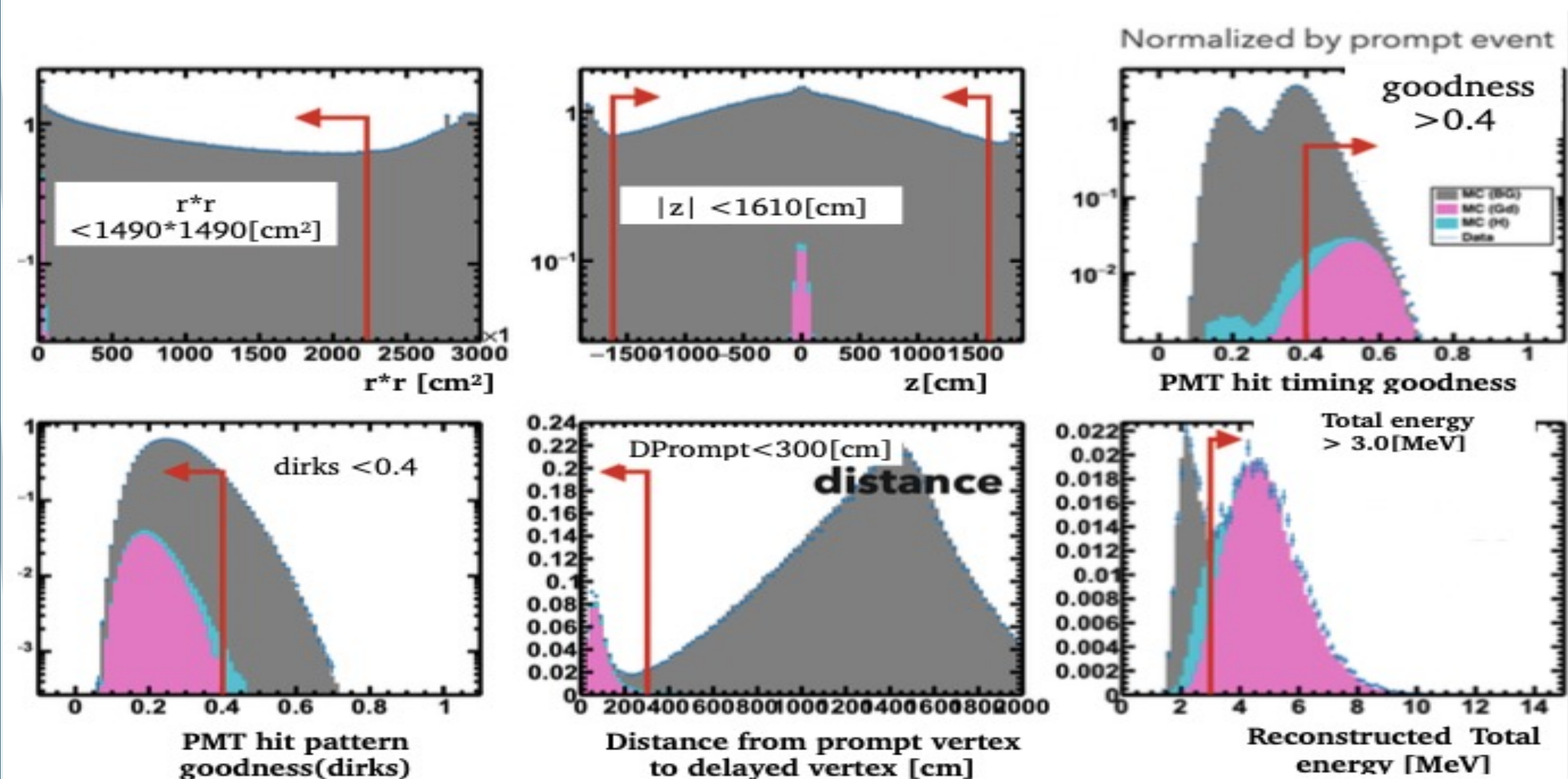
・z方向: z=±12, ±6, 0m



III. 中性子捕獲事象の検索

① 従来のcut baseによる解析(Cut): Cut条件を用いて選別する方法

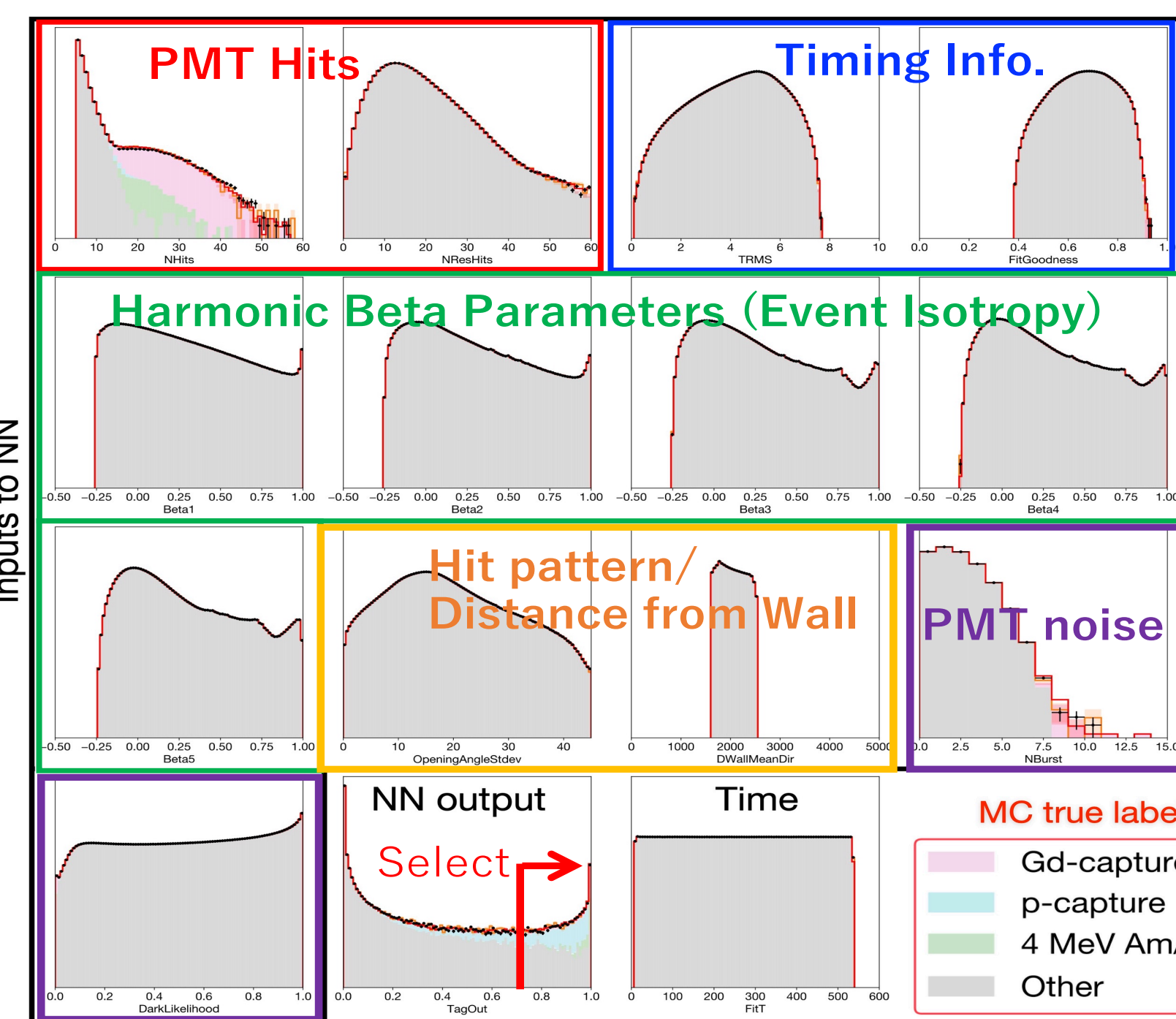
Prompt vertex	Calibration vertexと同等と仮定
再構成する Delayed event 情報	<ul style="list-style-type: none"> vertex($rr = x^2 + y^2, z$) PMTのhit timing goodness(goodness) PMTのhit patternのgoodness(dirks) promptまでの距離(DPrompt) Total energy
Delayed eventの select条件	<ul style="list-style-type: none"> 有効体積22.5k · m³以内 (goodness)>0.4 且つ (dirks)<0.4 (DPrompt)<300cm (Total energy)>3.0MeV



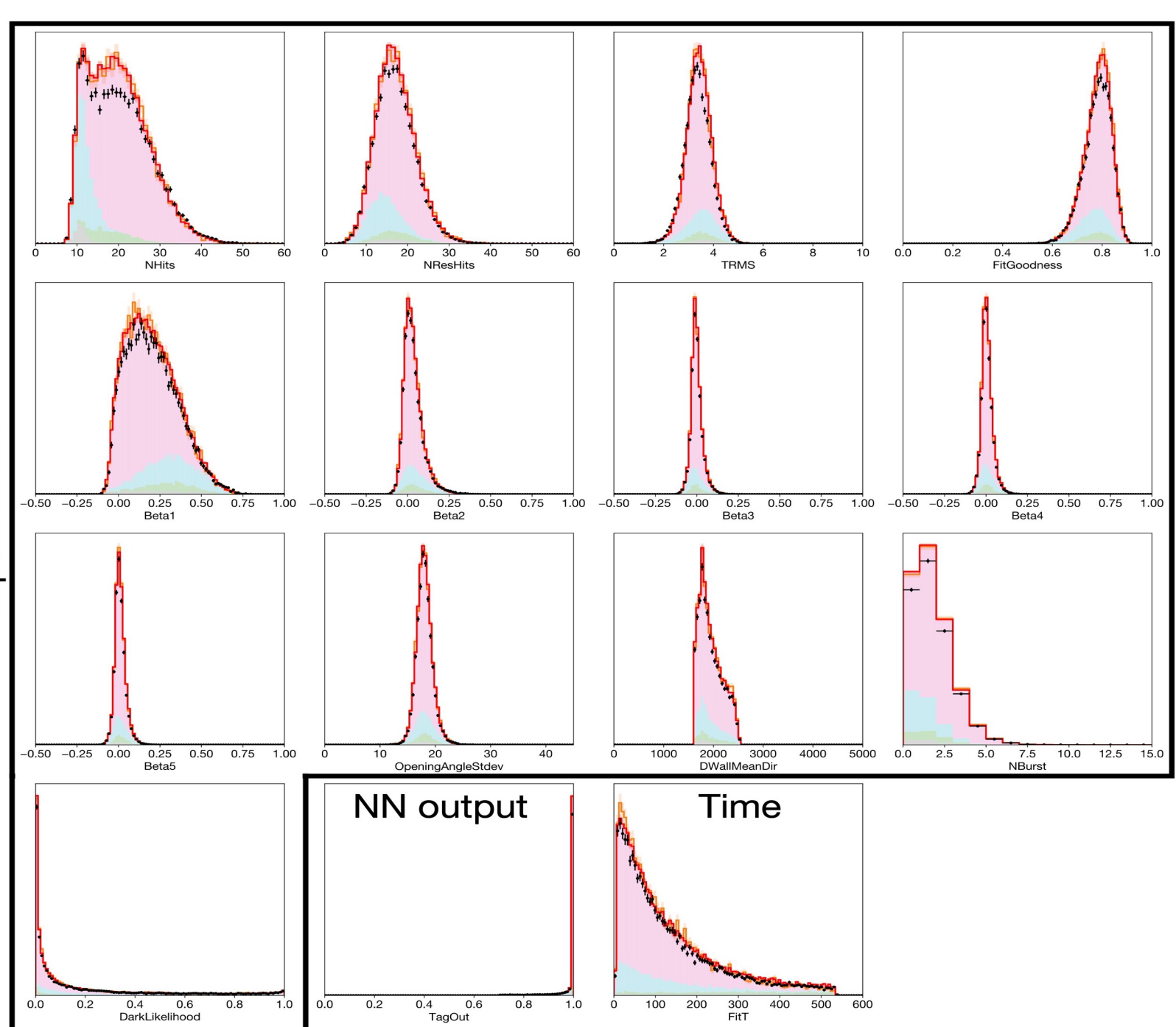
② Neural Networkによる解析(NN):機械学習モデル(Tensor flow Keras)に選別させる方法

Prompt vertex	Calibration vertexと同等と仮定
再構成する Delayed event 情報	<ul style="list-style-type: none"> 特定の時間範囲内のPMTのhit数とtiming情報 SK壁面までの距離 hitしたPMTの角度関連(Beta Parameter)
Delayed eventの select条件	<ul style="list-style-type: none"> TagOut(Delayed signal likelihood)>0.7 NHits(14ns毎のPMThit数)<50hits もしくは FitT(prompt-delayedの時間)>20us(Decay-eのcut)

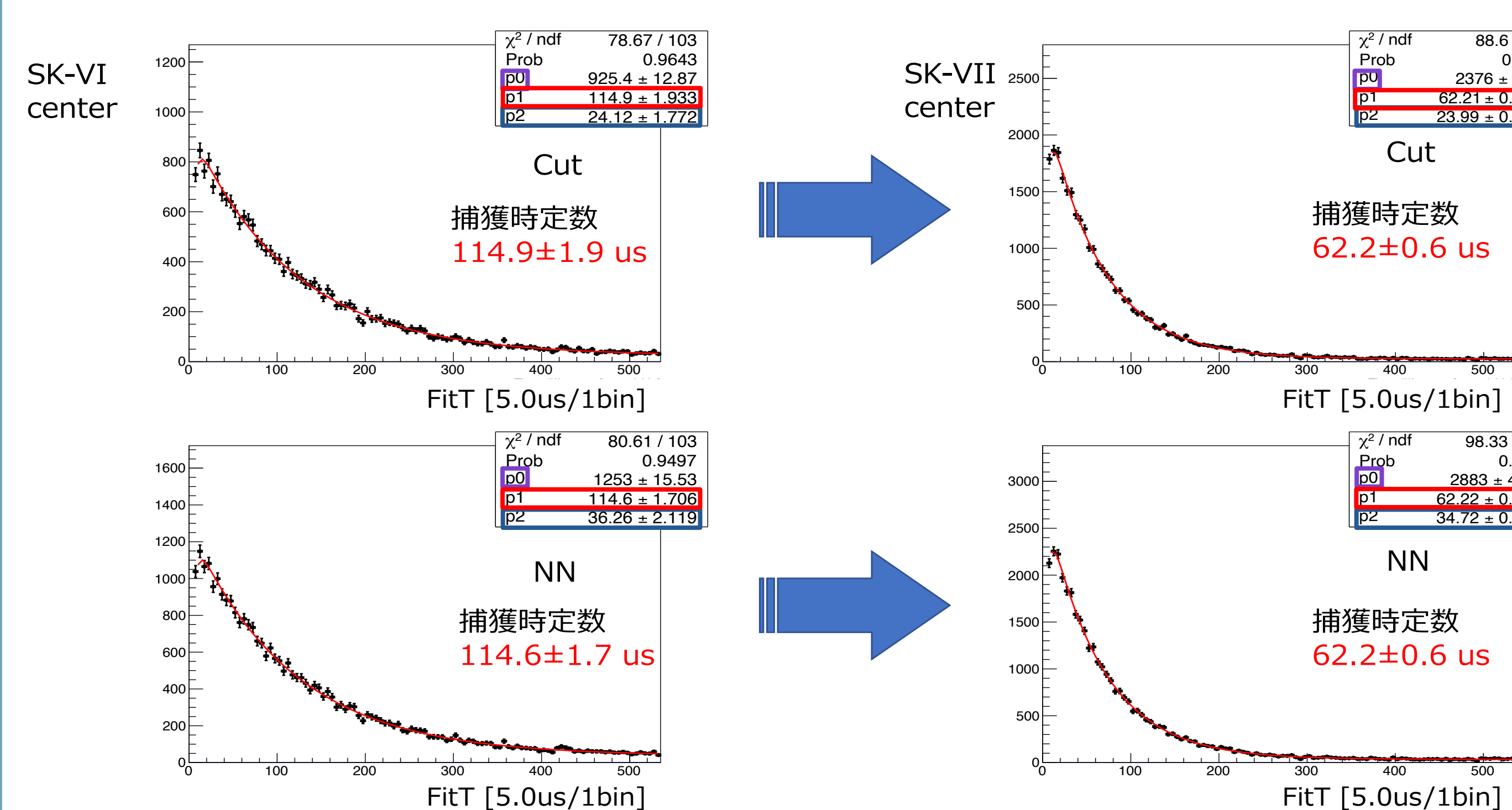
Before neutron-candidate selection (Data and MC)



After neutron-candidate selection (Data and MC)



IV. 中性子tag効率の求め方



(1) prompt-delayedの時間差FitT[us]を以下の式でFitする。

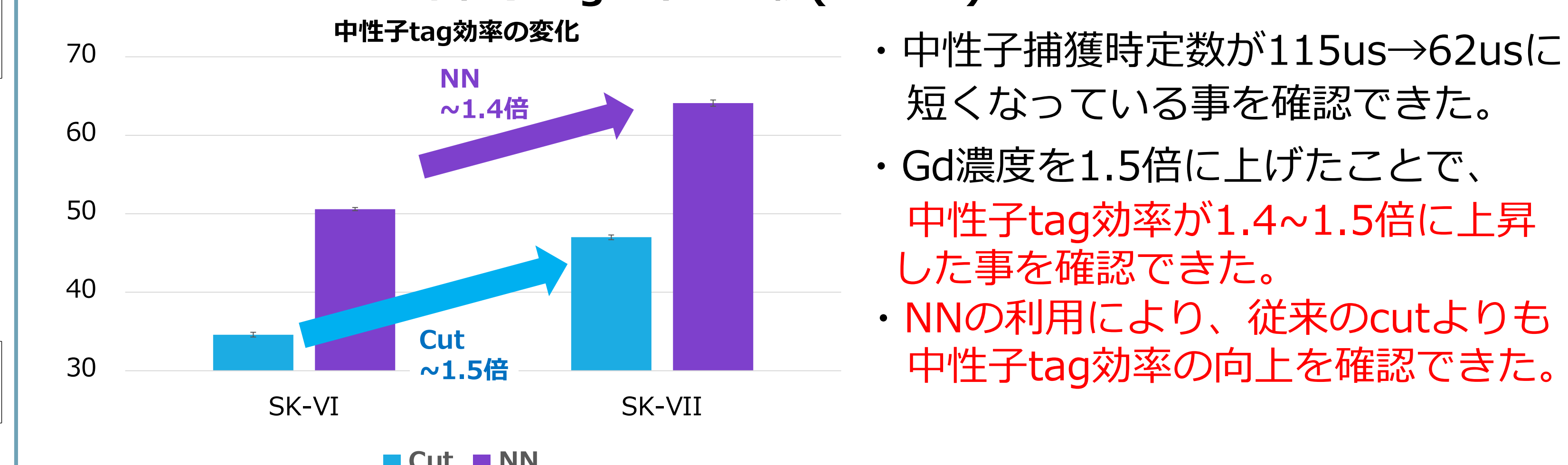
$$[p0] \exp\left(-\frac{\text{FitT}}{[p1]}\right) \left(1 - \exp\left(-\frac{\text{FitT}}{4.3[\text{us}]}\right)\right) + [p2]$$

(2) Fitパラメータ[p2]とヒストグラムのevent数を積分して、以下の式に従って中性子tag効率を求める。

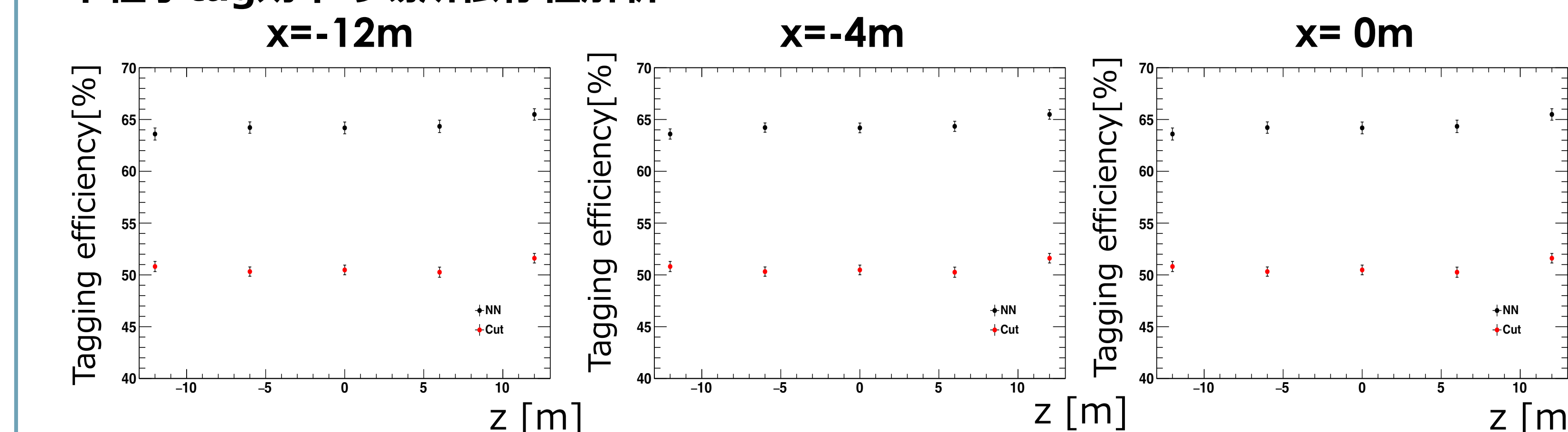
$$(\text{中性子tag効率}) = \frac{\{(\text{Delayed event数}) - (\text{BG数})\}}{(\text{prompt event数})}$$

V. 中性子tag効率の評価と今後の課題

◎SK-VIとSK-VIIの中性子tag効率の比較(center)



◎中性子tag効率の場所依存性解析



・各地点で、SK-VIIの中性子tag効率はFitの誤差の範囲内において~65%(NN), ~51%(Cut)で安定していた。→ Gd濃度が検出器中で一様であることを確認した。

◎今後の課題

・NNにprompt-delayedのvertex情報を入力して accidental BGを極力落とし、中性子tag効率の改善を目指す。