II．素粒子実験グループ

教　授	金　信弘，受川 史彦
講　師	原　和彦，丸山 和純，武内 勇司
助　手	戸村 友宣
研究科特別研究員	魚住 聖
科研費研究員	松永 浩之，佐藤 構二
大学院生	19 名
学群 4 年次生	4 名

素粒子実験グループは高エネルギー粒子加速器を用いた素粒子物理学実験 CDF，ATLAS，および ILC に参加している．CDF は現在進行中，ATLAS は建設中，ILC は検討中の実験である．本年度もそれぞれにおいて様々な研究活動が行われた．

【1】　陽子・反陽子衝突実験 CDF

CDF 実験は，米国フェルミ国立加速器研究所のテバトロン加速器を用いた陽子・反陽子衝突実験であり，日本をはじめアジア，北米，欧州の研究機関からなる計 11ヶ国の国際協力により行なわれている．1996 年の物理実験 Run I の終了後 CDF 検出器およびテバトロン加速器の増強を経て，2001 年度より Run IIa 実験が開始された．

1996 年に前回の物理実験 Run I が終了した後，テバトロン加速器は，大幅な増強が行われ，ビーム輝度およびエネルギーが増大した．これに伴い CDF も，検出器の増強を行ってきたが，新しい検出器の建設を終え，2001 年 6 月より本格的に物理データの収集 Run IIa を開始した．図 1 (上) に Run II 実験でのテバトロン加速器の瞬間ルミノシティを示す．これまでに，最高値 $\mathcal{L} = 1.8 \times 10^{32}\ \mathrm{cm}^{-2}\ \mathrm{s}^{-1}$ が達成されており，設計値 $0.8 \times 10^{32}\ \mathrm{cm}^{-2}\ \mathrm{s}^{-1}$ を突破している．また，週毎の積分ルミノシティも最大で $25\ \mathrm{pb}^{-1}$ 程度， 全積分ルミノシティは $1600\ \mathrm{pb}^{-1}$ に達している (図 1 (中))．CDF 検出器により記録されたデータ量は約 $1300\ \mathrm{pb}^{-1}$ である．図 1 (下) には積分ルミノシティの総計を示す．Run II 実験は，2009 年まで継続され，近い将来に約 $2\ \mathrm{fb}^{-1}$，最終的には 5 - $9\ \mathrm{fb}^{-1}$ 相当の衝突事象の収集が見込まれている．また，テバトロン加速器の重心系エネルギーは 1.8 TeV から 1.96 TeV に増強され，検出器も改良・増強の結果，検出効率が向上した．このため，データ量の増大のみならず，単位積分ルミノシティあたりの有効観測事象数の増加も得られている．

筑波大学グループでは，Run II 用 CDF 検出器に関してシリコン飛跡検出器，端冠部カロリメータ，飛行時間検出器，およびデータ収集システムの建設・調整・運転を行なってきた．これらの検出器は順調に稼働しており，実データを用いた較正がなされて，物理解析に使用されている．

以下には，Run II 実験でこれまでに得られた物理解析の結果および今後期待される成果について主なものを記す．

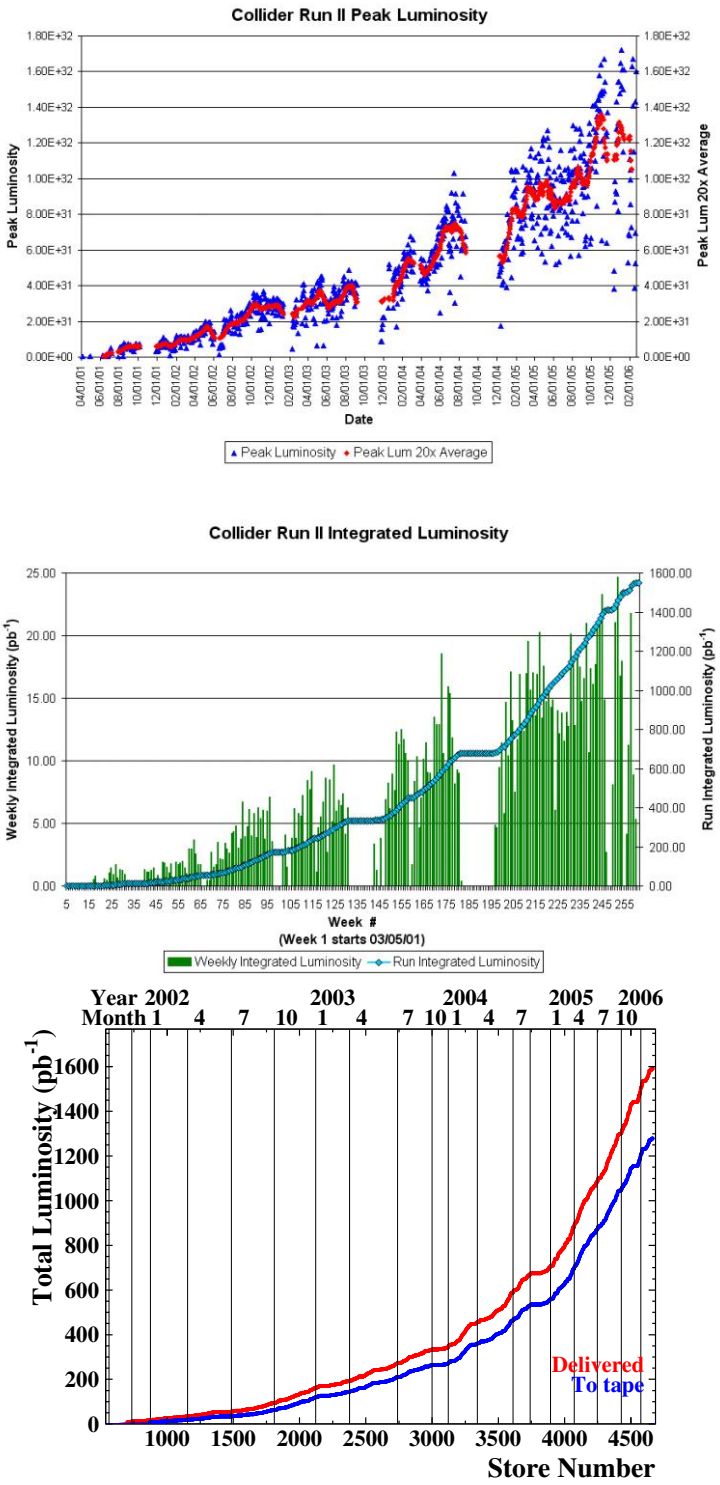

図 1: Run II 実験でのテバトロン加速器の性能．上：瞬間ルミノシティ．中：一週間毎および全積分ルミノシティ．下：Run II 合計の積分ルミノシティ．

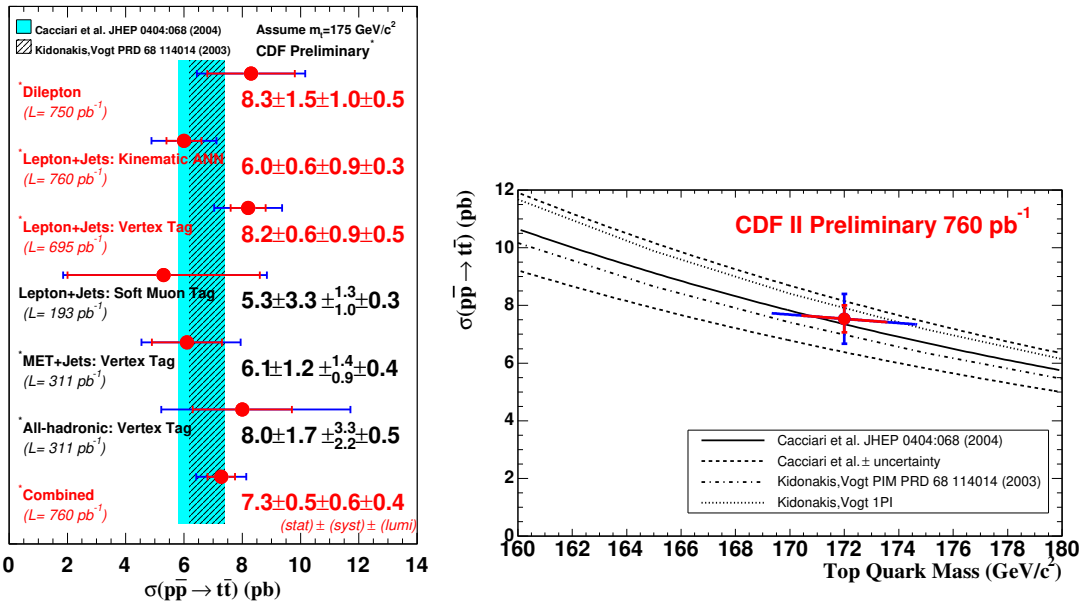

図 2: 左：CDF 実験により現在までに得られたトップクォーク対生成断面積の測定結果．崩壊様式の異なるそれぞれのトップクォーク対のサンプルごとの解析結果が示されている．図中の帯は，トップクォークの質量を 175 GeV/c^2 と仮定したときの断面積の理論予想を示している．右：縦軸に CDF 実験により現在までに得られたトップクォーク対生成断面積の測定結果および横軸にトップクォークの質量測定の測定結果を示したもの．図中の曲線は，トップクォーク対生成断面積の理論予想をトップクォーク質量の関数として表したものを示している．

(1) Run II 実験データの物理解析

(a) トップクォークの物理

CDF 実験，および D0 実験による 1995 年のトップクォーク発見以来 10 年が経過した．今後も Run II 実験において得られる高統計のトップクォーク生成崩壊事象データから，より詳細なトップクォークに関する性質が明らかになっていくと期待される．

現在，CDF 実験トップクォーク物理解析グループでは，Run II 実験の開始から 2005 年度末までに収集されたデータ，約 1 fb^{-1} を使った解析が進められている．このデータ量は，Run I の約 9 倍に達し，高精度のトップクォーク対生成断面積測定や，トップクォークの質量測定などが行われている．

以下に 2005 年度における主な成果を述べる．

トップクォーク対生成断面積測定　トップクォーク対が一つの荷電レプトンと 4 つのジェットを含む終状態に崩壊するチャンネル (レプトン+ジェットチャンネル) において行なわれたトップクォーク対生成の断面積測定では，約 700 pb^{-1} 相当のデータを用いて

$$\sigma_{t\bar{t}}(\mathrm{lepton}+\mathrm{jets}) = 8.2 \pm 0.6(\mathrm{stat}) \pm 1.0(\mathrm{syst})\mathrm{pb}$$

という結果を得た．この解析には，我々の研究室からは久保，増渕が貢献している．

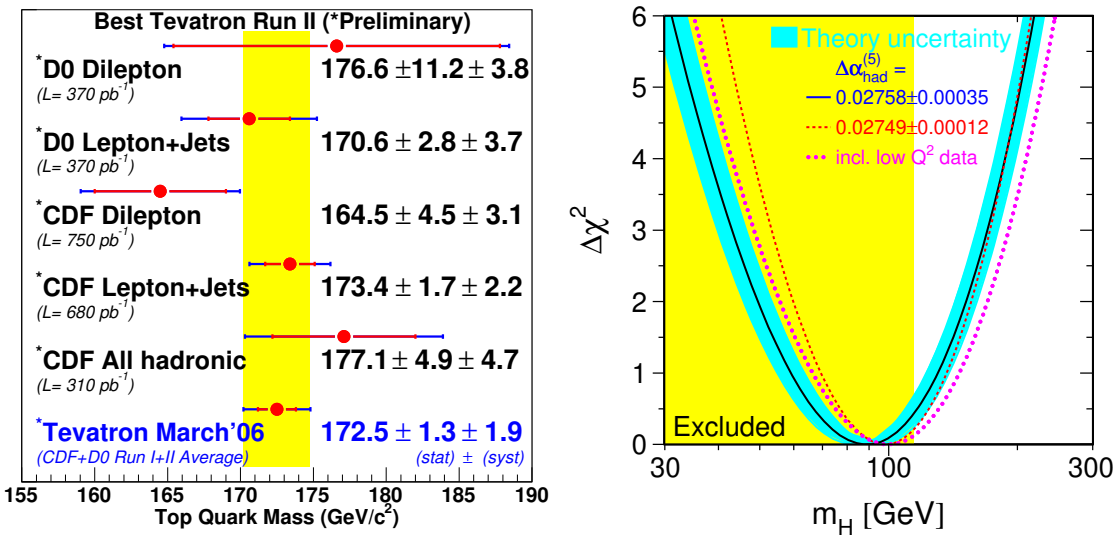

図 3: 左：トップクォーク質量の測定結果．CDF 実験および D0 実験から各サンプル毎に得られた最新の測定結果が示されている．右：トップクォーク質量，W ボゾン質量の測定値および仮定された M_H の値を使ったフィットの χ^2 の最小値からのずれをヒッグス粒子の質量の関数として表したもの．

またトップクォーク対が二つの荷電レプトンを含む終状態に崩壊するチャンネル (ダイレプトンチャンネル) においては，約 $750\ \mathrm{pb}^{-1}$ 相当のデータを用いて

$$\sigma_{t\bar{t}}(\mathrm{dilepton}) = 8.3 \pm 1.5(\mathrm{stat}) \pm 1.1(\mathrm{syst})\mathrm{pb}$$

という結果を得た．この解析には，我々の研究室からは木村，武内が貢献している．

図 2(左) は，CDF 実験により現在までに得られた断面積の測定結果をまとめたものである．これら各々のチャンネルでの測定結果を合わせて，断面積の最良推定値として

$$\sigma_{t\bar{t}}(\mathrm{dilepton}) = 7.3 \pm 0.5(\mathrm{stat}) \pm 0.7(\mathrm{syst})\mathrm{pb}$$

を得ている．図 2(右) は，トップクォーク対生成断面積の測定結果，およびトップクォークの質量測定の測定結果を示したものである．図中の曲線は，トップクォーク対生成断面積の理論予想をトップクォーク質量の関数として表したものを示しており，断面積の測定結果は，理論予想を良く支持していることがわかる．

トップクォーク質量測定　トップクォーク対生成でのレプトン+ジェットチャンネルにおいて行なわれたトップクォークの質量測定では，

$$M_{\mathrm{top}} = 173.4 \pm 1.7(\mathrm{stat}) \pm 2.2(\mathrm{syst})\ \mathrm{GeV}/c^2$$

という結果が得られた．この測定では，約 $680\ \mathrm{pb}^{-1}$ 相当のデータが用いられ，現在，単一の測定結果としては，もっとも精度の高い測定となっている．この結果は，ヒッグス粒子の質量の間接測定により高い精度を与えるなど，標準理論の検証にも大きく貢献するものである．この解析には，我々の研究室からは，金，丸山，佐藤，戸村が参加しており，主要な役割を果たしている．

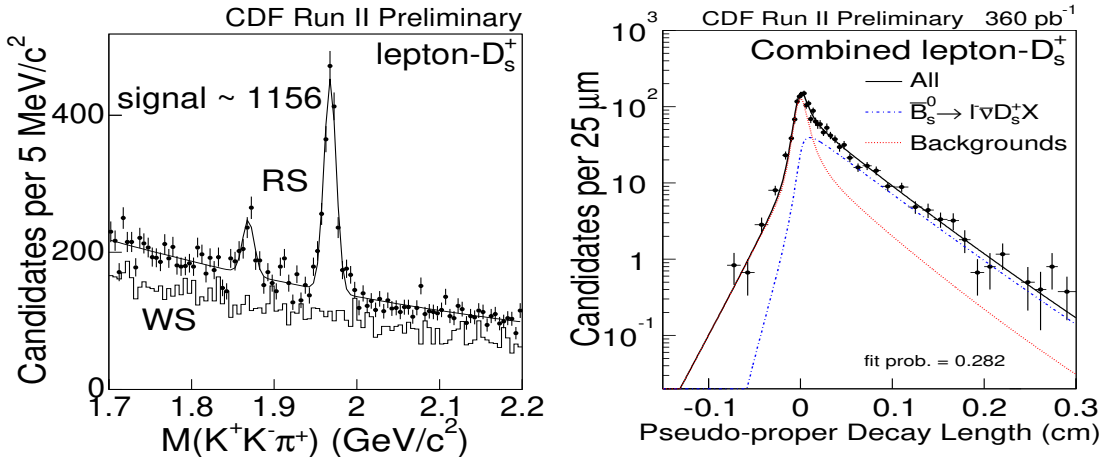

図 4: 左：部分再構成された $\bar{B}_s^0$ 中間子の信号 $\bar{B} \to \ell^- \bar{\nu} D^0$ および $\bar{B} \to \ell^- \bar{\nu} D^{*+}$．右：これらの擬固有崩壊長の分布および寿命の測定．

この測定結果，および他のチャンネルや，CDF 実験以外のトップクォーク質量の最新の測定結果をまとめたものを図 3(左) に示す．これらの結果から質量の最良推定値として

$$M_{\rm top} = 172.5 \pm 2.3 \ {\rm GeV}/c^2$$

が得られた．

トップクォークの質量から得られる情報として，素粒子の標準模型におけるヒッグス粒子の質量に対する制限がある．W ボソンの質量 (M_W) は，輻射補正の部分がトップクォークの質量 (M_t) および，ヒッグス粒子の質量 (M_H) の関数となっており，この関係をもとに M_t と M_W の精密な質量測定から M_H の質量を間接的に予測することができる．図 3 (右) は，M_t，M_W の実験での測定値が，ある M_H を仮定したときの予想とどの程度一致しているかの度合 ($\Delta\chi^2$) を M_H の関数として表したものを示している．このプロットから対応するヒッグス粒子の質量に対する制限として $M_{\rm Higgs} = 89^{+42}_{-30}$ GeV/c^2 (68%CL) もしくは，$M_{\rm Higgs} < 175$ GeV/c^2 (95%CL) が与えられている．

その他のトップクォークの物理に関して我々の研究室の活動としては，丸山が，CDF 実験のトップグループの世話人を務め，トップクォークの物理解析全般に渡る貢献をしている．

現在進行中の解析としてダイレプトンチャンネルを用い，木村，武内，金がトップクォーク対生成機構の解明，武内，金がトップクォーク対のスピン偏極度相関の測定に取り組んでいる．また，久保が，レプトン+ジェットチャンネルを用い，新しい手法を用いたトップクォーク質量の測定に取り組んでいる．

(b) B 粒子・チャーム粒子の物理

陽子・反陽子衝突では b クォークの生成率が高いため，その崩壊を効率よく収集することができれば，精度の高い測定が可能となる．セミレプトニック崩壊 $\bar{B} \to \ell^- \bar{\nu} DX$ は分岐比が大きく，レプトンをトリガーとして収集しやすい．チャーム粒子 D は，$D^0 \to K^-\pi^+$，$D^{*+} \to D^0\pi^+ \to (K^-\pi^+)\pi^+$ などの崩壊を比較的容易に再構成することが可能である．昨年度の B^- および $\bar{B}^0$ 中間子の寿命の測定に引き続いて，崩壊様式 $\bar{B}_s^0 \to \ell^- \bar{\nu} D_s^+ X$ を用いて $\bar{B}_s^0$ 中間子の寿命を測定した．図 4 に D_s^+ 中間子の信号および $\bar{B}_s^0$ 中間子の擬固有崩壊長

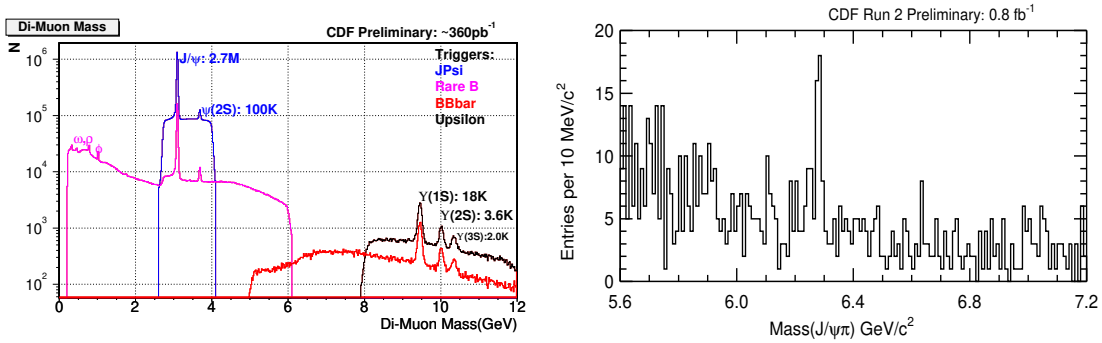

図 5: 左：低運動量の $\mu^+\mu^-$ 粒子対の不変質量分布．J/ψ 粒子や Υ 粒子が高統計で再構成されている．右：$B_c^- \to J/\psi\pi^-$ 候補事象の質量分布．

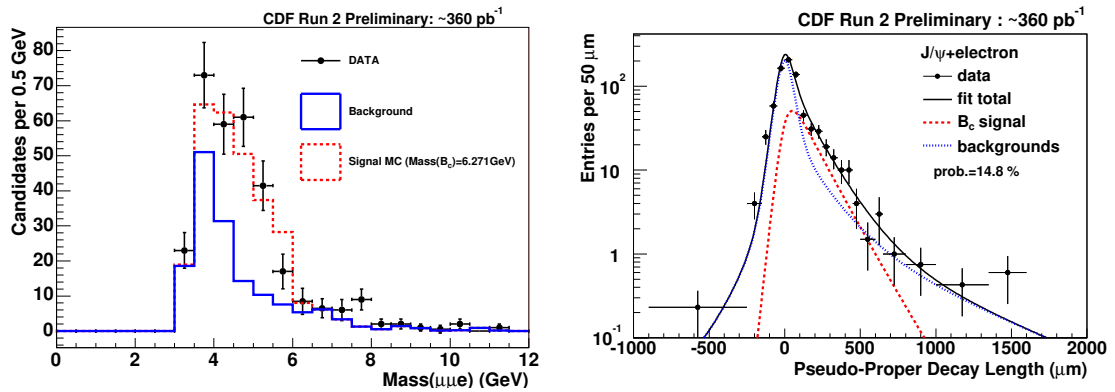

図 6: $B_c^- \to J/\psi e^-\bar{\nu}X$ 候補事象の質量および擬固有崩壊長の分布．

の分布を示す．これから

$$\begin{aligned} \tau(\bar{B}_s^0) &= 1.381 \pm 0.055\,^{+0.052}_{-0.046}\ \text{ps} \\ \tau(\bar{B}_s^0)/\tau(\bar{B}^0) &= 0.938 \pm 0.044\,^{+0.049}_{-0.046} \end{aligned}$$

を得た [1]．Heavy Quark Expansion 技法を用いた理論計算は，$\bar{B}^0$ 中間子と $\bar{B}_s^0$ 中間子の寿命差を 1%程度と予言するが，これと矛盾しない．

レプトン対をトリガーとする B 粒子の再構成も引続き重要な信号を供給している．$J/\psi \to \mu^+\mu^-$ 崩壊などの信号を図 5（左）に示す．μ 粒子の運動量閾値が 2.2 GeV/c から 1.5 GeV/c に下げられた結果，単位データ量当りの J/ψ 生成率は約 2 倍となった．$B^+ \to J/\psi K^+$，$B^0 \to J/\psi K^{*0}$，$B^0 \to J/\psi K_S^0$，$B_s^0 \to J/\psi\,\phi$，$\Lambda_b^0 \to J/\psi\,\Lambda^0$ などの信号が再構成されており，質量，寿命，相対分岐比の測定がなされている．

また，FCNC による崩壊 $B_d^0/B_s^0 \to \mu^+\mu^-$ が探索され，それぞれ分岐比の上限値 $\mathcal{B}(B_d^0 \to \mu^+\mu^-) < 3.0 \times 10^{-8}$ および $\mathcal{B}(B_s^0 \to \mu^+\mu^-) < 1.0 \times 10^{-7}$（ともに確度 95%）を得ている．

B_c^- 中間子は，異なる二種類の重いクォークの束縛状態であり，他に類を見ない粒子である．B_c^- 中間子は，CDF 実験により Run-I データ中に，そのセミレプトニック崩壊 $B_c^- \to J/\psi\ell^-\bar{\nu}X$ を用いて発見された．質量の精密測定は，格子 QCD などの理論計算の検証に有用である．実験的には，全再構成可能な崩壊様式 $B^- \to J/\psi\pi^-$ が適しているが，これまで観測されていなかった．図 5（右）に CDF Run-II 実験（0.8 fb^{-1}）で得られた質量分布を

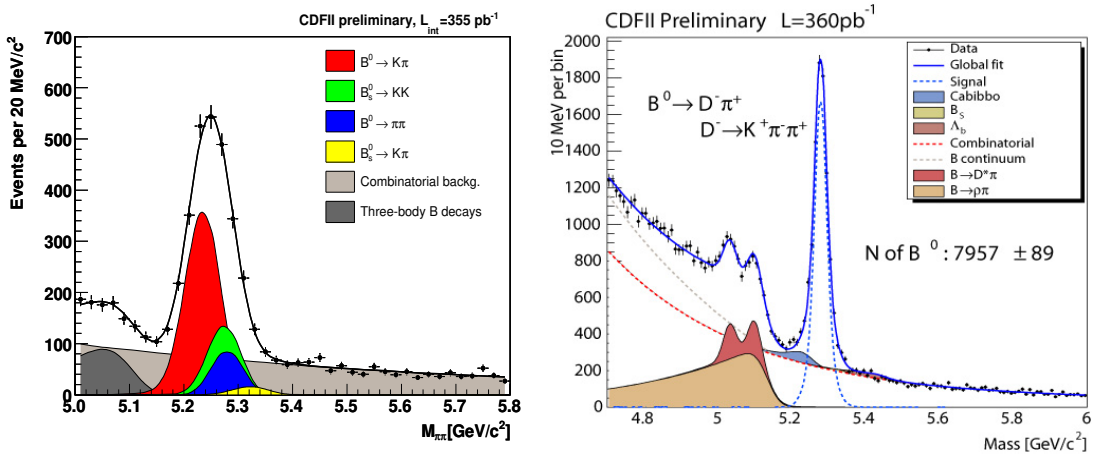

図 7: SVT を用いて収集したデータ中に再構成された B 中間子の信号の例．左：$B_d^0/B_s^0 \to h^+h'^-$ $(h = \pi \text{ or } K)$，右：$\bar{B}_d^0 \to D^+\pi^-$，$D^+ \to K^-\pi^+\pi^+$ ．

示す．6.3 GeV/c^2 付近に excess が見えるが，その有意度は 6σ 以上である．質量は

$$m(B_c^-) = 6275.2 \pm 4.3 \pm 2.3 \text{ MeV}/c^2$$

と決定された．最近の格子 QCD の計算は，$6304 \pm 12\,^{+18}_{-\ 0}$ MeV/c^2 と予言している．

寿命の測定には，より高統計が得られるセミレプトニック崩壊が適している．図 6（左）に，レプトンとして横運動量 2 GeV/c 以上の電子を用い，J/ψ 粒子と組み合わせたときの質量分布を示す．全再構成の場合と異なり，$J/\psi e^-$ 質量は B_c^- 中間子の質量以下の領域に有限の広がりを持つ分布を示すが，評価された背景事象（実線ヒストグラム）を超えて約 100 事象が観測された．実データの分布は，B_c^- 中間子の信号から期待されるもの（破線ヒストグラム）とよい一致を示す．信号領域 $4.0 < m(J/\psi\, e^-) < 6.0$ GeV/c^2 の事象の擬固有崩壊長の分布を図 6（右）に示す．寿命は

$$\tau(B_c^-) = 0.474\,^{+0.073}_{-0.066} \pm 0.033 \text{ ps}$$

と決定した [2]．この値は他の軽い B 粒子の質量より短く，チャーム粒子の寿命に近い．これは，B_c^- 中間子中の $\bar{c}$ クォークの全崩壊幅への寄与が大きいことを意味する．これまで未観測の崩壊様式 $B_c^- \to \bar{B}_s^0\pi^-$ などの相対分岐比を測定することにより，崩壊機構の理解が進むと期待される．

CDF Run-II 実験では，Silicon Vertex Trigger (SVT) と呼ばれる装置を導入した結果，B 粒子やチャーム粒子などの長寿命粒子の崩壊物を選択的に効率よく収集することが可能となった．その信号の例を図 7 に示す．図左は，B_d^0/B_s^0 中間子の軽いハドロン $h \equiv K/\pi$ への 2 体崩壊 $B^0 \to h^+h'^-$ の再構成である．中央部飛跡検出器での dE/dx 情報と質量分布を解析することによりその組成が測定され，$B_s^0 \to K^+K^-$ 崩壊が初めて観測された．また，$B_d^0 \to K^+\pi^-$ 崩壊における CP 非対称度も $A_{\rm CP} = -0.058 \pm 0.039 \pm 0.007$ と測定されている．これらは，$B_d^0 \to \pi^+\pi^-$ および $B_s^0 \to K^+K^-$ 崩壊での CP 非対称度の測定，さらにはユニタリ三角形の角度 γ の決定に向けた第一歩である．また，Belle 実験において新物理の兆候として測定された $b \to s$ 遷移による崩壊 $B_d^0 \to \phi K_S^0$ の類似の崩壊 $B^\pm \to \phi K^\pm$，$B_d^0 \to \phi K^{*0}$，$B_s^0 \to \phi\phi$ が再構成されており，今後，偏極度や CP 非対称度の測定を行う．

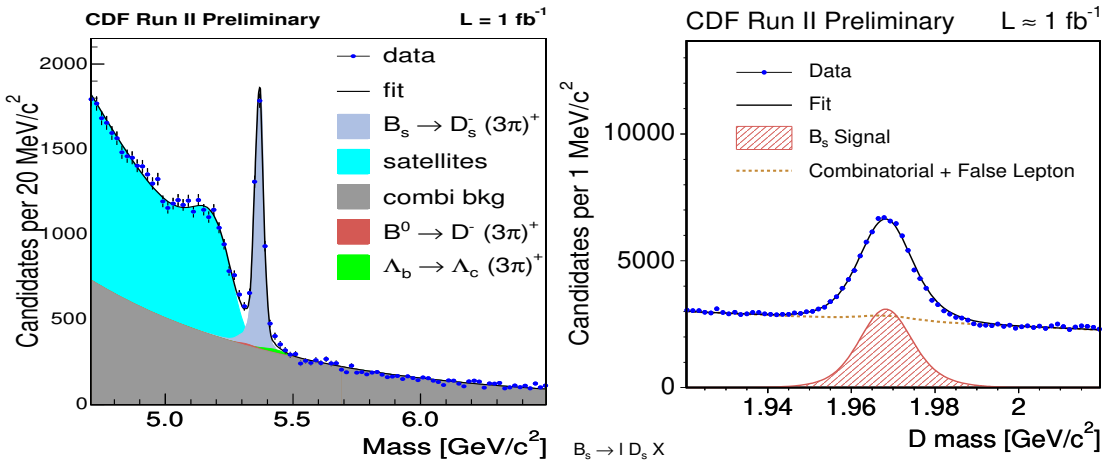

図 8: $\bar{B}_s^0$ 中間子の信号．左：$\bar{B}_s^0 \to D_s^+(3)\pi^-$ ，右：$\bar{B}_s^0 \to \ell^-\bar{\nu}D_s^+X$ ．

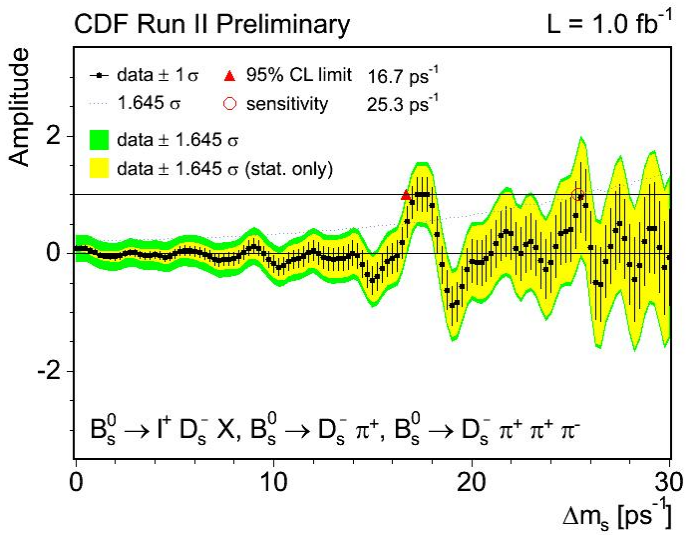

図 9: $B_s^0\bar{B}_s^0$ 振動の探索．振動の振幅を振動数 Δm_s の関数として表したもの．

CDF Run II 実験での B 粒子の物理の目標のひとつは，ストレンジネスを持つ中性 B 中間子 B_s^0 の粒子・反粒子振動の観測である．B_q^0 中間子 $(q \equiv d,\ s)$ の粒子・反粒子振動の角振動数 Δm_q は小林・益川行列の要素 $|V_{tq}|$ と関連しており，前者の測定により後者を決定することができる．これまでに Δm_d は精度よく測定されているが，$|V_{td}|$ の決定は理論的不定性により約 20%に制限されている．B_s^0 中間子の粒子・反粒子振動が観測されれば B_d^0 中間子の振動数 Δm_d との比を取ることにより，比 $|V_{td}/V_{ts}|$ を精度よく決定できる．これは，小林・益川行列のユニタリ三角形の右の斜辺の長さに対応している．

$B_s^0\bar{B}_s^0$ 系では予想される振動数 Δm_s が高いため，その固有崩壊時間を精度よく決定することが重要となる．事象毎の運動量測定を正確に行うため，B_s^0 の全再構成が可能な $\bar{B}_s^0 \to D_s^+\pi^-$ などの様式を用いる．この信号は，SVT を用いてトリガーされたデータ中に再構成されている（図 8 左）．分岐比の大きいセミレプトニック崩壊 $\bar{B}_s^0 \to \ell^-\bar{\nu}D_s^+X$ も用いられている（同右）．積分輝度はおよそ $1\ \mathrm{fb}^{-1}$ である．これらの事象を用いて，振動のフーリエ振幅解

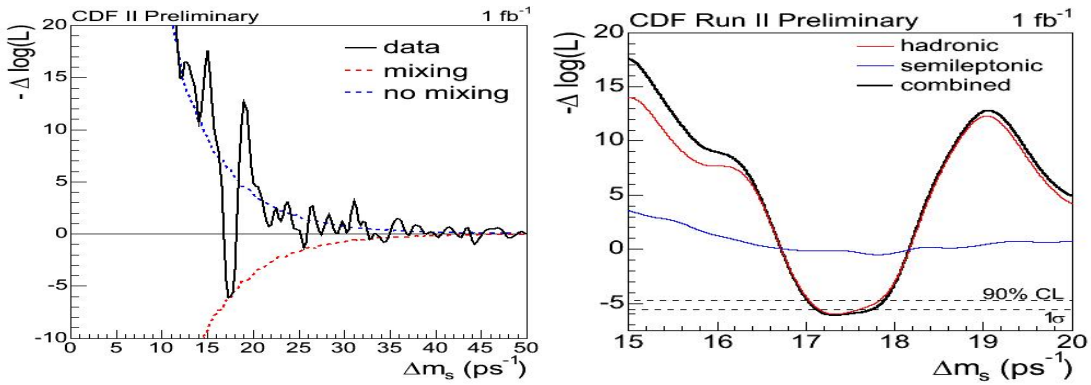

図 10: $B_s^0 \bar{B}_s^0$ 振動の探索．尤度を振動数 Δm_s の関数として表したもの．

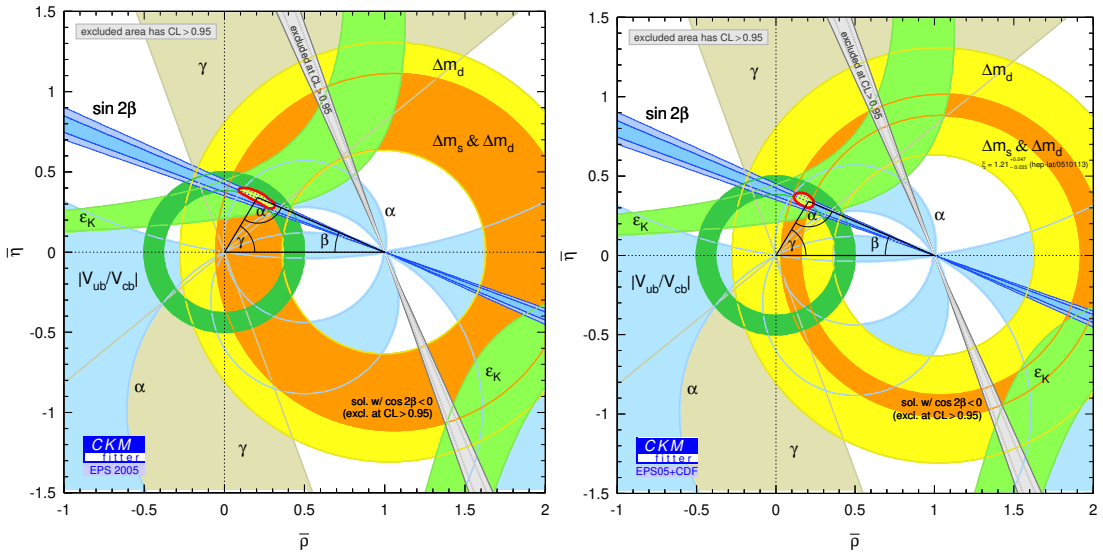

図 11: $B_s^0 \bar{B}_s^0$ 粒子・反粒子振動の観測の前後での小林・益川行列のユニタリ三角形の様子．

析を行なったものが，図 9 である．振動の振幅を，仮定した振動数 Δm_s の関数として表している．また，図 10 に尤度の分布を示す．感度 $25.3\ \mathrm{ps}^{-1}$ に対して振動数 $17\ \mathrm{ps}^{-1}$ 付近に振動を示唆する構造が見られた．背景事象の揺らぎによりこのような現象の生じる確率は 0.5%以下と評価された．つまり，$B_s^0 \bar{B}_s^0$ 振動が 95.5%の確率で観測されたことになる．尤度分布より，振動数が

$$\Delta m_s = 17.33\ ^{+0.42}_{-0.21} \pm 0.07\ \mathrm{ps}^{-1}$$

と決定された．また，小林・益川行列の要素に対して

$$\left|\frac{V_{td}}{V_{ts}}\right| = 0.208\ ^{+\ 0.008}_{-\ 0.007}$$

の制限を得た．この測定の前後でのユニタリ三角形の様子を図 11 に示す．右の斜辺の長さの決定の精度が大きく向上したことが判る．

$B_s^0 \bar{B}_s^0$ 振動の観測は，それに同期した CP 対称性の破れの研究の道を開く．例えば，$B_s^0 \to J/\psi\,\phi$ 崩壊での CP 非対称度測定が ± 0.1 の精度でなされると期待され，もし大きな CP の破れが観測されれば，標準理論を超える新しい物理の存在を示す確たる証拠となる．

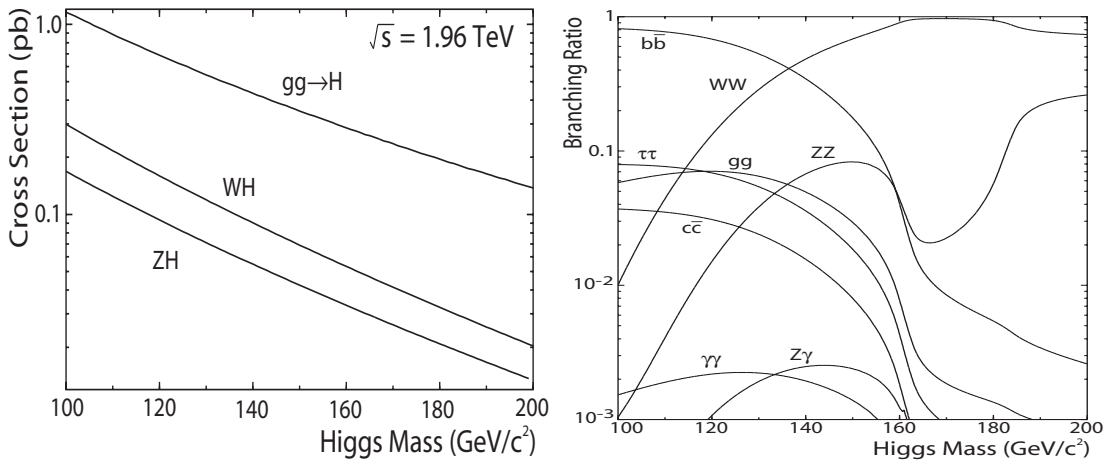

図 12: 左：テバトロンでの標準模型ヒッグス粒子の生成断面積をヒッグス粒子の質量の関数として表したもの．異なる素過程の寄与を別々に示してある．右：標準模型ヒッグス粒子の崩壊分岐比をヒッグス粒子の質量の関数として表したもの．

(c)　新粒子の探索

ヒッグス粒子の探索が三つの過程を用いてなされた．テバトロンでのヒッグス粒子の生成断面積とその崩壊分岐比を図 12 に示す．質量が軽い場合（およそ 120 GeV/c^2 以下）は $H \to b\bar{b}$ 崩壊がほとんどであり，重い場合には弱ゲージボソン対 W^+W^- および Z^0Z^0 への崩壊が主なものとなる．

生成率は，素過程 $gg \to H$ による単一生成が一番高いが，ヒッグス粒子が軽い場合には $p\bar{p} \to b\bar{b}$ 過程によるバックグラウンド中に信号を見出すのはほぼ不可能である．よって，弱ゲージボソン W との随伴生成 $p\bar{p} \to HWX \to b\bar{b}\ell\nu X$ を用いる．終状態は，高運動量のレプトン（電子あるいは μ 粒子），消失運動量，$b\bar{b}$ クォーク対となる．b クォーク起源のジェットを，トップクォーク探索時と同様に，二次崩壊点の存在を要求して同定する．主なバックグラウンドは，QCD 過程による W 粒子と $b\bar{b}$ の随伴生成である．図 13 に $b\bar{b}$ 候補対の質量分布を示す [3]．

中間質量領域（140 GeV/c^2 程度）では，$H \to W^+W^{(*)-}$ 崩壊が寄与し始める．W ボソンとの随伴生成では，終状態に W ボソンが 3 個存在し，そのうちの二つは必ず同電荷を持つ．それらがレプトンに崩壊すれば，同符号のレプトン対という特徴的な信号となる．

高質量領域では，W^+W^- への崩壊が主になるが，この終状態はバックグラウンドが少なく，単一生成 $p\bar{p} \to HX$ の探索が可能である．終状態は，二つの高運動量レプトンと大きな損失運動量となる．

これらの過程を用いてヒッグス粒子による寄与を探索したが，いずれも既知のバックグラウンドによるものと矛盾しない．よって，ヒッグス粒子生成に対する上限を設定した．図 14 にこれらの上限値の標準模型による予言値に対する比を示す．実験値は予言値の十倍から数十倍であり，今後のデータ量の増加が必要である．

以上は CDF Run IIa 実験においてこれまでに得られた結果および今後期待される成果を述べたものであるが，CDF 実験は，LHC 加速器が本格稼働し物理の結果を生みだし始める 2009 年頃までは，エネルギー最先端の物理を遂行する唯一の実験である．CDF 実験は最終

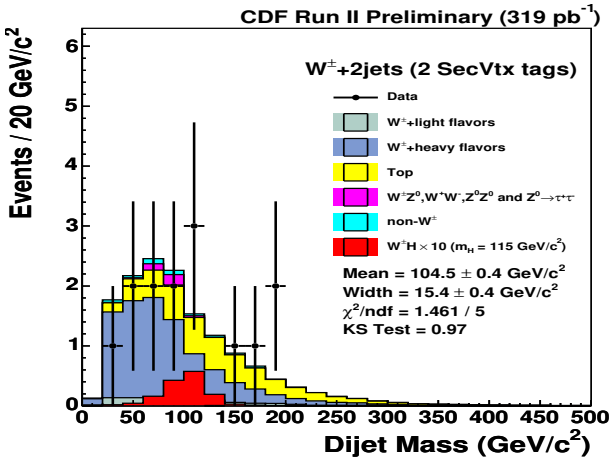

図 13: $\bar{p}p \to WHX \to \ell\nu b\bar{b}X$ 過程によるヒッグス粒子の探索．二次崩壊点を用いて同定した $b\bar{b}$ ジェット対の質量分布．

的に $5-9$ fb^{-1} 相当のデータを蓄積する予定である．これは現在までに解析されたのデータの十倍程度となり，素粒子物理学に対し多大な貢献をすると期待される．

【2】 LHC ATLAS 実験

欧州セルン研究所では，2007 年夏のビーム衝突を目標に，現在，陽子・陽子衝突型加速器 LHC (Large Hadron Collider，重心系エネルギー 14 TeV) の建設が進められている．LHC 実験の最大目的は，質量の起源とされ，素粒子の標準模型で唯一未発見の粒子，ヒッグス粒子を研究することである．現在までのさまざまな実験結果を標準模型で解釈すると，ヒッグス粒子は 200 GeV/c^2 程度以下に存在すると予測されている．標準模型を超えた枠組においても，ヒッグス機構が現実のものならば，質量は 800 GeV/c^2 程度以下のはずである．LHC は 1 TeV を超える素粒子反応を観測できる初めての加速器であり，この質量領域のヒッグス粒子は，3 年以内に必ず発見できる．筑波大学は，LHC 加速器での ATLAS 実験グループに属し，シリコン飛跡検出器の建設を担当してきた．また ATLAS 検出器によるヒッグス検出のシミュレーションをしている．LHC では，ヒッグス粒子の他にも，超対称性粒子や余剰次元起源のブラックホールなど，初期の段階で重要な発見が期待されている．

(1) シリコン飛跡検出器 (SCT)

筑波大学のグループは KEK のグループらと協力して，シリコン飛跡検出器 (SCT) バレル部モジュールの建設を行ってきた．2002 年 2 月に量産を開始し，2004 年 10 月にすべてのモジュール製造を完了した．優れた位置精度を要求される SCT モジュールの精密組立てのプログラミング，モジュールの電気的・機械的性能評価，モジュールをシリンダーに据え付けるロボット制御のプログラミングを筑波大学として分担した．

2000 台を超える SCT モジュールのバレルシリンダーへの据え付けは，日本グループが製作したロボットを用いてオックスフォード大学で行われた．バレル部は全 4 層のシリンダーで構成されるが，これらはセルンで組み上げられ，さらに，SCT の外層に位置する遷移輻射

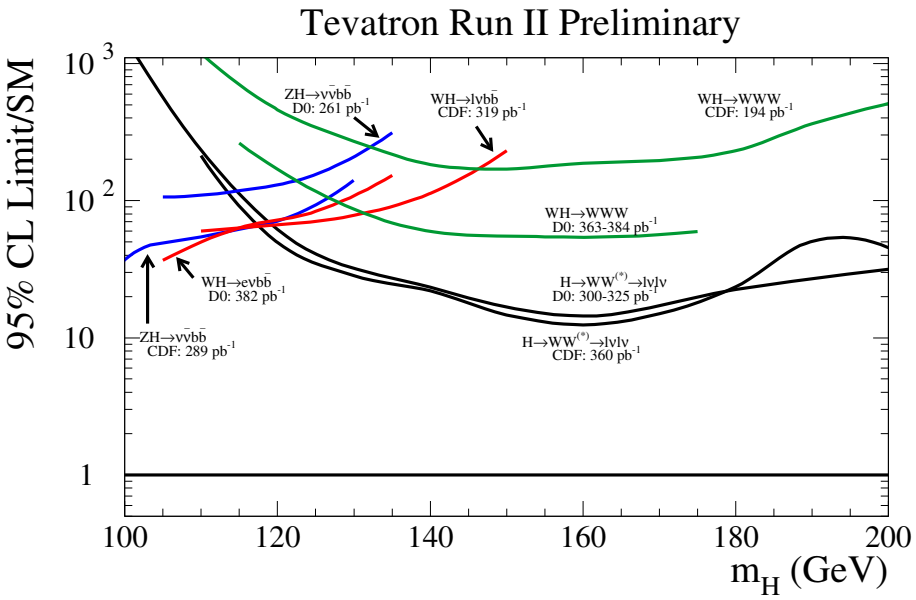

図 14: 標準模型ヒッグス粒子探索の結果．

型飛跡検出器 TRT にも組み込まれた (図 15) . 2006 年夏の ATLAS 本体への設置のため，宇宙線を用いた最終調整をしている．

2 年半の製造期間にわたって行った性能検査により，モジュールはすべての仕様を満たすことを確認したが，長期間バイアス電圧を加えた後に電圧を下げると電気的性能が一時的に劣化することが発見されていた．この様な報告は過去にないため，運転条件 (バイアス電圧や温度) を系統的に変化させ，この特異な現象が実際の ATLAS 実験での運転時にどの様な影響を与えるかを詳細に評価した．

図 16 は 4 時間ごとにモジュールの暗電流− 電圧 (I-V) 曲線を測定したもので，I-V 測定時以外は電圧を 350 V に保持している．時間とともに保持電圧以下の電圧での暗電流が約半分程度まで減少することが観測された．このような I-V 特性は過去に報告されていないが，今回，他のタイプのシリコンセンサーと比較測定した結果，SCT では特に顕著であるが，ストリップ型センサーでは一般的な現象であることが判明した．検出器性能への影響をノイズと信号分離の観点から評価した．暗電流が半分ほどに減少した条件下で読み出しアンプのノイズを測定したところ，正常時よりも約 20%増大した．また特定の電極近傍にレーザー光を入射した場合，信号分離の劣化のため隣接電極への信号もれが顕著に増大することも確認され，SCT の性能を著しく劣化させる．温度を下げると I-V 曲線の変遷時間は長くなり，ATLAS での温度 (0°C) では定常状態に達するのに 1 週間ほど要する．保持電圧以上では全く性能劣化しないので，ATLAS 実験においては，バイアス電圧を大きく下げないようにしなくてはならない．電圧を下げた場合，1 週間程度で新しく設定した保持電圧に応じて定常状態になり回復する．そのため，メンテナンス作業などには支障しない．SCT センサーの特徴である電極間距離が広いことが影響を顕著にしているようである．電極間絶縁膜中のキャリアの移動時間の影響と推察されるが，定量的な説明はできていない．

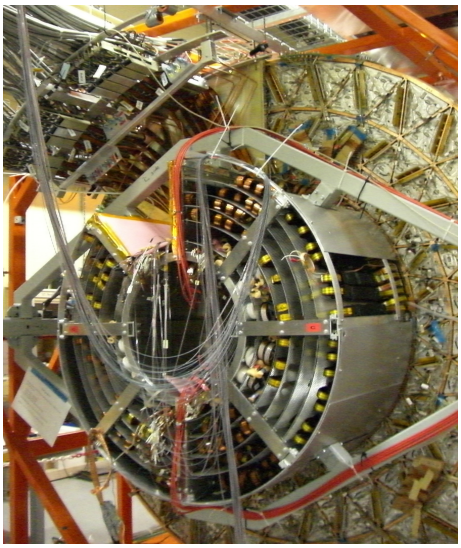

図 15: バレル部 SCT (中心部) と TRT は組み合わされ，宇宙線による最終調整をしている．

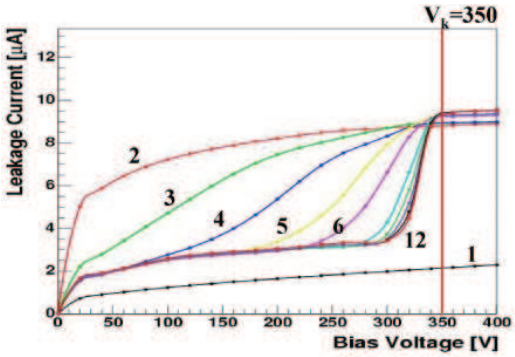

図 16: 異常な暗電流-電圧曲線．温度 40°C で 4 時間毎に測定 (数字は測定順を示す)．測定時以外は 350V に設定．正常な曲線は 1 または 2 であるが，漸近的に 12 の曲線に達する．

(2) 放射線耐性に優れたシリコンセンサーの開発

LHC の輝度は，開始 3 年ほどで設計値 1×10^{34} $\mathrm{cm}^{-2}\mathrm{s}^{-1}$ に達する予定である．その後，2015 年あたりを目処に輝度をさらに 10 倍に増強する sLHC (super LHC) 計画が現在検討されている．sLHC が実現すれば，ヒッグス粒子の対生成など標準模型の検証に重要な測定が可能になる．現行の SCT + TRT の飛跡検出器は，輝度が 10 倍になると運転できない．そのため，新しい飛跡検出器の設計検討が開始され，設計指針としては，TRT を現行の SCT で置き換える，現行の SCT に放射線耐性に優れたシリコンセンサーを用いる，SCT 内側の PIXEL タイプの検出器の領域を広げる，ことが合意されている．実機製作には最低 5 年を要するので，新しいセンサー設計に費やせる期間は限られている．

高放射線耐性のセンサーとして p 型シリコンを用いたセンサーが有望であるが，高抵抗の p 型シリコンは余り市場にない．FZ や CZ 法による p 型ウェハーを用いてテストセンサーを製作した．p 型の場合，n 電極間に発生する電子蓄積層を排除するための構造が必要となるが，p-stop や field plate を用いた構造を採用し，最も有効な方式をシミュレーションとテストセンサー測定により比較検討している．サンプルを陽子ビームで照射し，放射線耐性を評価している．

粒子数密度の増大により，放射線耐性に優れたシリコンセンサーの電極は短くしなくてはならないが，同時に PIXEL タイプとして設置領域を広げる必要もある．PIXEL には膨大な読み出しチャンネルがあり，センサー部とエレキ部を個別に製作後に接合する現行の PIXEL 製作の方式はもはや現実的でない．SOI (silicon on oxide) は CMOS の後継として 2000 年ごろから実用化され始めた．高速性や放射線耐性が特徴であり，SOI のハンドル基板に高抵抗シリコンを用いれば，それをセンサー部にでき，SOI 部に読み出しエレキを実装すれば，センサーと読み出しが一体化された放射線検出器が実現できる．SOI の基礎データを得ることを目標とし，KEK らのグループと共同で沖電気の 0.15μm SOI プロセスにより，テストピクセルを製作した．詳細な性能評価中である．

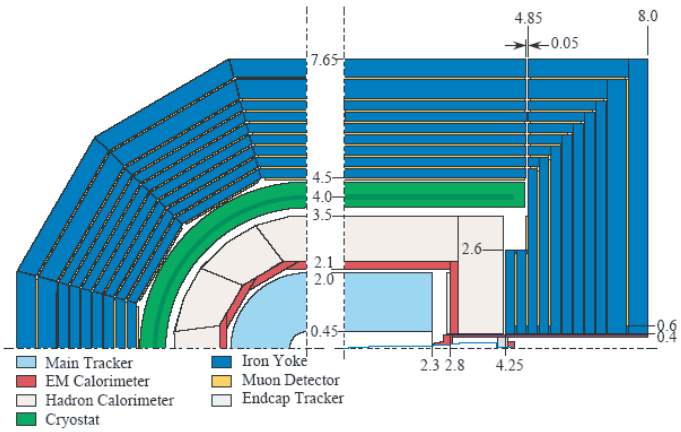

図 17: ILC(GLD) 検出器の構造．ビーム軸に対して垂直 (左) 又は平行 (右) 面での断面図．

(3)　ヒッグス粒子検出の評価

ヒッグス粒子は質量に依存してさまざまな崩壊をし，これらを系統的に研究することは発見および新粒子の性質測定のために不可欠である．質量が $190\mathrm{GeV}/c^2$ 以上ならば $H \to Z^0 Z^{*0} \to \ell^+\ell^-\ell^+\ell^-$ で発生する 4 つの荷電レプトン (電子またはμ 粒子) を捉えることで，バックグランドが少なく確実な発見ができる．質量が軽い場合は，W/Z の衝突 (Vector Boson Fusion) により発生するヒッグス粒子を WW や $\tau\tau$ への崩壊モードで捉えることが有望な方式で，さらに軽い場合は $W+H$ の随伴生成も考えられる．

従来，$\tau\tau$ への崩壊モードは，検出器の反応を簡単化したシミュレーションで評価していた．我々は GEANT4 に基づく詳細なシミュレーションに基づく評価を行った．生成されるバックグランドは信号よりも遥かに多く，事象選別後のバックグランドの分離は検出器応答のモデル化に影響を受ける．より忠実な検出器応答の再現により，特に，τ の崩壊を捉えるために飛跡検出器やカロリメータの情報をどう最適化するかの評価を行った．

$W+H$ の随伴生成と $H \to b\bar{b}$ 崩壊は CDF では最も発見に有望なモードである．陽子陽子衝突の LHC では，これは特に軽い質量領域に限定され，従来の評価では他のモードより劣るとされていた．このモードではヒッグスが崩壊してできる b クォークを効率よく同定し，他のバックグランドを効率良く排除することが重要である．我々は，新しい b 同定の方式を採用し，簡易シミュレーションで発見可能性を再評価した．信号-バックグランド分離は有望であり，現在は，未評価のバックグランドの寄与を評価中である．

【3】　ILC 実験

次世代のエネルギーフロンティアにおける素粒子実験を遂行するため，重心系エネルギー約 1 TeV の電子・陽電子衝突型線形加速器を建設する計画が提案されている．国際協力により進められているこの計画は ILC 計画と名付けられ，精力的に加速器や測定器の研究・開発が行われている．ILC での実験では，素粒子である電子を衝突に用いるので，加速したエネルギーを効率良く衝突に使用することができ，またバックグラウンドの少ない環境での精密測定や新粒子探索が可能となる．

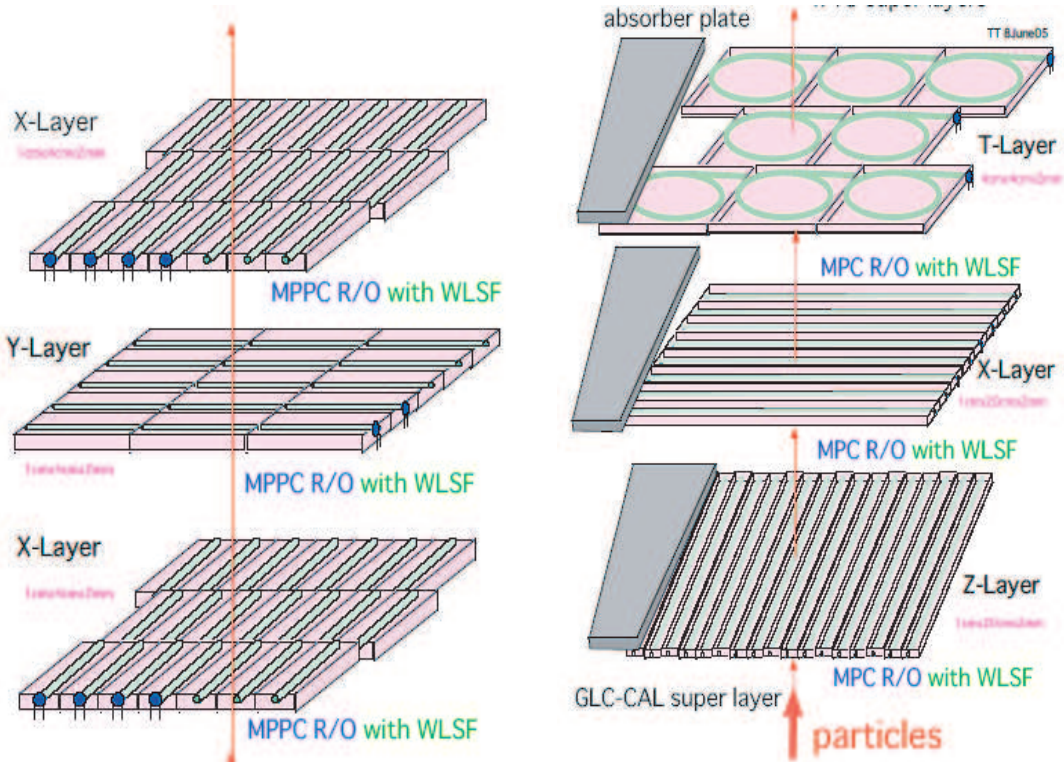

図 18: カロリメータの概略．左は電磁カロリメータ，右はハドロンカロリメータの構造を示す．

(1) カロリメータプロトタイプの性能評価

現在筑波大学グループでは，KEK，神戸大，信州大，新潟大等と共同で，ILC 実験において使用される検出器 (図 17) のうち，カロリメータ (エネルギー測定器) の研究開発を行なっている．現在計画されている ILC カロリメータでは，シンチレータと鉛板を積層構造にしたサンプリングタイプと呼ばれるものが用いられている．ILC 実験では，ゲージボソンやトップクォーク，ヒッグス粒子などの崩壊により発生する多数のジェットのエネルギーを精密に測定することが非常に重要であり，そのために Particle Flow Algorithm と呼ばれるジェット再構成/エネルギー測定方法が提唱されている．この方法では，ジェット中の粒子をカロリメータ中で一つ一つ区別し，中性粒子についてはカロリメータでエネルギーを測定し，荷電粒子の運動量については，より優れた分解能を持つ飛跡検出器で測定することにより，ジェットに対するエネルギー分解能の向上を図るものである．このような方法を用いるには，カロリメータは単一の入射粒子に対する優れたエネルギー分解能に加え，非常に細かいセルに分割された構造を有することが要求される．我々は，このような細分割を実現するために，図 18 のように，シンチレータを短冊 (ストリップ) 型にし，交差させて交互に積み重ねる方法を採用した．昨年度においては，このような構造を持ったカロリメータのテストモジュールを製作し，実際に電子，パイ中間子等のビームを用いてその性能評価を行った．本年度においては，ビームテストによって得られたデータのより詳しく解析を行った．その結果，エネルギー分解能に加え，位置分解能として，$\sigma = (4.53 \pm 0.02)\ \mathrm{mm}/\sqrt{E} \oplus (0.0 \pm 0.2)\ \mathrm{mm}$，角度分解能として $\sigma = (4.8 \pm 0.1)^\circ/\sqrt{E} \oplus (0.0 \pm 0.5)^\circ$ の性能を得た．これらは，リニアコライダー実験において Particle Flow Algorithm を用いるのに十分な性能である．これらの結果は 2005 年 8 月に Nuclear Instruments and Methods に投稿され，掲載された．

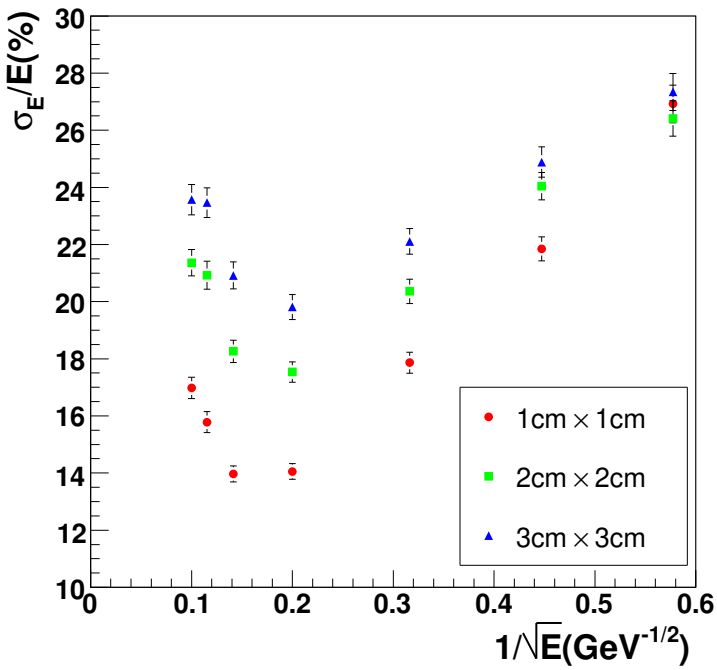

図 19: カロリメータへ入射した粒子エネルギーに対する分解能と，セルサイズによる違い．

(2)　シミュレーションによるカロリメータの設計研究

また，シミュレーションを用いて，カロリメータのセル (分割) サイズの最適化，その際の性能等の評価も行った．ILC 検出器のシミュレーションフレームワークに分割サイズの違うカロリメータを組み込み，予想されるヒッグス粒子の質量でその崩壊をシミュレートすることにより，十分な性能が得られ，なおかつ現実的に可能なセルのサイズを得ることができた．また，読み出し方法に関しても，各セルでの信号の有り無しのみを判定するデジタル読み出しと，信号の強さを四段階に量子化して読み出すセミデジタル読み出しでの性能を，同じくシミュレーションにより評価し，従来のアナログ読み出しの場合と比較した．図 19 に，シミュレートしたそれぞれのセルサイズでのエネルギー分解能を示す．セルサイズ 1cm の時が最もエネルギー分解能がよいが，低いエネルギーではエネルギー分解能はあまりセルサイズに依存しないことがわかる．また，図 20 に，読み出し方法の違いによるエネルギー分解能の変化を示す．これらの結果より，ジェット中の粒子エネルギーが 5 GeV 程度であれば，デジタル読み出しでセルサイズを 2 cm 程度にしても Particle Flow Algorithm に必要な性能を得られることがわかる．

(3)　来年度における予定

来年度においては，カロリメータの光信号読み出しのための，新型光センサーの研究開発に重点を置く予定である．ILC カロリメータでは，非常に細かいセル構造が要求されるため，読み出しのために膨大な数の光センサーが必要となる．また，磁場中で使用されることもあり，これまで広く用いられてきた光センサーである光電子増倍管の使用は難しい．この

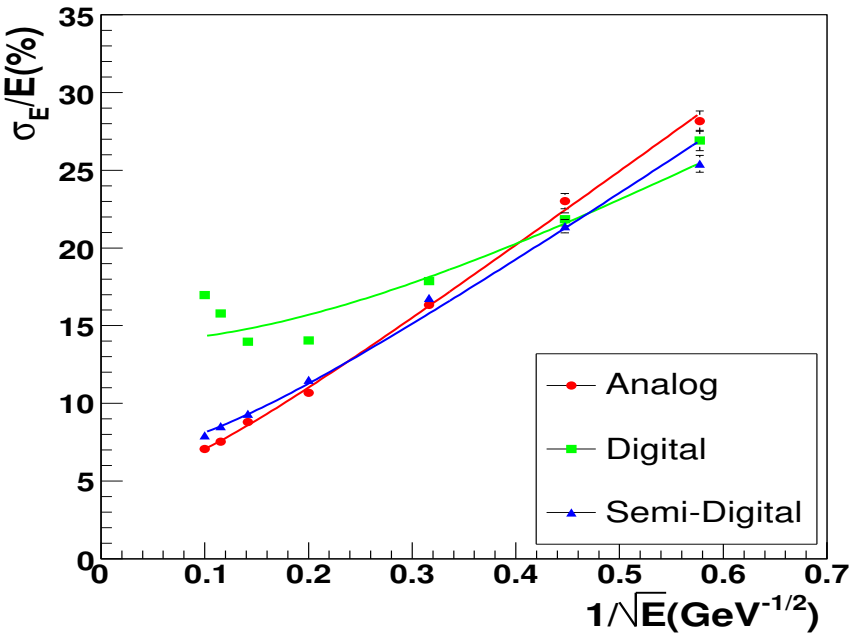

図 20: 読み出し方法によるエネルギー分解能の違い．

ため，ILC カロリメータでは，新しいタイプの半導体光センサーである MPPC(Multi Pixel Photon Counter) を採用する予定である．MPPC は，小さく低コストで磁場の影響を受けないため，ILC カロリメータの読み出しには最適である．しかし，今だ実用化のためには多くの研究項目が残っている．我々は，MPPC の実用化を予定している浜松ホトニクス，また高エネルギー加速器研究機構を中心とした光センサーグループと共に，ILC カロリメータでの使用を目指して MPPC の研究開発を行う予定である．

参考文献

[1] CDF Collaboration, CDF public note 7757 (2005).
魚住聖，“Measurement of the B meson lifetimes with the Collider Detector at Fermilab”， 博士論文 (筑波大学)，2005 年 7 月．

[2] A. Abulencia *et al.* (CDF Collaboration), submitted to Phys. Rev. Lett. [arXiv:hep-ex/0603027].
青木雅人，“Measurement of the B_c meson lifetime with the Collider Detector at Fermilab”， 博士論文 (筑波大学)，2006 年 2 月．

[3] A. Abulencia *et al.* (CDF Collaboration), Phys. Rev. Lett. **96**, 081803 (2006).
石澤善雄，“Search for Higgs boson production in association with the W boson in 1.96-TeV proton-antiproton collisions”，博士論文 (筑波大学)，2005 年 9 月．

【4】　外部資金

1. 日米科学技術協力事業「陽子・反陽子衝突による重い粒子の検出 (CDF)」
   共同研究 (日本側参加機関 : 筑波大物理，高エネルギー加速器研究機構，広島大理，大阪市大理，早稲田大理工，岡山大理，近畿大理工，京都教育大理．日本側研究代表：金 信弘)
   校費：95,340 千円，旅費：21,000 千円

2. 科学研究費補助金 「質量起源と超対称性物理の研究計画調整」
   共同研究 (参加研究機関：筑波大物理，東京大理，名古屋大理，東北大理, 高エネルギー加速器研究機構，大阪大理，京都大理，研究代表者： 金 信弘) 特定領域研究 (1) 10,100 千円

3. 科学研究費補助金 「高エネルギー陽子・反陽子衝突によるヒッグス粒子の探索」
   共同研究 (研究代表者： 金 信弘) 特定領域研究 (2) 20,100 千円

【5】　研究発表

(1)　学会誌等への発表論文

1. "Measurement of $W\gamma$ and $Z\gamma$ Production in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV",
   D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **94**, 041803 (2005).

2. "First Measurements of Inclusive W and Z Cross Sections from Run II of the Fermilab Tevatron Collider",
   D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **94**, 091803 (2005).

3. "Search for Excited and Exotic Electrons in the $e\gamma$ Decay Channel in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV",
   D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **94**, 101802 (2005).

4. "Measurement of the Lifetime Difference between B_s Mass Eigenstates",
   D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **94**, 101803 (2005).

5. "Measurement of Partial Widths and Search for Direct CP Violation in D^0 Meson Decays to K^-K^+ and $\pi^-\pi^+$",
   D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **94**, 122001 (2005).

6. "Measurement of Charged-Particle Multiplicities in Gluon and Quark Jets in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV",
   D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **94**, 171802 (2005).

7. "Measurement of the W^+W^- Production Cross Section in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV using Dilepton Events",
   D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **94**, 211801 (2005).

8. "Search for Anomalous Kinematics in $t\bar{t}$ Dilepton Events at CDF II",
   D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **95**, 022001 (2005).

9. "Measurement of the Cross Section for Prompt Diphoton Production in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV",
   D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **95**, 022003 (2005).

10. "Evidence for $B_s^0 \to \phi\phi$ Decay and Measurements of Branching Ratio and A_{CP} for $B^+ \to \phi K^+$",
    D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **95**, 031801 (2005).

11. "Search for Higgs Bosons Decaying into $b\bar{b}$ and Produced in Association with a Vector Boson in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV",
    D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **95**, 051801 (2005).

12. "Search for Long-Lived Doubly Charged Higgs Bosons in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV",
    D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **95**, 071801 (2005).

13. "Measurement of $\mathcal{B}(t \to Wb)/\mathcal{B}(t \to Wq)$ at the Collider Detector at Fermilab",
    D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **95**, 102002 (2005).

14. "Search for New Physics Using High-Mass Tau Pairs from 1.96 TeV $p\bar{p}$ Collisions",
    D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **95**, 131801 (2005).

15. "Search for $B_s^0 \to \mu^+\mu^-$ and $B_d^0 \to \mu^+\mu^-$ Decays in $p\bar{p}$ Collisions with CDF II",
    A. Abulencia *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **95**, 221805 (2005).

16. "Search for New High-Mass Particles Decaying to Lepton Pairs in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV",
    A. Abulencia *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **95**, 252001 (2005).

17. "Search for Neutral Higgs Bosons of the Minimal Supersymmetric Standard Model Decaying to τ Pairs in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV",
    A. Abulencia *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **96**, 011802 (2006).

18. "Precision Top-Quark Mass Measurement in the Lepton+Jets Topology in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV",
    A. Abulencia *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **96**, 022004 (2006).

19. "Search for electroweak single-top-quark production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV",
    D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 012005 (2005).

20. "Measurement of the W boson polarization in top decay at CDF at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV",
    D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 031101(R) (2005).

21. "Search for anomalous production of diphoton events with missing transverse energy at CDF and limits on gauge-mediated supersymmetry-breaking models",
    D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 031104(R) (2005).

22. "Measurement of the J/ψ meson and b-hadron production cross sections in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1960$ GeV",
D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 032001 (2005).

23. "Comparison of three-jet events in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV to predictions from a next-to-leading order QCD calculation",
D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 032002 (2005).

24. "Measurement of the moments of the hadronic invariant mass distribution in semileptonic B decays",
D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 051103(R) (2005).

25. "Measurement of the forward-backward charge asymmetry from $W \to e\nu$ production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV",
D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 051104(R) (2005).

26. "Measurement of the forward-backward charge asymmetry of electron-positron pairs in $\bar{p}p$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV",
D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 052002 (2005).

27. "Measurement of the $t\bar{t}$ production cross section in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV using lepton+jets events with secondary vertex b-tagging",
D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev.D **71**, 052003 (2005).

28. "Measurement of the $t\bar{t}$ production cross section in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV using kinematic fitting of b-tagged lepton+jet events",
D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 072005 (2005).

29. "Search for ZZ and ZW production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV",
D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 091105(R) (2005).

30. "Measurements of bottom-antibottom azimuthal production correlations in proton-antiproton collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV",
D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 092001 (2005).

31. "Search for scalar leptoquark pairs decaying to $\nu\bar{\nu}q\bar{q}$ in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV",
D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 112001 (2005).

32. "Study of jet shapes in inclusive jet production in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV",
D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **71**, 112002 (2005).

33. "Measurement of the $t\bar{t}$ production cross section in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV using lepton plus jets events with semileptonic B decays to muons",
D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **72**, 032002 (2005).

34. "Search for $\Lambda_b^0 \to p\pi$ and $\Lambda_b^0 \to pK$ decays in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV",
D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **72**, 051104(R) (2005).

35. "Search for first-generation scalar leptoquarks in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s}$ =1.96 TeV", D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **72**, 051107(R) (2005).

36. "K^0_S and Λ^0 production studies in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s}$ = 1800 and 630 GeV", D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **72**, 052001 (2005).

37. "Measurement of the cross section for $t\bar{t}$ production in $p\bar{p}$ collisions using the kinematics of lepton+jets events", D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **72**, 052003 (2005).

38. "Search for supersymmetric Higgs bosons in the di-tau decay mode in $p\bar{p}$ collisions at $\sqrt{s}$ = 1.8 TeV", D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **72**, 072004 (2005).

39. "Search for W and Z bosons in the reaction $\bar{p}p \to$ two jets+γ at $\sqrt{s}$ = 1.8 TeV", D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **73**, 012001 (2006).

40. "Measurement of the Azimuthal Angle Distribution of Leptons from W Boson Decays as a Function of the W Transverse Momentum in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s}$ = 1.8 TeV", D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, FERMILAB-PUB-05-063-E. Submitted to Phys. Rev. D April 1, 2005.

41. "Measurement of b Hadron Masses in Exclusive J/ψ Decays with the CDF Detector", D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, FERMILAB-PUB-05-316-E. Submitted to Phys. Rev. Lett. July 13, 2005.

42. "Measurements of Inclusive W and Z Cross Sections in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s}$ = 1.96 TeV", A. Abulencia *et al.*, The CDF Collaboration, FERMILAB-PUB-05-360-E. Submitted to Phys. Rev. D August 11, 2005.

43. "Measurement of the Ratios of Branching Fractions $\mathcal{B}(B^0_s \to D^-_s\pi^+)$ /$\mathcal{B}(B^0 \to D^-\pi^+)$ and $\mathcal{B}(B^+ \to \bar{D}^0\pi^+)$ /$\mathcal{B}(B^0 \to D^-\pi^+)$", A. Abulencia *et al.*, The CDF Collaboration, FERMILAB-PUB-05-415-E. Submitted to Phys. Rev. Lett. August 5, 2005.

44. "Direct Search for Dirac Magnetic Monopoles in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s}$ = 1.96 TeV", A. Abulencia *et al.*, The CDF Collaboration, FERMILAB-PUB-05-444-E. Submitted to Phys. Rev. Lett. September 13, 2005.

45. "A Search for $t \to \tau\nu q$ in $t\bar{t}$ Production", A. Abulencia *et al.*, The CDF Collaboration, FERMILAB-PUB-04-484-E. Submitted to Phys. Rev. Lett. October 24, 2005.

46. "Precision Top Quark Mass Measurement in the Lepton+Jets Topology in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s}$ = 1.96 TeV", A. Abulencia *et al.*, The CDF Collaboration, FERMILAB-PUB-05-474-E. Submitted to Phys. Rev. Lett. October 18, 2005.

47. "Search for Charged Higgs Bosons from Top Quark Decays in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s}$ = 1.96 TeV",
A. Abulencia *et al.*, The CDF Collaboration, FERMILAB-PUB-05-485-E. Submitted to Phys. Rev. Lett. October 24, 2005.

48. "Evidence for the Exclusive Decay $B_c^{\pm} \to J/\psi\pi^{\pm}$ and Measurement of the Mass of the $B_c^{\pm}$ Meson",
A. Abulencia *et al.*, The CDF Collaboration, FERMILAB-PUB-05-216-E. Submitted to Phys. Rev. Lett. November 14, 2005.

49. "Measurement of the Helicity of W Bosons in Top-Quark Decays",
A. Abulencia *et al.*, The CDF Collaboration, FERMILAB-CONF-05-504-E. Submitted to Phys. Rev. Lett. November 9, 2005.

50. "Measurement of the Top Quark Mass with the Dynamical Likelihood Method using Lepton plus Jets Events with b-tags in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s}$ = 1.96 TeV",
A. Abulencia *et al.*, The CDF Collaboration, FERMILAB-PUB-05-533-E. Submitted to Phys. Rev. D December 5, 2005.

51. "Measurement of the Inclusive Jet Cross Section in $p\bar{p}$ Interactions at $\sqrt{s}$ = 1.96 TeV Using a Cone-based Jet Algorithm",
A. Abulencia *et al.*, The CDF Collaboration, FERMILAB-PUB-05-559-E. Submitted to Phys. Rev. Lett. December 8, 2005.

52. "Measurement of $\sigma_{\Lambda_b^0}/\sigma_{\bar{B}^0} \times \mathcal{B}(\Lambda_b^0 \to \Lambda_c^+\pi^-)\ /\mathcal{B}(\bar{B}^0 \to D^+\pi^-)$ in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s}$ = 1.96 TeV",
A. Abulencia *et al.*, The CDF Collaboration, FERMILAB-PUB-05-574-E. Submitted to Phys. Rev. Lett. December 12, 2005.

53. "Measurement of the Dipion Mass Spectrum in $X(3872) \to J/\psi\pi^+\pi^-$ Decays",
A. Abulencia *et al.*, The CDF Collaboration, FERMILAB-PUB-05-535-E. Submitted to Phys. Rev. Lett. December 16, 2005.

54. "Search for Second-Generation Scalar Leptoquarks in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s}$ = 1.96 TeV",
A. Abulencia *et al.*, The CDF Collaboration, FERMILAB-PUB-05-546-E. Submitted to Phys. Rev. D December 16, 2005.

55. "Search for $H \to b\bar{b}$ Produced in Association with W Bosons in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s}$ = 1.96 TeV",
A. Abulencia *et al.*, The CDF Collaboration, FERMILAB-PUB-05-549-E. Submitted to Phys. Rev. Lett. December 19, 2005.

56. "Top Quark Mass Measurement from Dilepton Events at CDF II",
A. Abulencia *et al.*, The CDF Collaboration, FERMILAB-PUB-05-551-E. Submitted to Phys. Rev. Lett. December 22, 2005.

57. "Measurement of the Inclusive Jet Cross Section using the k_T Algorithm in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV",
A. Abulencia *et al.*, The CDF Collaboration, FERMILAB-PUB-05-555-E. Submitted to Phys. Rev. Lett. December 22, 2005.

58. "Search for Anomalous Semileptonic Decay of Heavy Flavor Hadrons Produced in Association with a W Boson at CDF II",
A. Abulencia *et al.*, The CDF Collaboration, FERMILAB-PUB-05-560-E. Submitted to Phys. Rev. D (RC) December 22, 2005.

59. "Measurement of Mass and Width of the Excited Charmed Meson States D_1^0 and D_2^{*0} at CDF",
A. Abulencia *et al.*, The CDF Collaboration, FERMILAB-PUB-05-552-E. Submitted to Phys. Rev. D (RC) December 26, 2005.

60. "A Search for Scalar Bottom Quarks from Gluino Decays in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV",
A. Abulencia *et al.*, The CDF Collaboration, FERMILAB-PUB-05-553-E. Submitted to Phys. Rev. Lett. December 28, 2005.

61. "The Level-3 Trigger at the CDF Experiment at Tevatron Run II",
Y. S. Chung *et al.*, IEEE Trans. Nucl. Sci. **52**, 1212–1216 (2005).

62. "Beam tests of ATLAS SCT silicon strip detector modules",
F. Campabadal *et al.*, Nucl. Inst. Meth. A **538**, 384–407 (2005).

63. "Beam splash effects on ATLAS silicon microstrip detectors evaluated using 1-w Nd:YAG laser",
K. Hara *et al.*, Nucl. Inst. Meth. A **541**, 15–20 (2005).

64. "Test of ATLAS SCT barrel modules with Nd:YAG laser",
K. Hara *et al.*, Nucl. Inst. Meth. A **541**, 122–129 (2005).

65. "Design and development of a work robot to place ATLAS SCT modules onto barrel cylinders",
S. Terada *et al.*, Nucl. Inst. Meth. A **541**, 144–149 (2005).

66. "Application of Cu-polyimide flex circuit and Al-on-glass pitch adapter for the ATLAS SCT barrel hybrid",
Y. Unno *et al.*, Nucl. Inst. Meth. A **541**, 286–294 (2005).

67. "Study of Cascade Shower Fluctuation with a Tile/Fiber Sampling Calorimeter",
N. Nakajima *et al.*, Journal of the Physical Society of Japan **74**, 2716–2727 (2005).

68. "Beam test of a prototype fine-granularity scintillator tile EM calorimeter",
A. L. C. Sanchez *et al.*, Nucl. Inst. Meth. A **546**, 535–543 (2005).

69. "Fine-granularity electromagnetic calorimeter using plastic scintillator strip-array",
A. Nagano *et al.*, Nucl. Inst. Meth. A **557**, 460–478 (2006).

70. “Design and performance of the ABCD3TA ASIC for readout of silicon strip detectors in the ATLAS semiconductor tracker”,
F. Campabadal, K. Hara *et al.*, Nucl. Instrum. Methods **A552**, 292-328 (2005).

(2) 学会・研究会での講演 (国内)

1. 佐藤 構二：Top Quark Mass Measurement in CDF Run II,
KEK Physics Seminar, KEK, Tsukuba, August 23, 2005.

2. 中村 雄一：LHC 加速器 ATLAS 実験用 SCT シリコン飛跡検出器に関する基礎研究,
日本物理学会 2005 年秋期大会 (2005 年 9 月 12 ~ 15 日), 大阪市立大学杉本キャンパス.

3. 丸山 和純：CDF 実験の最新結果 (招待講演),
日本物理学会 2005 年秋期大会 (2005 年 9 月 12 ~ 15 日), 大阪市立大学杉本キャンパス.

4. 中村 浩二：LHC 加速器 ATLAS 実験における , τ レプトン対に崩壊するヒッグス粒子の探索に関するシミュレーション,
日本物理学会 2005 年秋期大会 (2005 年 9 月 12 ~ 15 日), 大阪市立大学杉本キャンパス.

5. 佐藤 構二：CDF 実験におけるトップ・クォーク質量の測定,
日本物理学会 2005 年秋期大会 (2005 年 9 月 12 ~ 15 日), 大阪市立大学杉本キャンパス.

6. 山口 佳博：ILC カロリメータの設計研究,
日本物理学会 2005 年秋期大会 (2005 年 9 月 12 ~ 15 日), 大阪市立大学杉本キャンパス.

7. 木村 直樹：CDFII 実験, TOF 測定器に用いられるファインメッシュ型光電子増倍管の性能評価 VI,
日本物理学会 2005 年秋期大会 (2005 年 9 月 12 ~ 15 日), 大阪市立大学杉本キャンパス.

8. 山田 佳範 : CDF RunII 実験用 CPR 検出器に用いるマルチアノード光電子増倍管の特性研究,
日本物理学会 2005 年秋期大会 (2005 年 9 月 12 ~ 15 日), 大阪市立大学杉本キャンパス.

9. 佐藤 構二：CDF 実験の最新結果 (招待講演),
日本物理学会第 61 回年次大会 (2006 年 3 月 27 ~ 30 日), 愛媛大学・松山大学.

10. 中村 浩二：ATLAS 実験 Combined Testbeam 2004 における SCT 検出器の評価,
日本物理学会第 61 回年次大会 (2006 年 3 月 27 ~ 30 日), 愛媛大学・松山大学.

11. 秋元 崇：CDF 実験による第三世代レプトクォークの探索,
日本物理学会第 61 回年次大会 (2006 年 3 月 27 ~ 30 日), 愛媛大学・松山大学.

12. 井上 孝紀：SLHC・ATLAS 実験用 SCT シリコン飛跡検出器増強の研究,
日本物理学会第 61 回年次大会（2006 年 3 月 27 ~ 30 日），愛媛大学・松山大学.

13. 魚住 聖：CDF Run2 におけるセミレプトニック崩壊を用いた B 中間子の寿命測定,
日本物理学会第 61 回年次大会（2006 年 3 月 27 ~ 30 日），愛媛大学・松山大学.

14. 青木 雅人：CDF Run2 における Bc 中間子の研究,
日本物理学会第 61 回年次大会（2006 年 3 月 27 ~ 30 日），愛媛大学・松山大学.

(3) 国際会議・研究会での講演

1. Yuji Takeuchi, "Top Quark Cross Section and Spin Correlations",
Top Quark Symposium, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, April 7–8, 2005

2. Takashi Akimoto, "Search for Scalar and Vector Third Generation Leptoquarks with one τ Decaying to an Electron",
APS April Meeting 2005, Tampa, Florida, April 16–19, 2005.

3. Masato Aoki, "$B_c \to J/\psi + e^{\pm}$ decays at CDF",
APS April Meeting 2005, Tampa, Florida, April 16–19, 2005.

4. Yoshio Ishizawa, "Search for a New Particle $X(\to b\bar{b})$ Production in Association with a $W^{\pm}$ Boson at the Tevatron",
APS April Meeting 2005, Tampa, Florida, April 16–19, 2005.

5. Tomonobu Tomura, "Top Mass at the Tevatron",
Hadron Collider Physics Symposium 2005, Les Diablerets, Switzerland, July 4–9, 2005.

6. Kazuhiko Hara, "Wafer availability in Japan",
ATLAS Tracker Upgrade Workshop, Genova, Italy, July 18–20, 2005.

7. Yoshihiro Yamaguchi, "Study of Calorimeter performance using the LC full simulator",
The 8th ACFA Workshop on Physics and Detector at the Linear Collider, Daegu, Korea, July 11–14, 2005.

8. Koji Sato, "Top Mass Measurement at the Tevatron",
HEP2005 Europhysics Conference, Lisbon, Portugal, July 21–27, 2005.

9. Hiroyuki Matsunaga, "R&D Status of the GLD ECAL and Photon Sensors",
2005 International Linear Collider Physics and Detector Workshop, Snowmass, Colorado, August 14–27, 2005.

10. Hiroyuki Matsunaga, "Electronics for GLD Calorimeter",
2005 International Linear Collider Physics and Detector Workshop, Snowmass, Colorado, August 14–27, 2005.

11. Hiroyuki Matsunaga, “Status of Grid Computing for ILC”,
HEP Data Grid Workshop 2005, KEK, Tsukuba, November 21–22, 2005.

12. Hiroyuki Matsunaga, “CDF Distributed Computing”,
HEP Data Grid Workshop 2005, KEK, Tsukuba, November 21–22, 2005.

13. Takasumi Maruyama, “Current Results and Future Prospects of Tevatron”,
Ninth Workshop on High on High Energy Physics Phenomenology (WHEPP 9), Bhubaneswar, India, January 3–14, 2006.

14. Yuji Takeuchi, “Recent Results from Tevatron”, KEK Theory Meeting on Particle Physics Phoenomenology (KEKPH 2006), March 2–4, 2006.

15. Takasumi Maruyama, “Higgs searches and top properties at CDF”,
Fourth Workshop on Mass Origin and Supersymmetry Physics, Tsukuba, Japan, March 6–8, 2006.

16. Fumihiko Ukegawa, “B physics at CDF”,
Fourth Workshop on Mass Origin and Supersymmetry Physics, Tsukuba, Japan, March 6–8, 2006.

(4) 会議・研究会報告書

1. “Simulation Study of Scintillator-based Calorimeter”,
H. Matsunaga, A. Nagano, S. Yamauchi, S. Kim, M. C. Chang, Proc. of 2005 International Linear Collider Workshop, Stanford, California, 1022, March 18–22, 2005.

2. “R&D Status of the GLD ECAL and Photon Sensors”,
H. Matsunaga, Proc. of 2005 International Linear Collider Physics and Detector Workshop, Snowmass, Colorado, ALCPG0721, August 14–27, 2005.

3. “Electronics for GLD Calorimeter”,
H. Matsunaga, Proc. of 2005 International Linear Collider Physics and Detector Workshop, Snowmass, Colorado, ALCPG1714, August 14–27, 2005.

(5) 学位論文

博士論文

1. 魚住 聖：Measurement of the B meson Lifetimes with the Collider Detector at Fermilab（CDF 実験での B 中間子の寿命測定），
Graduate School of Pure and Applied Sciences, University of Tsukuba , July 2005.

2. 石澤 善雄：Search for Higgs Boson Production in Association with the W Boson in 1.96-TeV Proton-Antiproton Collisions（陽子・反陽子衝突における W ボソン随伴生成でのヒッグス粒子の探索），

Graduate School of Pure and Applied Sciences, University of Tsukuba , September 2005.

3. 青木 雅人：Measurement of the B_c Meson Lifetime with the Collider Detector at Fermilab（CDF 実験での B_c 中間子の寿命測定）,
Graduate School of Pure and Applied Sciences, University of Tsukuba , February 2006.

修士論文

1. 中村 浩二：ATLAS 総合テストビームによる飛跡検出器の性能評価とτ レプトン対に崩壊する Higgs 探索のシミュレーション,
筑波大学数理物質科学研究科，2006 年 2 月．
2. 中村 雄一：ATLAS 実験 SCT バレルモジュールに用いられるシリコンセンサーの IV 長期安定性の研究,
筑波大学数理物質科学研究科，2006 年 2 月．
3. 山口 佳博：リニアコライダー実験用カロリメータの設計研究,
筑波大学数理物質科学研究科，2006 年 2 月．

卒業論文

1. 松山 佳代：CDF RUN II データを用いた $Z \to \mu\mu$ 事象選別の研究，
筑波大学第一学群自然学類，2006 年 2 月．
2. 皆川 恵理子：CDF 実験粒子飛行時間測定器及びプラグ部カロリメータに用いられる光電子増倍管の長期安定性の研究，
筑波大学第一学群自然学類，2005 年 6 月．
3. 宗像 孝光：SLHC 加速器用高耐放射性シリコン検出器の開発，
筑波大学第一学群自然学類，2006 年 2 月．
4. 望月 亜衣：ATLAS 実験 Serial powering 直列電源供給方式での Shunt regulator の動作テスト，
筑波大学第一学群自然学類，2006 年 2 月．

(6) 国際会議の主催

1. 科学研究費特定領域「質量起源と超対称性物理の研究」 第 4 回研究会
Fourth Workshop on Mass Origin and Supersymmetry Physics,
つくば国際会議場エポカル，2006 年 3 月 6 – 8 日．

(7) 研究会の主催

1. CDF 実験日本グループ研究会
筑波大学物理学系，2005 年 12 月 17 – 18 日．

【構成員の異動】

1. 2005 年 5 月に武内勇司が講師として着任．
2. 2005 年 10 月に魚住聖が研究科特別研究員として着任．