



CMOS検出器とWIMP

Koji Nakamura



一年前に考えていたこと

- 一年たっても全く進んでません...
 - 自己結合の3点4点はMadgraphでevent generation できるようになった。 λ_{HHH} と λ_{HHHH} を変えながらMCを難点か作成して終了している。
 - 尾田欣さん達との方はhigh massのHiggs Portal DMは非常に生成断面積が小さく、挫折...

やろうとしていること

- 自己結合の精密測定
 - 3点4点結合の測定ができるか？
 - 兼村さん(富山)とEW Bariogenesisの検証？
- Higgs Portal DM
 - 直接観測
 - 尾田欣さん+PD+学生のグループと。

2016/8/2

XXX meeting

3

結局何も進んでいない...

ここ半年くらいで考えていること

- 物理はdi-higgsとダークマター
 - Di-higgsに関してはどれがよいかまだあまり考えていない。
 - ダークマターはWIMPだと思えば3TeVくらいまでにあつて質量は縮退($dM \sim 160\text{MeV}$)している。
- やはりTracking
 - 物理の要求
 - パイルアップ $\mu=1000$ のオプションもある？
 - b-tagなしではHHはできない。
 - Disappearing trackはpixelのlayer数との勝負？
 - 内側のピクセルがよい。
 - 安くて頻繁に入れ替えられるものが必要。 $1 \times 10^7 n_{\text{eq}}/\text{cm}^2$
 - CMOS検出器しかない。

まず物理 for 100TeV

- なんにもやってません。

理論屋さんの研究会で、

- 行くたびにFCC-hhの宣伝、飲み会でアイデアないか？興味ある人いないか？と聞いて回っていた。
 - 2015年3月 新実験を考える会@沖縄
 - 初めて理論屋の前で話した。尾田欣さんや北野さんら多くの人に興味持ってもらった
 - 尾田欣さん+学生+PDでHiggs portal DMができないか？ ◎→△
 - 兼村さんとHHの話。○
 - 2015年7月 ヒッグス研究会@富山
 - 兼村さんたちとHHに関してできることないか？○
 - 2016年3月 松江研究会
 - このときはじめて松本さんにWIMP 3TeVの話聞いた。◎
 - 石田さんという島根大の人がgamgamに興味持っていた。△
 - 2016年6月 集中講義+セミナー@大阪
 - 尾田欣さん、山本(やまやす)君あたりがATLAS bbyyのエクセスで何かできないか？→進行中 ◎
 - 2016年6月 集中講義+セミナー@金沢
 - 青木さんの学生で金子君という子がHH@100TeVでD論書きたいとのこと。△
- この辺のついででなんかできないかな？

松本さんから

WIMP DM --> AMSB gageno : $dM \sim 160\text{MeV}$ $M < 3\text{TeV}$

まず $m < 3\text{TeV}$ となる論文ですが、これは以下の通りです。

J.~Hisano, S.~Matsumoto, M.~Nagai, O.~Saito and M.~Senami,
%`Non-perturbative effect on thermal relic abundance of dark matter,"
Phys.¥ Lett.¥ B {¥bf 646}, 34 (2007)

次に $dm 160\text{MeV}$ となる論文ですが、これは以下の通りです。

M.~Ibe, S.~Matsumoto and R.~Sato,
%`Mass Splitting between Charged and Neutral Winos at Two-Loop Level,"
Phys.¥ Lett.¥ B {¥bf 721}, 252 (2013)

最後に理論家を書いた 100TeV でのWIMP searchの論文は以下の通りです。

M.~Low and L.~T.~Wang,
%`Neutralino dark matter at 14 TeV and 100 TeV,"
JHEP {¥bf 1408}, 161 (2014)

検出器 for 100TeV

- CMOSをどこの企業でやるのがベストかの調査、科研費のネタ探し。

何を考えなければいけないか？

まず、layer数が多いので

- 安価である必要がある。

• バンプボンディングをしたくない→モノリシック CMOS

- 物質量が少ない → 100um厚くらい？

• Well(空乏化できる領域)を掘るのではなく全空乏化型。

放射線耐性

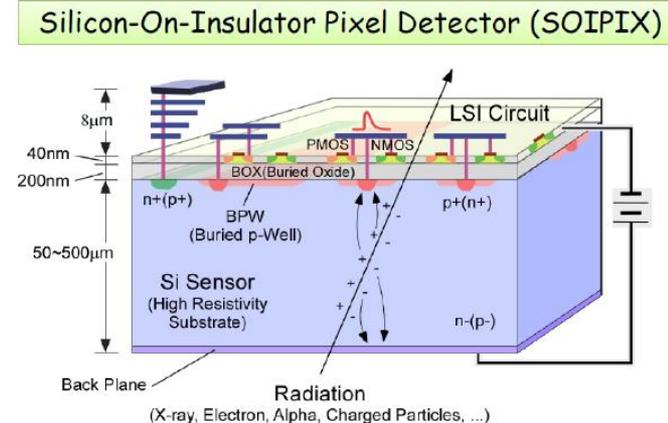
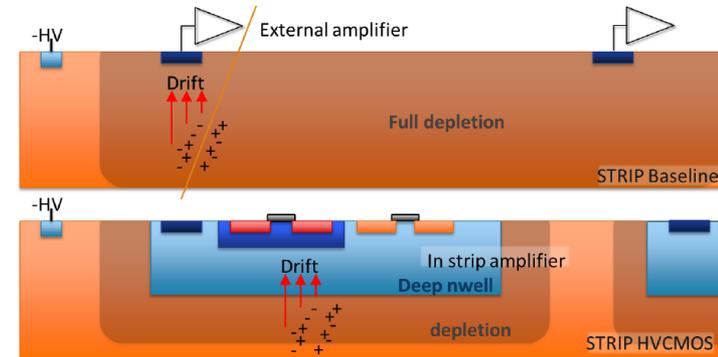
- 放射線損傷で使えなくなるのは全空乏化させる電圧が検出器の耐圧を超えたとき。

• 1000V耐圧の検出器なら600V耐圧の検出器よりも長生き→裏面プロセスがしっかりしたところ(浜ホトしかない)

というようなことを考えると浜ホトでCMOS検出器という結論に必然的になった。

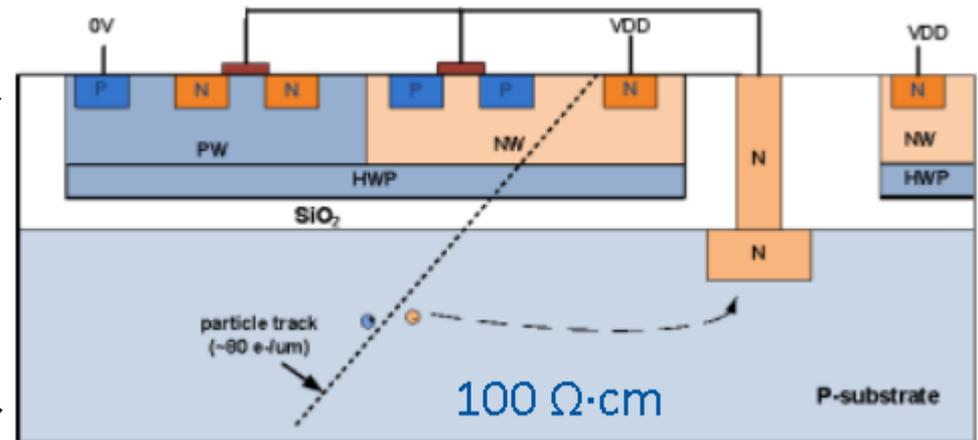
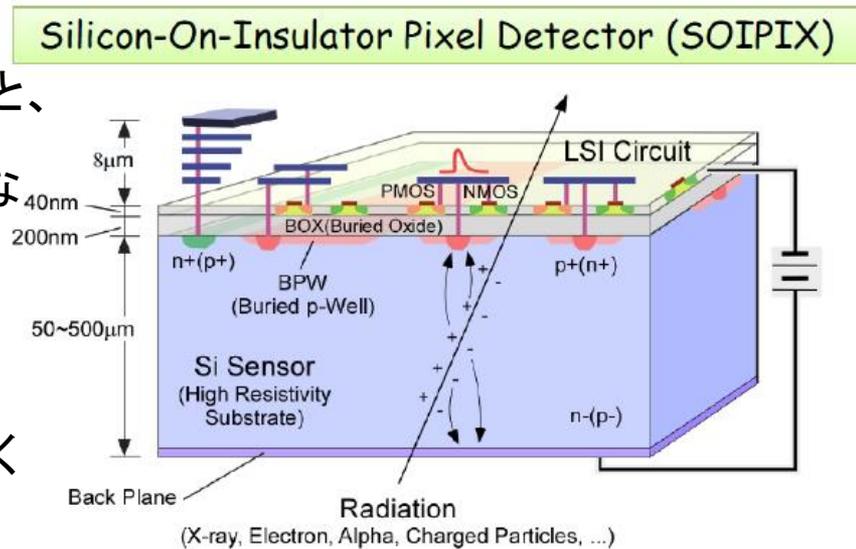
- ATLAS浜ホト会議の後、設計の人と飲みに行っ
てひそかに計画が進行中→科研費を取らない
と机上の空論

- やはりSOIかな？



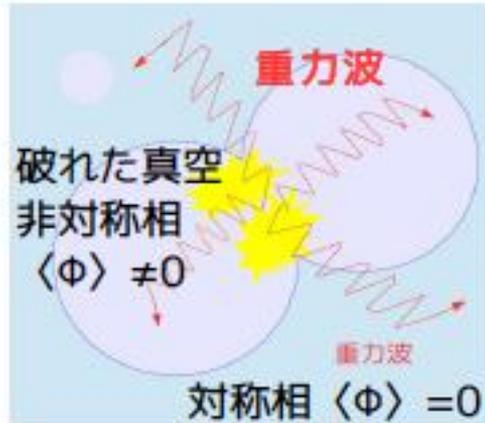
今のSOI (LAPIS)ではダメなのか

- まず、回路層が薄い
 - 薄い回路層にTransistorを配置すると、放射線ダメージで酸化膜にたまるチャージでゲートが開きっぱなしになる。
 - 解決策としてDouble SIOとかあるが高い。
- 裏面プロセス
 - 浜ホトに比べて裏面プロセスがうまくなく、600Vかかるかどうか。
- これを踏まえて考えると回路層の厚いSOIを裏面プロセスの技術力が高い浜ホトしかない。
 - ベースとして考えているのがbonnが開発中のXFAB
 - 回路層の厚みなどは最適化する。
 - 問題は回路層のfabricationが粗い(300nm process)
 - 最初はいいがpixelが小さくなったらこの部分は外注？(ATLAS chipをつくる予定の台湾の会社？65nm process)



backup

重力波と強い一次的電弱相転移



① 泡の衝突: $\Omega_{\text{coll}} h^2 \sim 10^{-8} \left[\frac{H_t}{\beta} \right]^2 \left[\frac{\alpha}{1 + \alpha} \right]^2$

② プラズマ乱流: $\Omega_{\text{turb}} h^2 \sim 10^{-4} \left[\frac{H_t}{\beta} \right]^2$

2つの機構で重力波発生!

泡が衝突し重力波発生

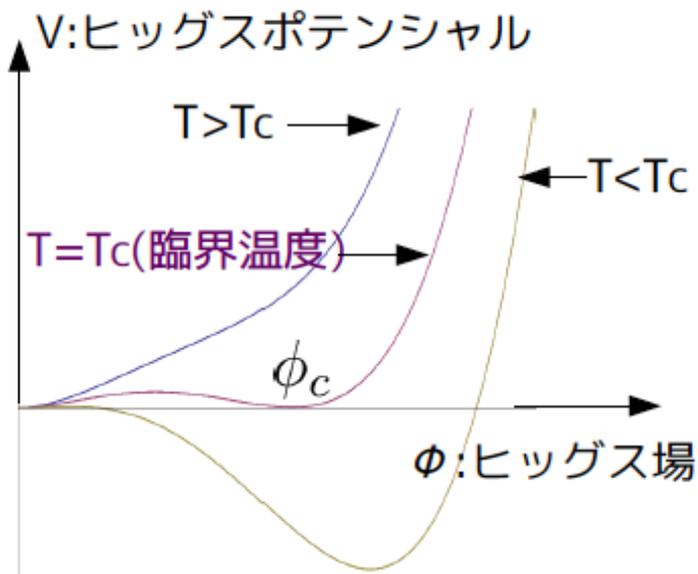
半解析的計算 J. Kehayias and S. Profumo (2007)

1. 潜熱 $\epsilon_t = V(v(T), T) + T \frac{d}{dT} V(v(T), T) \Big|_{T_t}$ $\alpha \equiv \frac{\epsilon_t}{\rho_{\text{rad}}(T_t)}$ $\left(\rho_{\text{rad}}(T) = \frac{\pi^2}{30} g(T) T^4 \right)$

2. 相転移継続時間 β^{-1}
 $\frac{\beta}{H_t} \equiv T_t \frac{d(S_3(T)/T)}{dT} \Big|_{T_t} \approx \frac{4G(\beta_1 + 2\beta_2 + 4\beta_3(ET_c - e)) (1 - \epsilon)}{F^2 T_c \epsilon^3}$ (高温近似) $\begin{matrix} \beta_1 = 8.29 \\ \beta_2 = -5.53 \\ \beta_3 = 0.82 \end{matrix}$

3. 相転移温度 $T_t \approx T_c (1 - \epsilon)$ $T_c = \frac{-\sqrt{D\lambda(T_c)((D\lambda - E^2)T_0^2}}{E^2 - D\lambda(T_c)}$

$F = \frac{4D\lambda(ET_0^2 - eT_c)T_c}{(e - ET_c)}$ $G = \frac{64\sqrt{2}\pi}{84\lambda^{3/2}}$ $\epsilon \approx \sqrt{\frac{2G(\beta_1 + 2\beta_2 + 4\beta_3)(ET_c - e)}{140F^2 T_c}}$ **11**



高温展開($T \gg m$)での有効ポテンシャル

$$V(\phi, T) = D(T^2 - T_0^2)\phi^2 - (ET - e)\phi^3 + \frac{\lambda}{4}\phi^4$$

$$\rightarrow \frac{\phi_c}{T_c} = \frac{2E}{\lambda} \left(1 - \frac{\lambda e}{ET_c} \right)$$

$$\phi_c/T_c \geq 1 \text{ 強い一次相転移}$$

シナリオB. ツリーレベルで三点結合($|e|$)を大きくするシナリオ

例: 標準理論 + 実シングレット場

• ポテンシャル中の三点結合 $\rightarrow e$

• シングレット模型

ヒッグスダブルレット場: $\Phi = \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}}(v_0 + h) \end{pmatrix}$ 実シングレット場: $S = x_0 + s$

ツリーレベルポテンシャル

$$V = -\mu^2 \Phi^\dagger \Phi + \lambda (\Phi^\dagger \Phi)^2 + \frac{a_1 \Phi^\dagger \Phi S + a_2 \Phi^\dagger \Phi S^2 + b_2 S^2 + b_3 S^3 + b_4 S^4}{2}$$

$\rightarrow |e|$

$|a_1|$ が大きくなるほどに ϕ_c/T_c の値も大きくなる

Double- triple- H 生成

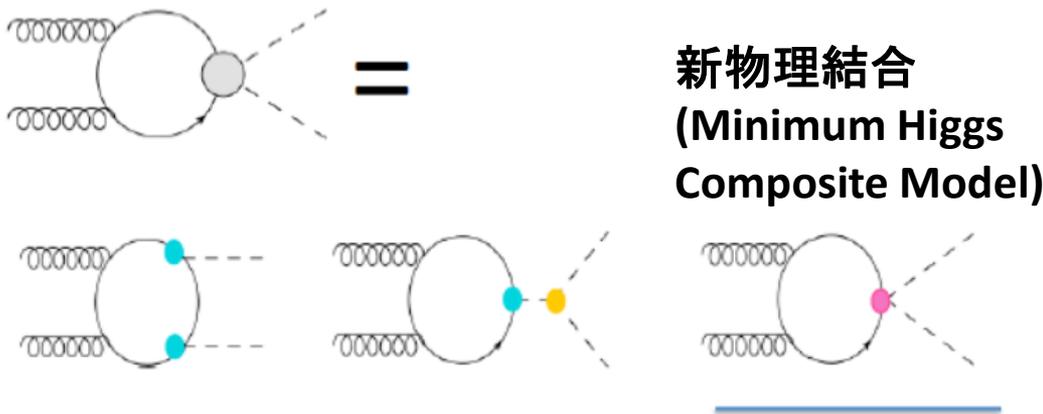
LHC3000迄SMライクだったらヒッグスポテンシャル位しか動かさない

⇒ ILC では様々なヒッグス結合 $h\gamma\gamma$, hVV , hff , ... の詳細測定と
ヒッグス3点結合を測る!

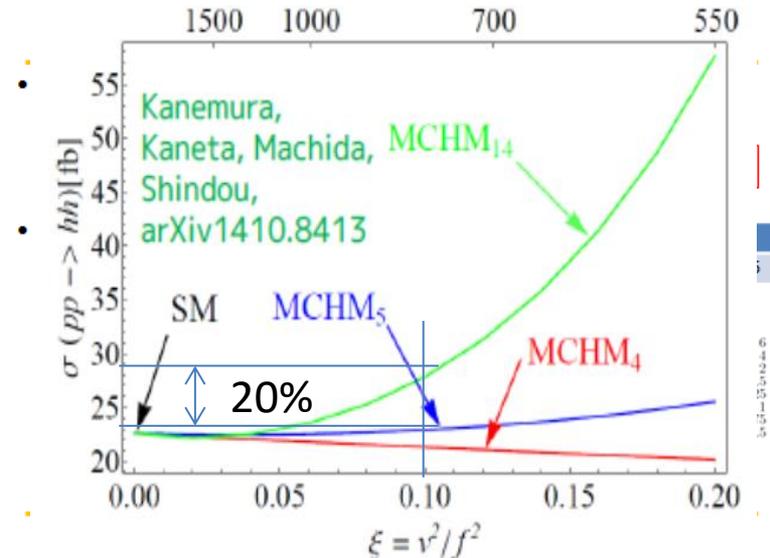
⇒ ILCが承認されないとき: 100TeVコライダーで自己結合(3点に加えて4点)を測ることができるか?

4点と3点結合

3点に加えて4点結合の情報はヒッグスポテンシャルの情報を得る上で重要
くりこみ可能な理論のループ補正では**4点結合のズレは3点のズレの4倍!**

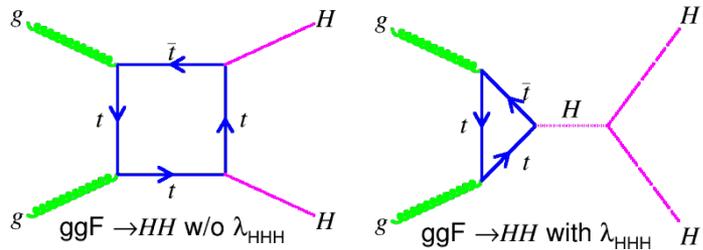


hhhを抜き出せなくてもhh断面積のズレはみれる



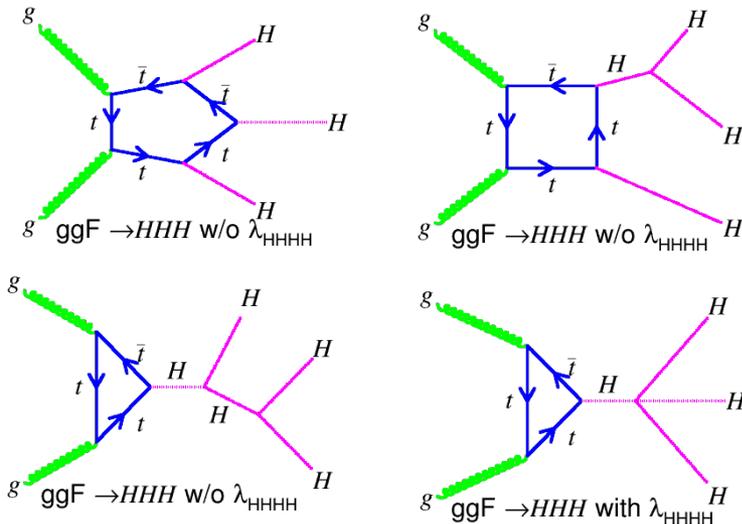
Higgs 3点/4点結合？

Di-Higgs 生成(3点結合)



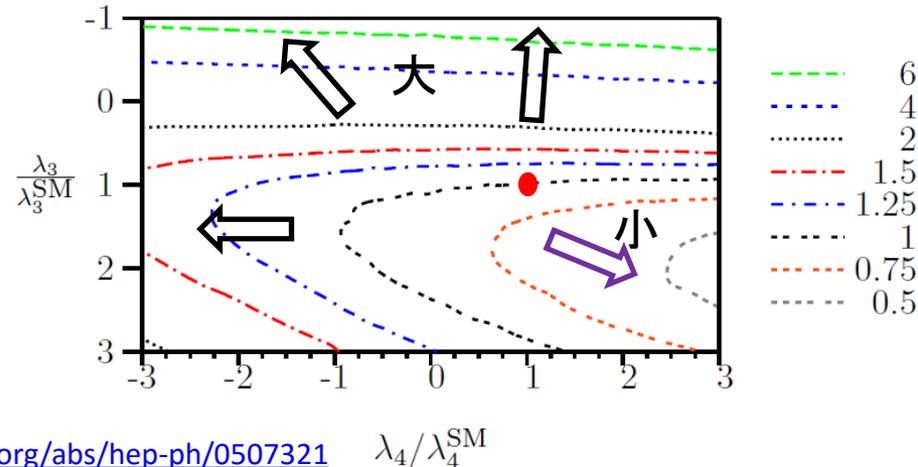
	HL-LHC	HE-LHC	VLHC
\sqrt{s} (TeV)	14	33	100
$\int \mathcal{L} dt$ (fb $^{-1}$)	3000	3000	3000
$\sigma \cdot \text{BR}(pp \rightarrow HH \rightarrow bb\gamma\gamma)$ (fb)	0.089	0.545	3.73
S/\sqrt{B}	2.3	6.2	15.0
λ (stat)	50%	20%	8%

Tri-Higgs 生成(4点結合)

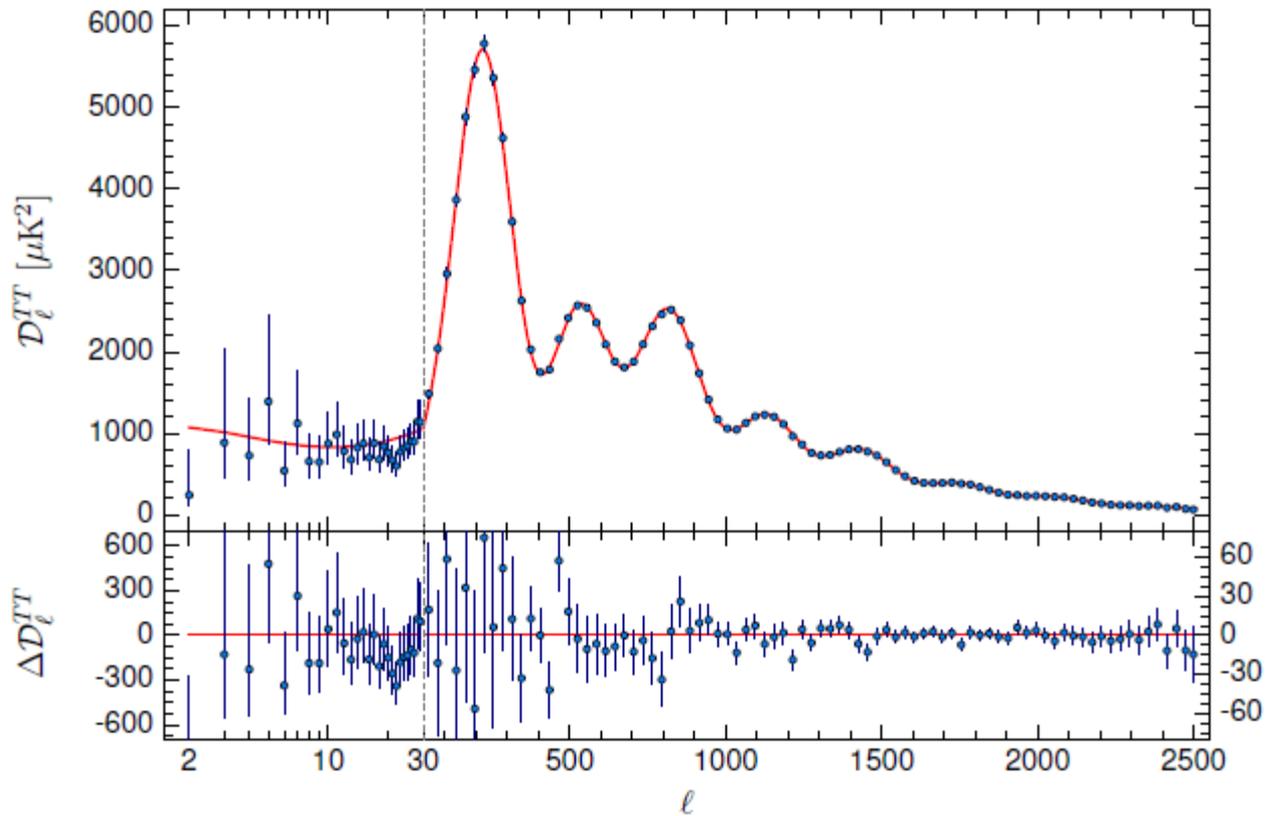


σ [fb]	pentagon	Box	Triangle	Total
14TeV	0.171	0.082	0.0046	0.0625

100TeV : **8.0 fb** 200TeV : **9.5 fb**

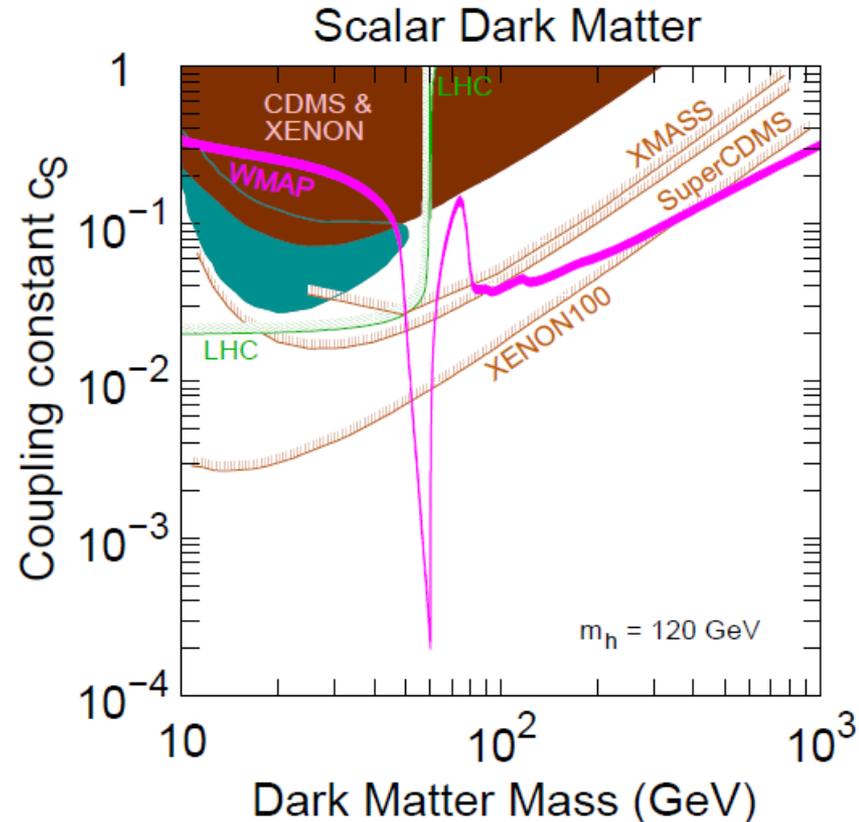
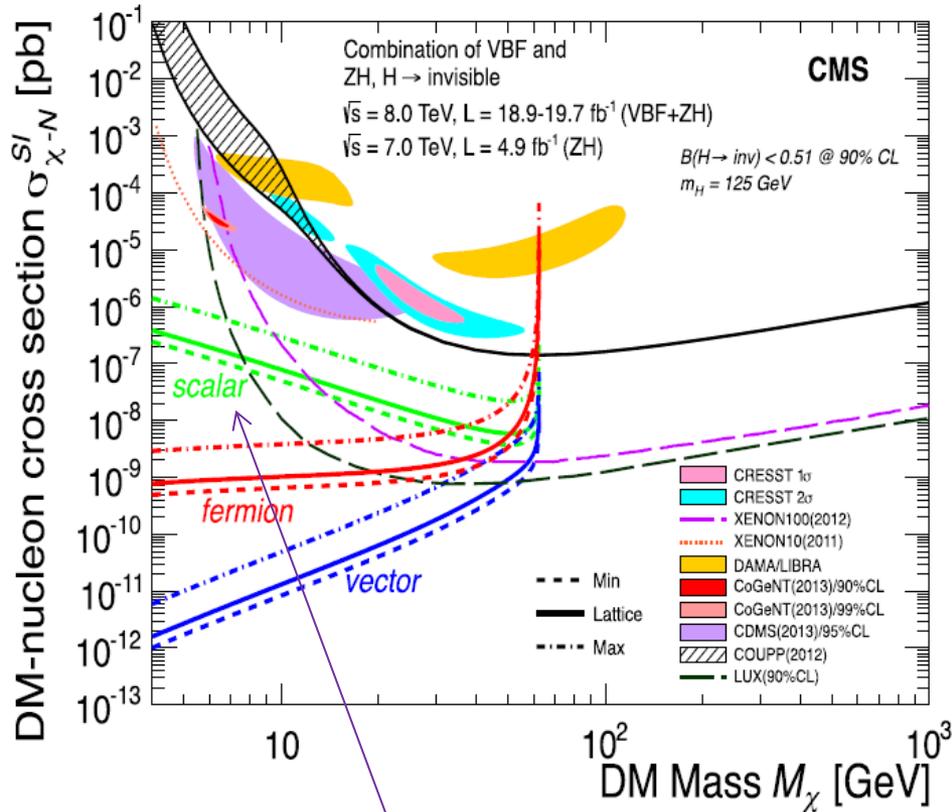


<http://arxiv.org/abs/hep-ph/0507321>
<http://arxiv.org/abs/hep-ph/0608057>



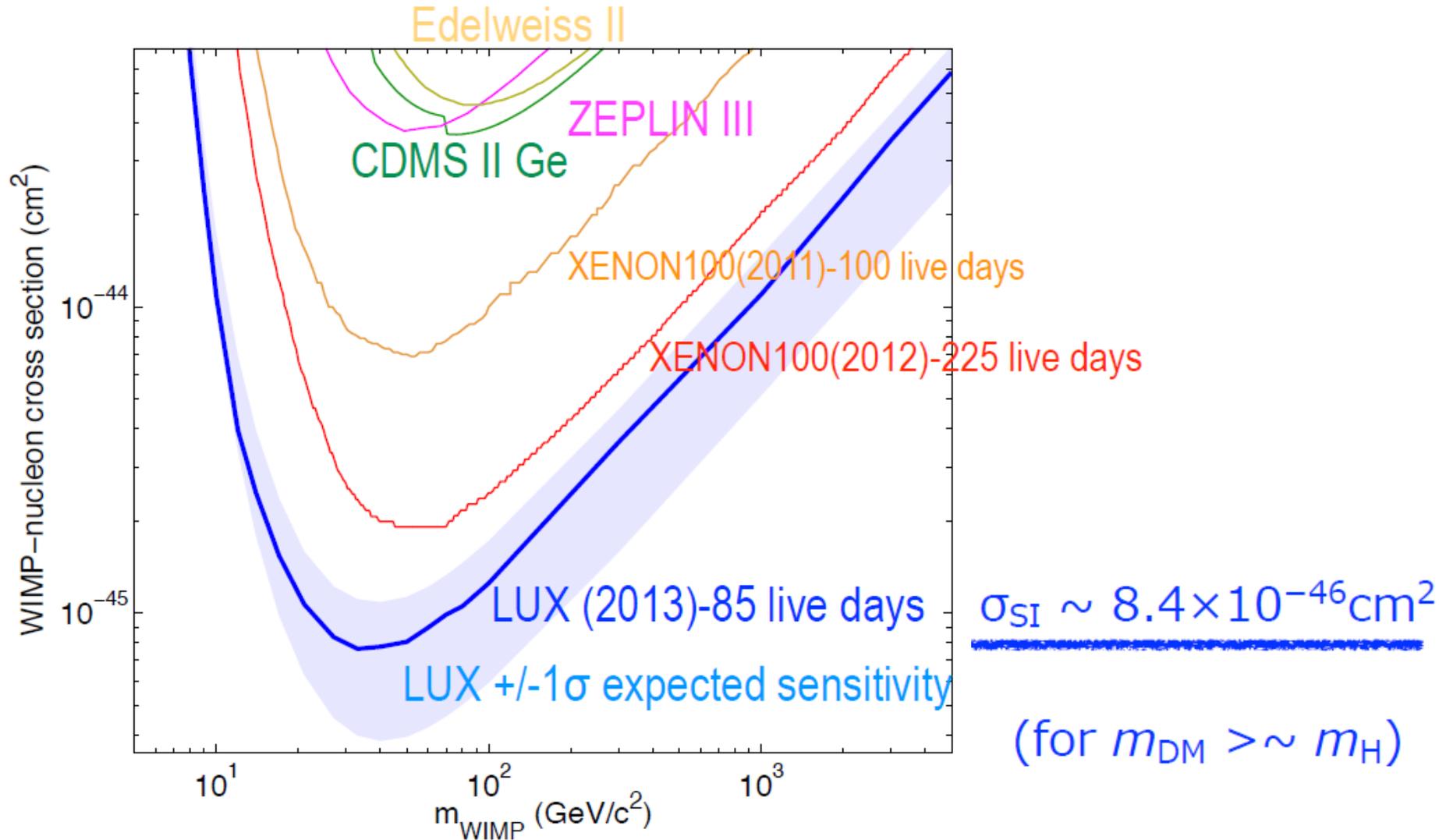
Parameter	[1] <i>Planck</i> TT+lowP	[2] <i>Planck</i> TE+lowP	[3] <i>Planck</i> EE+lowP	[4] <i>Planck</i> TT,TE,EE+lowP	([1] - [4])/σ _[1]
$\Omega_b h^2$	0.02222 ± 0.00023	0.02228 ± 0.00025	0.0240 ± 0.0013	0.02225 ± 0.00016	-0.1
$\Omega_c h^2$	0.1197 ± 0.0022	0.1187 ± 0.0021	$0.1150^{+0.0048}_{-0.0055}$	0.1198 ± 0.0015	0.0
$100\theta_{MC}$	1.04085 ± 0.00047	1.04094 ± 0.00051	1.03988 ± 0.00094	1.04077 ± 0.00032	0.2
τ	0.078 ± 0.019	0.053 ± 0.019	$0.059^{+0.022}_{-0.012}$	0.079 ± 0.017	-0.1
$\ln(10^{10} A_s)$	3.089 ± 0.036	3.031 ± 0.041	$3.066^{+0.046}_{-0.041}$	3.094 ± 0.034	-0.1
n_s	0.9655 ± 0.0062	0.965 ± 0.012	0.973 ± 0.016	0.9645 ± 0.0049	0.2
H_0	67.31 ± 0.96	67.73 ± 0.92	70.2 ± 3.0	67.27 ± 0.66	0.0
Ω_m	0.315 ± 0.013	0.300 ± 0.012	$0.286^{+0.027}_{-0.038}$	0.3156 ± 0.0091	0.0
σ_8	0.829 ± 0.014	0.802 ± 0.018	0.796 ± 0.024	0.831 ± 0.013	0.0
$10^9 A_s e^{-2\tau}$	1.880 ± 0.014	1.865 ± 0.019	1.907 ± 0.027	1.882 ± 0.012	-0.1

Higgs Portal DM



- Thermal Abundanceからの制限
 - $m(\text{DM}) \sim 60 \text{ GeV}$ を除くと
 $m(\text{DM}) > 200 \text{ GeV}$?

直接探索と予想断面積

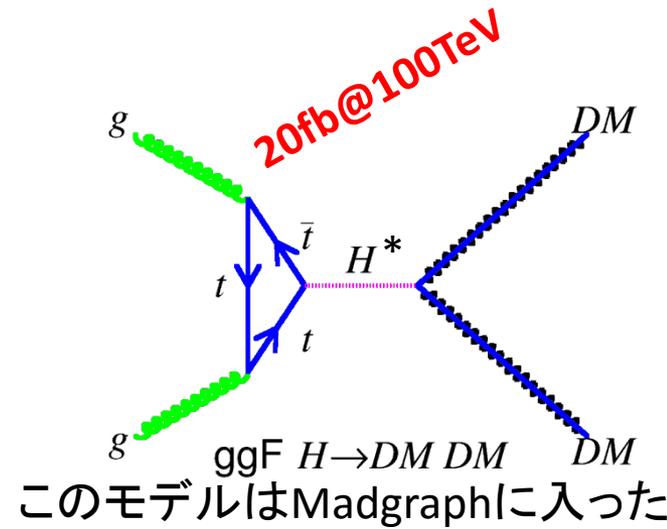


2TeV Higgs Portal DM @ Collider

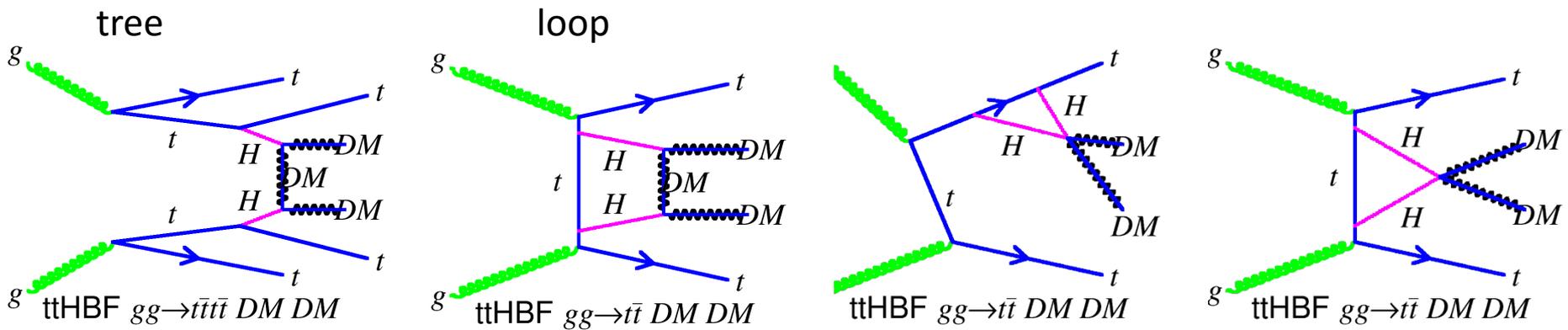
- Higgs をoff-shell にしてDM対の生成断面積を計算

- 2TeV Scalar DM
- 100TeV : $10^{-7(\pm 2)}\text{fb}$
- やはりs-channel off-shell だと厳しい
- Fermion DM : $10^{-4} \times (v/\Lambda)^2 \sim 10^{-4}\text{fb}$

K. Oda (2015.3)



- Higgs Fusion Diagram?



Madgraph

- **EVNT files**

- /data/maxi165/atljphys/kojin/EvGen/Madgraph/EVNT/mc15_100TeV/
mc15_100TeV.900000.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_ttDMDM_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.900100.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_gg_hhh_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.900110.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_gg_hhh_bbbbbbb.EVNT.e01
mc15_100TeV.900200.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_gg_hhh_lam3H0_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.900300.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_gg_hhh_lam3H2_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.901000.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_gg_hh_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.901100.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_gg_hh_lam3H0_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.901200.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_gg_hh_lam3H2_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.902000.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_ggFHNLO_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.902050.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_VBFHNLO_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.902100.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_WHNLO_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.902150.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_ZHNLO_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.902200.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_ttHNLO_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.902250.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_bbHNLO_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.902300.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_tHNLO_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.910010.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_ttbarnLO_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.910020.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_singletopSchNLO_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.910030.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_singletopTchNLO_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.910040.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_singletopWtNLO_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.920010.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_WmWmjjNLO_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.920020.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_WpWpjjNLO_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.920030.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_WpWmNLO_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.920040.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_WZNLO_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.920050.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_ZZNLO_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.930100.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_WjetsNLO_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.930200.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_ZjetsNLO_inc.EVNT.e01
mc15_100TeV.930300.MadGraphPythia8EvtGen_CTEQ6L1_GamjetsNLO_inc.EVNT.e01

100TeVの断面積

- ttDMDM : 0.019991 +- 5.55e-05(pb)
gg_hhh : 0.0028848 +- 6.86e-06(pb)
gg_hhh_lam3H0 : 0.0076795 +- 8.42e-06(pb)
gg_hhh_lam3H2 : 0.0025178 +- 3.16e-06(pb)
gg_hh : 0.80647 +- 0.00104(pb)
gg_hh_lam3H0 : 1.5582 +- 0.00215(pb)
gg_hh_lam3H2 : 0.40647 +- 0.00127(pb)
ttbarNLO : 28840 +- 241(pb)
singletopSchNLO : 3741.3 +- 30.6(pb)
singletopTch : 3088.1 +- 14.1(pb)
singletopWt : 51147 +- 51.1(pb)
ggFHNLO : 334.92 +- 0.447(pb)
VBFH : 40.398 +- 0.152(pb)
WHNLO : 14.745 +- 0.0327(pb)
ZHNLO : 8.0189 +- 0.0174(pb)
ttHNLO : 31.713 +- 0.206(pb)
bbHNLO : 11.62 +- 0.908(pb)
WpWmNLO : 1087.9 +- 4.19(pb)
WZNLO : 556.24 +- 1.55(pb)
ZZNLO : 146.08 +- 0.63(pb)
WmWmjNLO : 3.5419 +- 0.0275(pb)
WpWpjNLO : 5.1792 +- 0.047(pb)
ZjetsNLO : 1.6678e+05 +- 4.02e+03(pb)

3ab-1?

30ab-1?

これから

- それぞれ、簡単に感度出してみる
 - やるかちがあるか？

- 検出器開発
 - CMOSモノリシックpixel検出器