

## 高エネルギー素粒子物理学実験研究

研究代表者 寄田 浩平  
(先進理工学部 物理学科 准教授)

### 1. 研究課題

2012年7月、本研究室が参加する欧州原子核共同研究機構（以下 CERN）における LHC 加速器を用いた ATLAS/CMS 実験で、標準模型の最後の宿題であったヒッグス粒子をついに発見した。また、前年度までの本研究課題の主軸であった  $\tau$  粒子とヒッグス粒子の湯川結合に関しても、Run1 全データ (2011-2012 年) を用いて存在証拠を示すことに成功した。一方、LHC 加速器は 2015 年 6 月より、重心系エネルギーを 8TeV から 13TeV に増強し、ATLAS 実験における解析積分データは合計で  $3.2\text{fb}^{-1}$  に達した (Run2 実験開始)。LHC 加速器は 2016 年度から本格稼働し、Run2 実験中の 3 年間で  $100\text{fb}^{-1}$  を蓄積する予定である。ヒッグス粒子の発見によって標準模型で予言されている粒子はすべて出揃ったため、今後あらたに発見される粒子はまちがいでなく、“Physics Beyond the Standard Model” である。いよいよ前人未到のエネルギーフロンティア領域に突入したといえることができる。そこで本研究は 2015 年度からヒッグス機構の解明に加え、新粒子・新現象探索を新たに展開した (後述)。また、今後の LHC 加速器の高エネルギー化 (13→14TeV)・高輝度化 (現在の 2~3 倍) に伴うパイラルアップ (1 衝突当たりの多重反応) 問題を解決するための新しいトリガーハードウェアシステム (FTK) の開発研究も引き続き行った。長年行ってきたこのカスタム電子回路開発に一定の目処が立ち、回路基板の量産が終了したため、ATLAS 検出器への挿入・運転を進めた。ハードウェア開発構築だけでなく、実際の FTK からの飛跡情報の利用方法 (オンライントリガーでの  $\tau$  識別や衝突点再構成) についても新しいアイデアを提案しながら、より汎用的な研究を展開している。

LHC/ATLAS 実験における早稲田大学の役割・貢献として 2015 年度に行った主な研究課題を以下に示す。それぞれの詳細については研究成果の項で記述する。

1.  $\tau$  トリガーの構築・評価とトップクォークとヒッグス粒子の結合 (トップ湯川結合) の研究
2. 新しい重粒子探索、とりわけ高運動量に“ブーストされたジェット”の評価・改善
3. 新粒子探索に向けた“消失飛跡”の基礎研究
4. 高速飛跡再構成システム (FTK: Fast TracKer) の構築・挿入試験

一方、暗黒物質探索を目的とした高感度検出器 (気液 2 相型アルゴン光検出器) の開発も行っている。本研究は、低質量領域 ( $\sim 10\text{GeV}$ ) 暗黒物質発見 (又は棄却) に向けた高感度化開発に焦点を当てている。2015 年度は、本実験に向けて真空容器を 75 リットルから 200 リットルに増強した。また、世界最高の光検出効率を得ることに成功し、 $\gamma$  線源と中性子線源を利用して波形分別法による  $\gamma$  事象と信号事象の識別能力も評価した。その結果、ターゲットとしている低質量領域の暗黒物質をとらえるための条件をクリアする目処をつけることができた。今後の本格的な探索のための極低バックグラウンド技術や地下実験に向けた検討を含め、東京大学宇宙線研究所共同利用に参画している。この研究に関する詳細は共同研究者である理工研次席研究員・田中雅士氏の年次報告に記述されているため、この報告書では詳細を割愛することとする。

## 2. 主な研究成果

### ATLAS/LHC 実験 (重心系エネルギー 13TeV の陽子・陽子衝突型実験)

早稲田大学グループは 2009 年より、CERN における世界最高エネルギー加速器 LHC を用いた ATLAS 実験に参加し、ヒッグス粒子研究をはじめとする最先端エネルギーフロンティアにおける素粒子研究を行っている。2015 年度の早稲田グループの成果を研究項目毎に記述する。

#### 2.1 $\tau$ トリガー構築・評価とトップクォークとヒッグス粒子の結合 (トップ湯川結合) の研究

先述したとおり、2015 年 6 月より LHC は重心系エネルギーを 13TeV に増強、バンチスペースも 50ns から 25ns に変更し、高エネルギーかつ高輝度実験として再開した。それに伴い ATLAS 検出器側では主に IBL (最内層飛跡検出器) の挿入とトリガーアップグレードが推進された。Run2 では Higgs 粒子などの重い粒子の生成断面積を向上させる恩恵がある一方、パイルアップ事象の増加やトリガーレートの圧迫により、物理解析に悪影響を及ぼす可能性がある。その中でも重要なハドロン崩壊するタウトリガーの評価を主導的に行った。Z $\rightarrow\tau\tau\rightarrow\mu$  had 事象を用いて、tag&probe 法により抽出したデータからバックグラウンド(主に multi-jet と W+jets イベント)をさらに減らす選択を行い、Z $\rightarrow\tau\tau$  の Purity を高くした。最後に MC とデータの  $\tau$  トリガーの Efficiency をそれぞれ算出した (図 1)。主な系統誤差は、消失エネルギーの誤差やコントロール領域の誤差由来である。これらの定量評価は ATLAS で  $\tau$  トリガーを用いる全ての物理解析に適用されるため、大きな成果・貢献といえる。

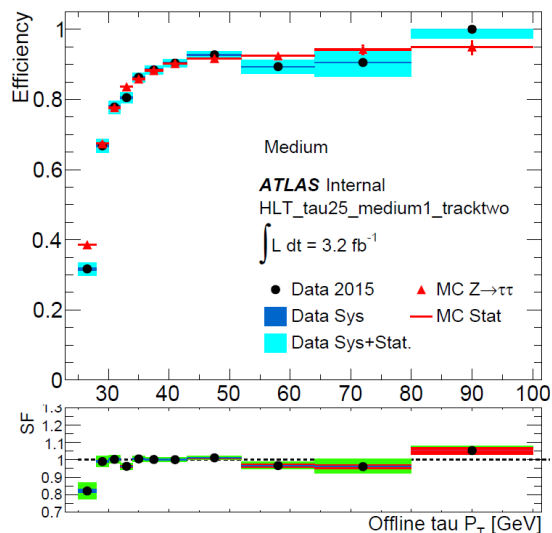


図 1: Run2 tau trigger efficiency

一方、ヒッグス湯川結合の中でもっとも興味深く、かつ解析が困難なのはトップクォークとの直接結合の探索・測定である。まずは 2014 年度にあらたに提案した ttH $\rightarrow$ alljets+ $\tau\tau$  過程の研究をさらに進めた。この解析は LHC 実験ではこれまで誰もしたことがない独創性の高い解析であり、発見できればきれいな  $\tau\tau$  ヒッグス質量の山が確認できる貴重な過程である。解析はトリガー選択から始まり、バックグラウンドモデル、事象選択の最適化など多岐に渡る。終状態にジェットを多く含む事象において(ジェット数 5 以上)、ハドロン崩壊する  $\tau$  が 2 ついることを要求する。本チャンネルでは、終状態に電子、ミューオンのレプトン類を含まないため、QCD-多ジェット事象や ttbar 事象等の背景事象が無視できない。そこで終状態中のジェットと  $\tau$  の情報から、様々なトポロジー情報やヒッグス質量を再構成することで、効果的に背景事象を除去することで S/B を向上させた。特に、ヒッグス質量再構成時における組み合わせの不定性や、トップや  $\tau$  レプトン崩壊起源のニュートリノによるエネルギー不定性が小さいことによって、ヒッグス質量分布における信号・背景事象の分離能力が高いことがわかった。結果として他チャンネルと遜色無い信号感度を得られることがわかったが、2015 年時点で得られたデータではの信号事象数が少ないため、図 2 の質量分布を用いてフィット解析を行うためには更なるデータが必要であることを明らかにした。

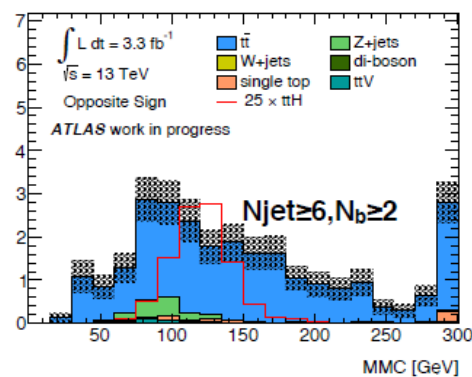


図 2:  $\tau\tau$  システムの質量分布

以上の成果を踏まえて、2015 年度はマルチレプトン過程による ttH 探索を発展させた。終状態にジェットを多く含む事象において(ジェット数 4 以上)、同電荷のレプトン 2 つとハドロン崩壊する  $\tau$  が 1 ついることを要求することで、効果的に背景事象を除去し、S/B を向上させる手法である(図 3)。偽信号背景事象(ジェット→レプトン)の見積もりがモンテカルロシミュレーションでは困難なため、信号事象が少ないコントロール領域のデータを用いることで偽信号背景事象を見積もった。最終的に、Run2 初期データから期待される結果として標準模型の 15.4 倍@95% CL の上限値を得た。

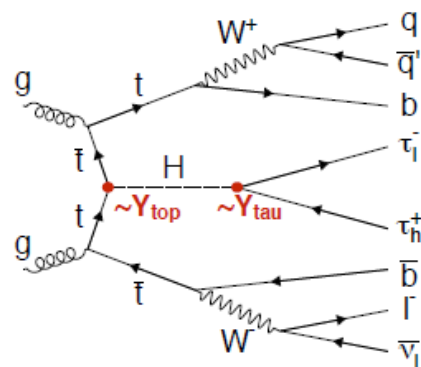


図 3: multi-lepton 過程

## 2.2 新しい重粒子探索、高運動量“ブーストジェット”の評価・改善

本研究は TeV 以上の重い未知粒子が SM ボソン(W/Z/H)に崩壊する過程に着目する。終状態としては、発見感度・崩壊分岐比が最も高いハドロン崩壊 ( $W \rightarrow jj$ ,  $Z \rightarrow jj$ ,  $H \rightarrow bb/\tau\tau$ ) を用いる。一般に、新粒子が重いため、崩壊粒子は TeV 以上の高い運動量で Boost され、SM ボソンからの 2 つのジェットは検出器の狭い空間領域に収束する。その結果、2 つのサブ構造(小ジェット)をもつ半径の大きな 1 つのジェットとして観測される。これを背景事象である QCD ジェットと区別し、さらにパイラップ等の影響によるバイアスを最小化する解析手法を確立することがこの探索の肝である。この解析は Run1 でも行われたが、その探索方法の最適化、妥当性の検証、発見感度の点でいまだ不十分な状況である。2015 年度は、半径の大きなジェットを用いたボソン同定法の改良を 2 点研究した。1 つ目は、今まで用いられていなかった飛跡検出器の情報を利用してカロリメータの弱点である角度分解能を補い、高運動量を持つジェットの質量分解能を約 2 倍に改善できることを確認した(図 4)。2 つ目は、ジェットの形状解析に初めて多変量解析手法を取り入れ、背景事象の除去能力を約 1.5 倍に高めることができた。この 2 つの改善を合わせることで、信号事象数を保った場合、背景事象除去力が最大で 14 倍改善することを示した(図 5)。また、実データを用いた半径の大きなジェットのエネルギー分解能の評価を行い、物理解析の系統誤差の削減を継続して行っている。

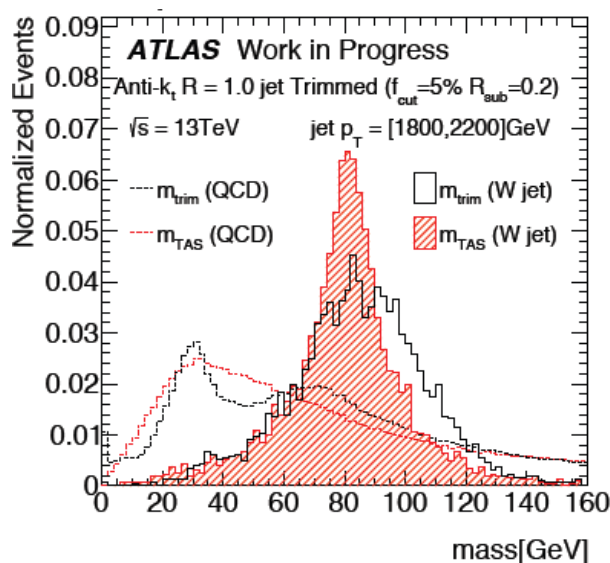


図 4: Boosted jet の質量の改善

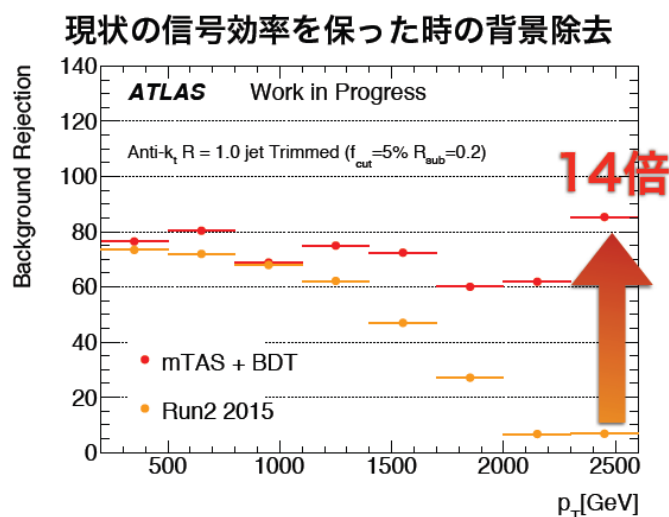


図 5: 多変量解析と併用した場合の改善

### 2.3 新粒子探索に向けた“消失飛跡”の基礎研究

超対称性(SUSY)粒子はフェルミオンとボソンのスピンに対する対称性を課すことで、標準模型粒子とペアを組むような粒子が要請される。それに伴い Higgs 粒子の質量階層性問題、GUT スケールでの結合定数の統一、暗黒物質の候補など標準理論での問題点の解決が期待されている。

SUSY の枠組みの中で、暗黒物質の有力候補である Wino が LSP となる シナリオを扱った。この場合、チャージーノ ( $\tilde{\chi}_1^0$ ) とニュートラリーノ ( $\tilde{\chi}_1^\pm$ ) の質量が縮退し、 $\tilde{\chi}_1^\pm$  が長寿命となる。そのため、内部飛跡検出器内で崩壊し、消失飛跡と呼ばれる特殊飛跡として検出される。物理過程としての背景事象は存在せず、異なる飛跡のヒット同士を誤って結んだ偽飛跡や、検出器部材との散乱・大きな制動放射による散乱によって消失飛跡として見えてしまう飛跡が主な背景事象となる。そのため、解析結果の信頼性を高めるためにも実データに基づいた背景事象評価が必要となる。短寿命領域における感度向上のため、新しく Pixel 4 層のみで再構成された飛跡 (pixel-only track) を利用した場合の予測感度を算出した。その結果、pixel-only track も利用すれば、2015 年のデータのみでも短寿命領域において Run1 の結果を超えられることがわかった。一方で、pixel-only track はこれまで実データで検証されたことが無いため、再構成率や偽再構成率、トラックパラメータの分解能やそれらの改善可能性、粒子種による違いなどを検証し理解することが重要である。そのため、の第一歩として 2 つの  $\mu$  粒子を要求し、 $Z$  質量幅のカットを要求することで高い純度の  $\mu$  粒子を保証した上で  $\mu$  粒子飛跡から擬似的に pixel-only track を作り出し、それらを比較することで実データを基にした pixel-only track の性能評価を試みた。シミュレーションと実データで似た傾向が見られたが僅かな相違も確認されており、今後はより詳細を確認していくことが重要である。一方で、少しでも信号事象数を増加させるためのトリガー研究 (消失横運動量トリガー (MET) や MET + Jet トリガーの比較等) も行い、2015 年の Run2 データでは、MET トリガーを相補的に使用することで、最大で 20% 程度の信号取得ゲインがあることを確かめることができた。

### 2.4 高速飛跡再構成システム (FTK: Fast TrackER) の構築・挿入試験

ATLAS Upgrade として 2016 年に挿入が計画されている Fast tracking trigger システム (FTK) のエレクトロニクス回路開発を行っている。本プロジェクトは ATLAS 実験で正式承認されている増強計画の一つである。早稲田グループは、実機開発として特に FTK システムの最上流でシリコン検出器から 40MHz の高速通信 (optical fiber) で送信されるヒット情報を受信し、クラスタ化する機能をもつ受信カードの設計を行い、これまでプロトタイプを製作してテストを行ってきた (図 6)。2015 年度は、2016 年の運転開始に向け、ハードウェアとシミュレーション両方の開発を進めた。

#### ・ハードウェア開発・動作試験

早稲田グループが開発・設計・量産・試験まで首尾一貫して行った受信部の回路基板 80 台を CERN に輸送した。パターン記憶用の大容量メモリチップ (ASIC) の製造も完了し、動作試験を行い、CERN 現地にて全システムの統合動作試験をするに至った (図 7)。2015 年 Run2 実験から新たに挿入された最内層検出器 (IBL) は、データ送信のプロトコルが他検出器 (Pixel/SCT) とは異なるため種々問題が発生したが、対応プロトコルをファームウェアに実装する等の改良を加えることで、データを正常に受信することに成功した。また各検出器から FTK へのファイバリングも全て完了した (図 7)。実際の運用に伴い、回路内へのダスト進入やクーリング効率化、固定強化を考え、ベゼルを設計製作 (160 台) し、インプットメザニンカードに装着し、万全な体制を整えた (図 8)。さらに、ATLAS 全体の検出器運用システムに FTK を組み込み、ATLAS の他のシステムと同期させて FTK を操作できるようにした。それを利用することで、FTK から ATLAS のデータ取得システムにヒット情報を送信し、

他の検出器の情報と共にFTKのヒット情報を記録することに成功した。そこで記録したデータとFTKのハードウェアエミュレーションのアウトプットが、一致することを確認した。このように、内部飛跡検出器からデータを受信し、FTK内で安定したデータフローを行い、ATLASのデータ取得システムにヒット情報を送信することに成功している。今後は、FTKで飛跡を再構成し、飛跡情報を送信することが課題である。

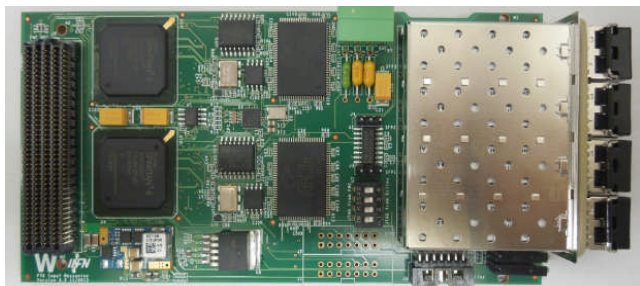


図 6: IM ボード。80 台を生産し CERN へ輸送済



図 8: ベゼルが装着されている様子

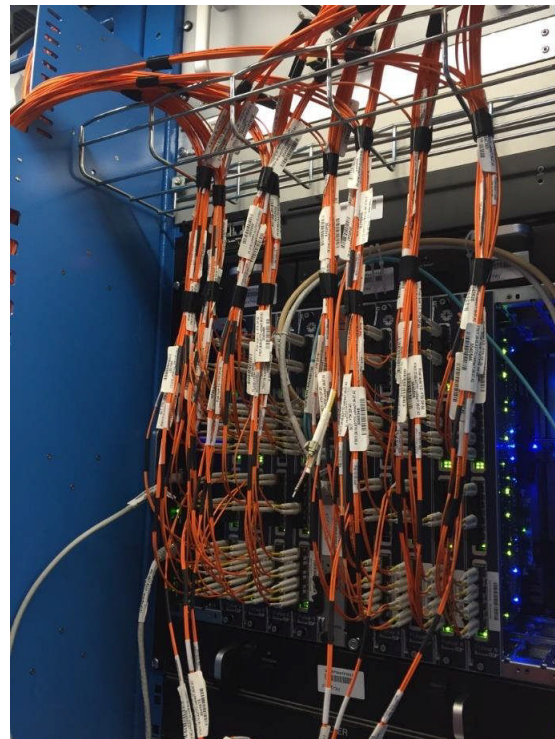


図 7: 挿入された様子 (ATCA shelf 一部)

#### ・シミュレーション開発・構築

一方で、早稲田大学が主担当で構築を進めている実運転対応のパターンバンク・フィット定数の生成も完了し、2016年度中の実運転に備え、万全の体制を整えることができた。FTKは、前もってヒットパターンを用意しておき、検出されたヒット情報と比較することで飛跡候補を検出する(パターンマッチ)。その後、飛跡候補に対して、前もって用意したフィット定数を用いて線形一次近似を行い、飛跡を再構成する。パターンはカスタムASICチップ(AMChip06)に記憶される。シミュレーションの主な役割は、ヒットパターン、フィット定数の生成、性能の検証とその改善である。2016年夏からのFTK運用開始に向けて、実際の運転環境に即したパターン、フィット定数の準備・改善を以下のように行った。

- ① 実機に対応したパターンバンク・フィット定数の生成
- ② LHC ビーム位置の変化による影響の見積もり (図 9)
- ③ 実機の各挿入段階でのリソースに対応したパターンバンク生成

2016年の運用時に対しては、使用する領域に特化してパターンを生成することで、高い飛跡再構成率を保てることを示した。また、その他にも、FTKの飛跡情報をATLAS共通で使用しているシミュレーションデータサンプルに実装し、FTKの飛跡を実際に使用する環境を整えた。 $\tau$ 、 $b$ に関して、FTKの飛跡情報を使用したトリガーチェーンを構築するための研究が終盤を迎えている。

### ・モニタリングシステムの改善と実装

FTK の運転に向け、IM の処理状況を定期的にモニタリングする必要がある。モニタリングには IM 内にあるレジスタの値を読み出す必要があるが、これまではこの読み出しに時間がかかっており、FTK システム運転時に許容されている読み出し時間を超過していた。そこで、IM の読み出し機構を変更し、プロトコルの通信回数を削減することで、読み出し時間を大幅に短縮し、高速かつ安定したモニタリングができるよう改善した。この機能は ATLAS の Run Control への実装が完了している。

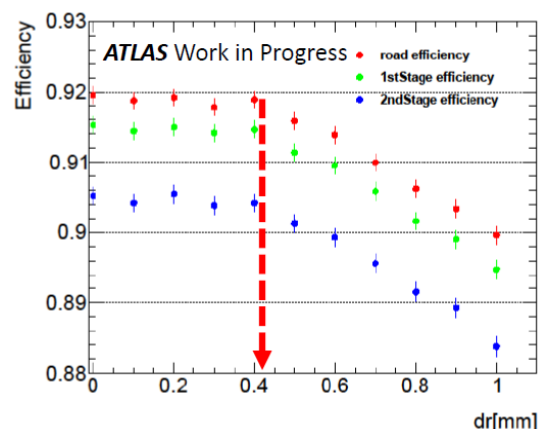


図 9: ビームスポット依存性

以上のように、大規模国際協力実験の中でトリガー回路基板の開発・製作・挿入・運転、アルゴリズム提案から新しい物理解析まですべて同時に遂行している。こういった研究をさらに進め、本格的なヒッグス機構の検証や Run2-13TeV というエネルギーフロンティアでの新物理・新現象の発見を行うのが次年度以降の課題である。

### 3. 共同研究者

田中 雅士 (理工学研究所・次席研究員)

木村 直樹 (ギリシャ・AUTH・Marie Curie Fellow)

The ATLAS Collaboration (国際協力: CERN, Rome University, CTU, Univ. of Melbourne etc)

ATLAS-FTK group (国際協力: Univ. of Chicago, Stanford Univ., INFN Pisa, Frascati etc)

東京大学素粒子国際研究センター (ICEPP)、京都大学

東京大学宇宙線研究所、神戸大学、名古屋大学、大阪大学

The CDF Collaboration (国際協力: Fermilab, USA)

### 4. 研究業績

#### 4.1 学術論文 (主要なものを抜粋)

#### “FTK Input Mezzanine and Data Formatter for the Fast Tracker at ATLAS”

T.Iizawa, K. Yorita et.al. IEEE Explorer Digital Library

[http://mocast.physics.auth.gr/images/NewPapers/PAPER\\_10F.pdf](http://mocast.physics.auth.gr/images/NewPapers/PAPER_10F.pdf)

#### “Fast Tracker (FTK): A Hardware Track Finder for the ATLAS Trigger”

T.Mitani, K. Yorita et.al. IEEE Explorer Digital Library

[http://mocast.physics.auth.gr/images/NewPapers/PAPER\\_09F.pdf](http://mocast.physics.auth.gr/images/NewPapers/PAPER_09F.pdf)

#### “Performance of VUV-sensitive MPPC for Liquid Argon Scintillation Light”

T.Igarashi, S.Naka, M.Tanaka, T.Washimi, K.Yorita, arXiv:1505.00091v2 (2015.10)

#### “Direct Detection of Liquid Argon Scintillation with MPPC”

T. Washimi, M. Tanaka and K. Yorita, JINST 11 (2016) C02077

**“Evidence for the Higgs-boson Yukawa coupling to tau leptons with the ATLAS detector”**

G.Aad, K.Yorita, et.al., The ATLAS Collaboration, JHEP04 (2015) 117

**“Identification and energy calibration of hadronically decaying tau leptons with the ATLAS experiment in pp collisions at  $\sqrt{s}=8$  TeV”**

G.Aad, K.Yorita, et.al., The ATLAS Collaboration, Eur. Phys. J. C75(2015) 303

**“Modelling  $Z\rightarrow\tau\tau$  processes in ATLAS with tau-embedded  $Z\rightarrow\mu\mu$  data”**

G.Aad, K.Yorita, et.al., The ATLAS Collaboration, JINST 10 (2015) P09018

**“Measurement of the top-quark mass in the fully hadronic decay channel from ATLAS data at  $\sqrt{s}=7$  TeV”**

G.Aad, K.Yorita, et.al., The ATLAS Collaboration, Eur. Phys. J. C75(2015) 158

**“Measurements of the Higgs boson production and decay rates and coupling strengths using pp collision data at  $\sqrt{s}=7$  and 8 TeV in the ATLAS experiment”**

G.Aad, K.Yorita, et.al., The ATLAS Collaboration, Eur. Phys. J. C76(2016) 6

**“Search for the associated production of the Higgs boson with a top quark pair in multilepton final states with the ATLAS detector”**

G.Aad, K.Yorita, et.al., The ATLAS Collaboration, PLB749 (2015) 519-541

**“Design of a hardware track finder (Fast Tracker) for the ATLAS trigger”**

V. Cavaliere, K. Yorita et.al. (ATLAS FTK group), JINST 11 (2015) C02056

**“Combination of searches for WW, WZ and ZZ resonances in pp collisions at  $\sqrt{s}=8$ TeV with the ATLAS detector”**

G.Aad, K.Yorita, et.al., The ATLAS Collaboration, PLB 755 (2016) 285-305

**“Identification of boosted, hadronically decaying W bosons and comparisons with ATLAS data taken at  $\sqrt{s}=8$ TeV”**

G.Aad, K.Yorita, et.al., The ATLAS Collaboration, Eur. Phys. J. C76 (2016) 154

**“Search for massive, long-lived particles using multitrack displaced vertices or displaced lepton pairs in pp collisions at  $\sqrt{s}=8$  TeV with ATLAS detector”**

G.Aad, K.Yorita, et.al., The ATLAS Collaboration, PRD92 (2015) 072004

\* その他共著論文多数

## 4.2 講演

### 日本物理学会 :

2016年3月19-22日 : 日本物理学会年次大会@東北学院大学

三谷貴志、寄田浩平他「ATLAS実験におけるヒッグス粒子が $\tau$ 対に崩壊するttH過程の探索」

新田龍海、寄田浩平他「ATLAS実験Run2におけるハドロン崩壊する

高運動量W/Zボソンの再構成法の検証と改善」

猪飼孝、寄田浩平他「ATLAS実験Run2における $\tau$ トリガーの評価と今後の展望」

飯澤知弥、寄田浩平他「ATLAS実験における高速飛跡トリガー(FTK)の性能評価」

川口佳将、寄田浩平他「ATLAS実験における高速飛跡トリガー(FTK)の構築状況と今後の計画」

加地俊瑛、寄田浩平他「ATLAS実験Run2における長寿命荷電ゲージノ探索に

向けた消失飛跡再構成法の性能評価」

寄田浩平他「ANKOK実験8:気液2相型アルゴン光検出器による暗黒物質探索」

木村真人、寄田浩平他「ANKOK実験9:背景事象の理解と低閾値化」

矢口徹磨、寄田浩平他「ANKOK実験10:発光位置同定手法の構築と検証」

中新平、寄田浩平他「ANKOK実験11:新容器(200L)の製作及び液体Ar純化・保持システムの構築」

鷺見貴生、寄田浩平他「ANKOK実験12:本実験に向けた検出器設計と今後の展望」

田中雅士、寄田浩平他「中性子測定コンソーシアム」

菊地崇矩、寄田浩平他「液体シンチレータを用いた環境高速中性子エネルギースペクトルの算出」

2015年9月25-28日 : 日本物理学会秋季大会@大阪市立大学

巨龍太郎、寄田浩平他「LHC-ATLAS実験における高速飛跡トリガーの構築状況と今後の展望」

加地俊瑛、寄田浩平他「LHC-ATLAS実験におけるFast Trackerシミュレーション研究」

猪飼孝、寄田浩平他「LHC-ATLAS実験Run2初期データを用いた $\tau$ トリガーの評価」

田中雅士、寄田浩平他「ANKOK実験5:気液2相型アルゴン光検出器による暗黒物質探索」

木村真人、寄田浩平他「ANKOK実験6:シミュレーション構築と検出器の性能評価」

鈴木優飛、寄田浩平他「ANKOK実験7:背景事象の理解と対策」

### 国際会議 :

T. Iizawa, K. Yorita et.al., for the ATLAS FTK group

Fast Tracker (FTK) A Hardware Track Finder for the ATLAS Trigger

MOCAS Conference 2015, May, Thessaloniki, Greece

T. Mitani, K. Yorita et.al., for the ATLAS FTK group

FTK Input Mezzanine and Data Formatter for the Fast Tracker at ATLAS

MOCAS Conference 2015, May, Thessaloniki, Greece

T. Washimi, M Tanaka, K. Yorita

Direct Detection of Liquid Argon Scintillation with MPPC

Light Detection In Noble Elements (LIDINE 2015) August, The University at Albany,



State University of New York (SUNY), USA

M. Kimura, M. Tanaka, K. Yorita

Low energy response on liquid argon scintillation and ionization process for dark matter search

International Symposium on Radiation Detectors and Their Uses (ISR2016), January, KEK

T. Washimi

Performance of VUV-sensitive MPPC for Liquid Argon Scintillation Light

International Symposium on Radiation Detectors and Their Uses (ISR2016), January, KEK

### 他研究会、シンポジウム等：

(招待講演) 寄田浩平 「気液 2 相型 Ar 光検出器の開発と高感度化」

宇宙の歴史をひもとく地下素粒子原子核研究会 神戸大学 2015 年 5 月 15-17 日

(招待講演) 寄田浩平 「DM 探索アルゴン TPC」液体 TPC 座談会@KEK 8 月 28 日

(招待講演) 寄田浩平 「FastTracKer」アトラス日本総会 2015 年 9 月 25 日大阪市大

(招待講演) 寄田浩平 「気液 2 相型アルゴン光検出器を用いた暗黒物質探索」

東大宇宙線研究所共同利用研究成果発表会 東京大学 2015 年 12 月 18 日

(招待講演) 寄田浩平 「気液 2 相型 Ar 光検出器の開発と高感度化」

極低放射能研究会 (新学術領域「地下素核研究」) @徳島大学 2016 年 3 月 14 日

宇宙の歴史をひもとく地下素粒子原子核研究会 2015 年 5 月 神戸大学

鈴木優飛、Ar 中の柱状再結合効果を用いた検出器の方向感度化に関する基礎研究

第 5 回高エネルギー物理 春の学校 2015 年 6 月 びわこクラブ (滋賀)

川口佳将他、LHC-ATLAS 実験における FTK 受信モジュール量産結果と実機挿入 に向けて

新田龍海他、LHC・ATLAS 実験における  $H \rightarrow \tau\tau$  を用いた CP 測定精度改善に関する研究

木村真人他、ANKOK 実験におけるシミュレーション構築と背景事象分離能力の詳細理解の現状

中新平他、ANKOK 実験における本実験検出器設計・製作、運用にむけた考察

ATLAS FTK Workshop 2015 年 7 月 CERN (スイス)

亘龍太郎、FTK IM Spartan6 and DF HW status report

飯澤知弥、FTK Input Mezzanine FW/SW status ~How to use the board~

加地俊瑛、FTK training and pattern generation report

第 4 回新学術領域 B02 班若手研究会 2015 年 8 月 早稲田大学

木村真人、暗黒物質の存在証拠とその分布

菊地崇矩、液体シンチレータを用いた環境中性子の測定

ATLAS Tracking CP Workshop, 2015 年 11 月 Chamonix, France

(招待講演) 飯澤知弥、Development of the Fast TracKer (FTK)

ATLAS TDAQ week, 2015 年 12 月 Edinburgh, UK

(招待講演) 加地俊瑛、FTK software status and plans

新学術研究会テラスケール物理研究会 2015 年 12 月 東京工業大学

(招待講演) 飯澤知弥、The Fast TracKer (FTK)

ATLAS FTK Workshop 2016 年 2 月 CERN (スイス)

加地俊瑛、Status of bank production

飯澤知弥、Plans toward finalizing HW compatible simulation

川口佳将、IM status and discussion

ATLAS Week 2016 年 2 月

三谷貴志、Tau Combined Performance Report

LHCC 2016 年 3 月

猪飼孝、Performance of the ATLAS Tau Trigger in Run-II

第二回「極低放射能技術」研究会 2016 年 3 月 徳島大学

田中雅士、中性子測定コンソーシアム

木村真人、低質量暗黒物質直接探索に向けた GEANT4 シミュレーションによる液体 Ar 応答の理解

鈴木優飛、暗黒物質探索に向けた背景事象の評価

第 5 回新学術領域 B02 班若手研究会 2016 年 3 月 徳島大学

菊地崇矩、液体シンチレータを用いた環境高速中性子エネルギースペクトルの算出

ATLAS Hbb Workshop 2016 年 3 月, University College London, UK

新田龍海、Track Assisted Mass for Improvement of JMR (Vidyo)

#### 4.3 その他、学会および社会的活動等

2013 年 11 月～現在 ATLAS-Japan 物理解析審査員

2015 年 8 月 早稲田大学 オープンキャンパス企画担当 (物理学科)

2015 年 8 月 31 日～9 月 1 日 第 4 回 B02 班主催若手研究会主催 (早稲田大学)

2015 年 9 月～現在 高エネルギー委員・将来計画検討委員

日経サイエンス 2015 年 10 月号 <http://www.nikkei-science.com/page/magazine/201510.html>

2015 年 10 月～現在 MOCAS International Conference, Program Committee

2015 年 11 月 19 日 一般講演 昭和秀英高等学校 「最先端素粒子物理学実験」

早稲田理工 PLUS 2016 年 2 月号 「究極の素粒子の解明を目指して国際協力を進める巨大実験」

#### 4.4 学位論文

##### 博士論文：

桜井雄基 「Evidence for the Higgs boson in the  $\tau^+\tau^-$  final state and its CP measurement in proton-proton collisions with the ATLAS detector」 博士（理学）2015年12月

##### 修士論文：

五十嵐貴弘 「Ar 蛍光 128nm に直接感度を持つ新型 VUV-MPPC の性能評価」

##### 学士論文：

靱山慶輔 「ATLAS 実験における FTK システムの処理時間の評価」

船間貴裕 「ATLAS 実験における  $t\bar{t}$  事象を用いた高運動量  $W$  ボソン同定手法の検証」

益田匠 「ATLAS 実験における内部飛跡検出器内で崩壊する長寿命ゲージノ探索に関する研究」

竹村祐輝 「ATLASRun2 実験の内部飛跡検出器の性能と FTK への影響」

菊地崇矩 「液体シンチレータを用いた消光因子及び環境中性子の測定」

小瀬樹 「Likelihood 法による Ar 蛍光の波形解析」

矢口徹磨 「波長変換材 TPB 蒸着された反射材の光学特性測定と理解」

#### 5. 研究活動の課題と展望

LHC 加速器は 2015 年 6 月から重心系エネルギーが 13TeV にて再運転を始めている。2016 年度から瞬間輝度もいよいよ 10 の 34 乗を超える予定なため、実験環境はさらに厳しくなることが予想される。これに伴う急務な課題として、FTK システムによる飛跡情報の利用である。加速器再開とともに磐石な状況を構築し、高輝度下でのオペレーションに対して十分な対策を講じることが重要である。この課題に対しては、早稲田大学として私を含め博士課程学生 2 名と修士課程学生 3 名のメンバーを総力して、包括的に取り組む予定である。一方、ヒッグス粒子とトップクォークとの随伴生成過程を探索し、ヒッグス機構の本質的な検証であるフェルミオンの湯川結合の測定とその性質解明を包括的に行う。そのためにも FTK システムの構築やその前後でのトリガーパフォーマンスの研究が必須である。また、ヒッグス粒子探索のみならず、重粒子探索や超対称性粒子に代表される新現象探索も現地海外研究者との密な議論を行った上で、早稲田独自の大きな役割を果たしていく。暗黒物質探索のための気液 2 相型アルゴン光検出器の構築をすすめる。特に  $\gamma$  線と WIMP の識別能力の定量評価と中性子背景事象の評価を行ったうえで最適な検出器を設計構築し、神岡地下施設で予備実験を行い、物理感度を算出、本実験へつなげる計画である。

LHC 加速器を利用した最先端素粒子物理学と非加速器実験による暗黒物質探索を並行して行うことで、まったく新しい指針を見出していきたいと考えている。