II．素粒子実験グループ

教　授	滝川 紘治，金　信弘
助教授	受川 史彦
講　師	原　和彦，丸山 和純
助　手	戸村 友宣
準研究員	武内 勇司
科研費研究員	松永 浩之
大学院生	20 名
学群 4 年次生	2 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 $\mathcal{L} = 1.3 \times 10^{32}$ cm^{-2} s^{-1} が達成されており，設計値 0.8×10^{32} cm^{-2} 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 20 pb^{-1} を超え， 全積分ルミノシティは 1000 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 800 pb^{-1} である．図 1(下) には暦年毎の積分ルミノシティを示す．時間の経過とともに加速器の性能が向上していることが見てとれる．Run II 実験は，2009 年まで継続され，近い将来に約 2 fb^{-1}，最終的には 5 - 9 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．

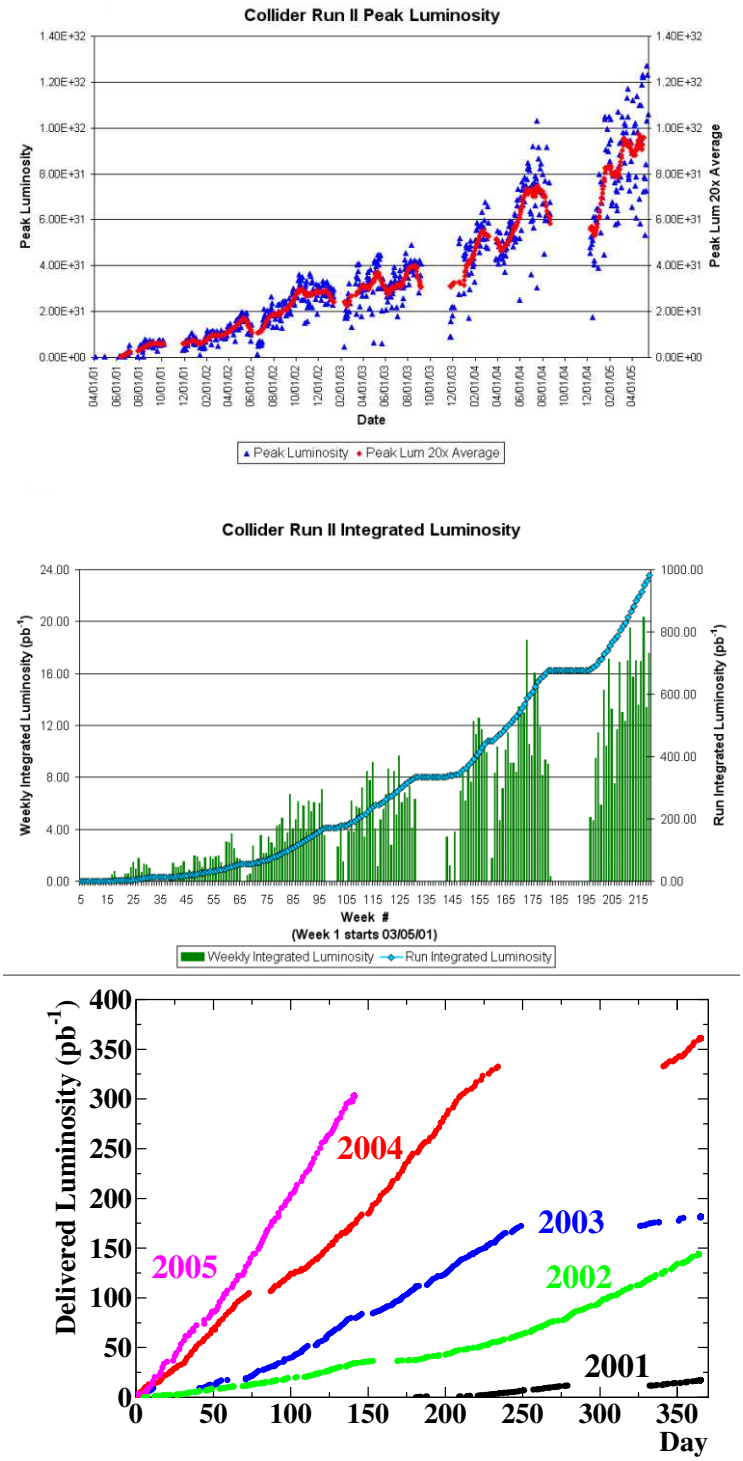

図 1: Run II 実験でのテバトロン加速器の性能．上：瞬間ルミノシティ．中：一週間毎および全積分ルミノシティ．下：暦年毎の積分ルミノシティ．

(1)　Run II 実験データの物理解析

(a)　トップクォークの物理

トップクォークは，1995 年の CDF 実験による発見以来，Run I 実験において数十の崩壊事象が再構成され，その性質に関する種々の測定がなされてきた．ただし，それらの測定はすべて比較的少ない事象数のため統計的に制限されていた．現在，CDF 実験トップクォーク物理解析のグループでは，Run II 実験において 2004 年度夏までに収集されたデータを使った解析が行なわれている．データ量は，Run I の約 3 倍に達し，いくつかの測定において Run I を上回る精度の測定結果を得ている．

特に，2005 年 3 月に Run II のデータを用いて，トップクォーク対が一つのレプトンと 4 つのジェットを含む終状態に崩壊するチャンネルにおいて行なわれたトップクォークの質量測定では，

$$M_{\rm top} = 173.5^{+2.7}_{-2.6}({\rm stat}) \pm 3.0({\rm syst})\ {\rm GeV}/c^2$$

という結果が得られた．この測定は，これまでの Run I で CDF および D0 実験により得られた結果を合わせた世界平均 $M_{\rm top} = 178.0 \pm 4.3\ {\rm GeV}/c^2$ を上回る測定精度を与え，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，佐藤，金，丸山，戸村が参加しており，主要な役割を果たしている．

図 2 は，この解析によって得られた 138 候補のレプトン + 4 ジェットチャンネルの事象を用いて再構成されたトップクォークの質量分布を表している．

また，W ボソンの質量 (M_W) は，輻射補正によって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ができる．図 3 は，M_W と，今回のトップクォーク質量解析の結果を用いた M_H の間接測定の結果を示す．図 3 (左) は，M_t と M_W の関係を M_H の関数として表したものであり，図 3 (右) は，M_t，M_W の測定値が M_H 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の予測値として $M_{\rm Higgs} = 94^{+54}_{-35}\ {\rm GeV}/c^2$ を得た．

また，このトップクォークの質量測定の結果報告は，2005 年 4 月 21 日に米国フェルミ研究所のインターネットニュース「Fermilab Today」2005 年 5 月 19 日に高エネルギー加速器研究機構のインターネットニュース「news@KEK」に掲載された [1]．

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，2004 年 11 月から丸山が，CDF 実験のトップグループの世話人を務め，トップグループ全体をまとめ，トップクォークの物理解析全般に渡る大きな貢献をしている．

現在進行中の解析として武内，金がトップクォーク対が終状態に 2 個のレプトンを含むダイレプトンチャンネルを用いて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，石澤が，レプトン +4 ジェットチャンネルを用いたトップクォーク対生成断面積の測定においてバックグラウンド事象の評価，武内がダイレプトンチャンネルを用いたトップクォーク対生成断面積の測定において系統誤差の評価に貢献している．

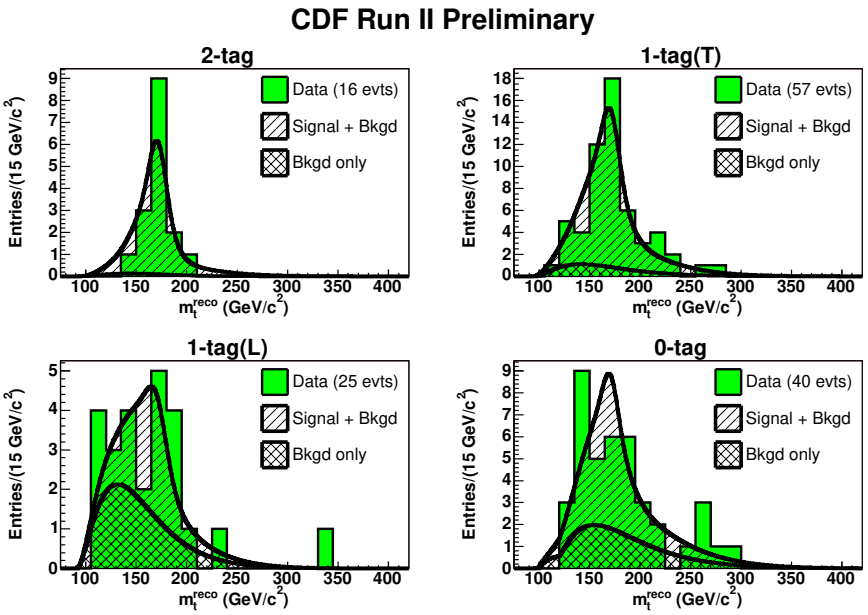

図 2: レプトン + ジェット・チャンネルでの再構成されたトップクォークの質量分布．4 つの図は、それぞれ異なるレプトン+4 ジェット事象のサンプルで，ボトムクォークジェットと同定されたジェットの数が 2 (左上)，1 (右上)，0 (右下)，1 でジェットのエネルギーが低い (左下) ものに分けられている．ヒストグラムは，CDF の実験データを示し，曲線はシミュレーションで求められたトップクォーク対生成事象とバックグラウンド事象の質量分布を表す．積分ビーム輝度は，318 pb^{-1} ．

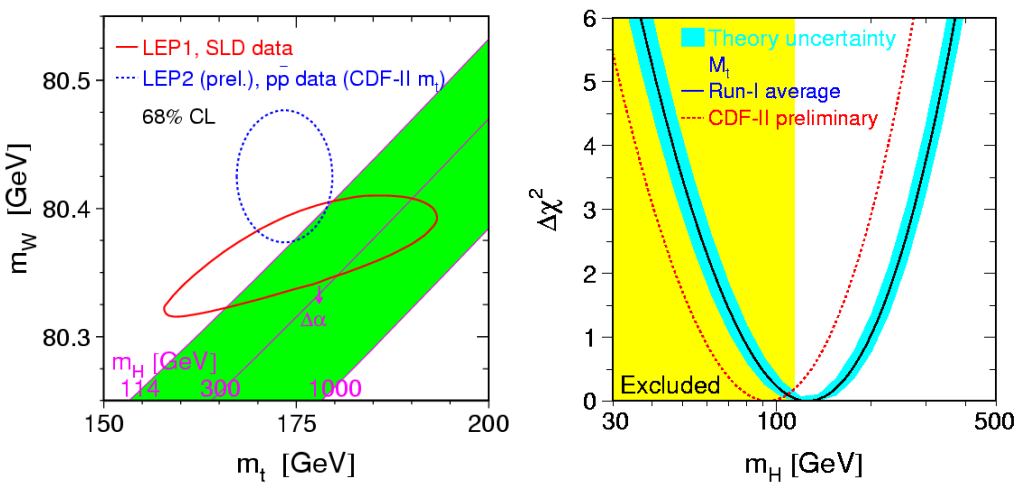

図 3: 左：W ボソンの質量の測定値，および今回の CDF Run II でのトップクォーク質量の測定値の信頼区間 68%の領域 (点線)．図中の斜めの帯は，あるヒッグス粒子の質量を仮定したときの W ボソンの質量とトップクォークの質量の関係を表しており，ヒッグス粒子の質量に対する制限を与える．右：M_t，M_W の測定値および仮定された M_H の値を使ったフィットの χ^2 の最小値からのずれをヒッグス粒子の質量の関数として表したもの．

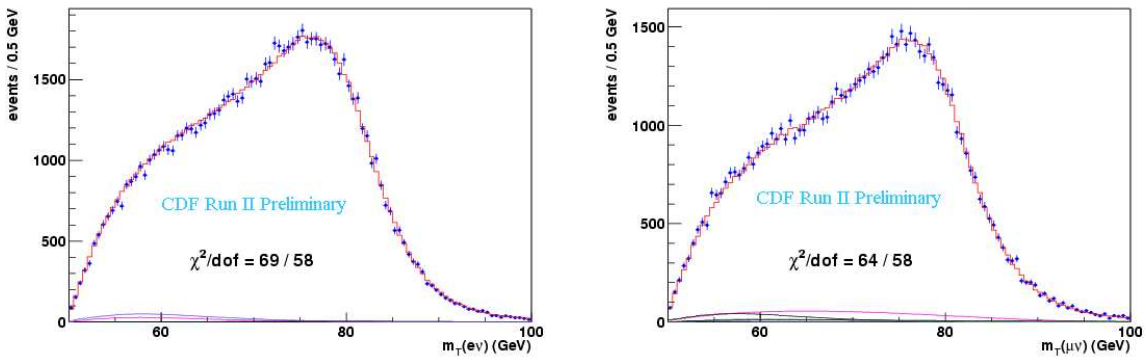

図 4: $W^+ \to e^+\nu$ および $\to \mu^+\nu$ 候補事象の横方向質量分布．

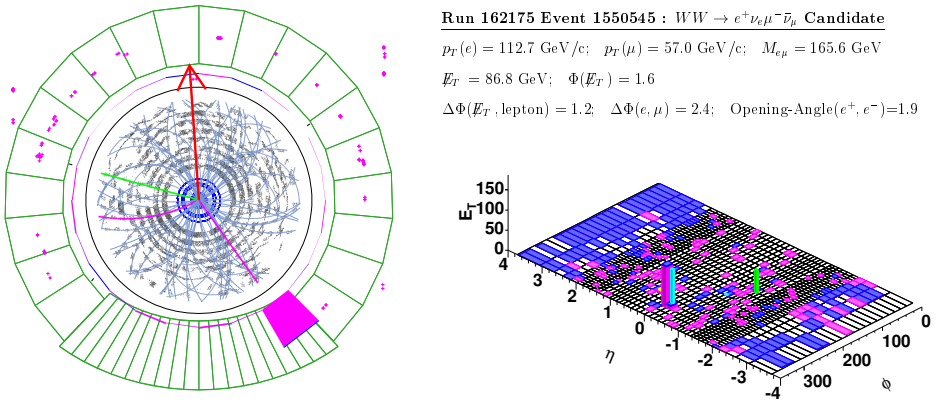

図 5: $p\bar{p} \to W^+W^-X \to e\mu\nu\bar{\nu}X$ 候補事象の例.

(b) 電弱相互作用の物理

ゲージボソン $W^\pm$ および Z^0 の単一生成を用いて，生成断面積，W ボソンの全崩壊幅，$W \to \ell\nu$ 事象の荷電非対称度，$Z^0 \to \ell^+\ell^-$ 事象の前後方非対称度などの測定がなされた．

また，W ボソンの質量の精密測定が現在進行中である．図 4 に，200 pb^{-1} のデータの $W \to \ell\nu$ 事象の横方向質量分布を示す．質量測定の中心値は近い将来に公表される予定であるが，その精度はすでに 76 MeV/c^2 と決定されている．今後 2 fb^{-1} のデータを用いることにより，精度は 30 MeV/c^2 程度まで向上すると期待される．崩壊幅は 30 MeV/c^2 の精度で測定される．特に W ボソンの質量を前述のトップクォークの質量の測定と組み合わせることにより，標準模型のヒッグス粒子を仮定した場合にその質量を約 30%の精度で間接的に測定することができる．

電弱相互作用のもう一つの研究対象に，ゲージボソンの対生成がある．電弱統一理論は非可換ゲージ理論であり，$W^+W^-Z^0$ や $W^+W^-\gamma$ などのゲージボソン同士の結合が存在する．W ボソンの対生成が観測され(図 5)，生成断面積が $\sigma(\bar{p}p \to W^+W^-X) = 14.6\,^{+5.8}_{-5.1}\,^{+1.8}_{-3.0} \pm 0.9$ pb と測定された．これは，理論の予言値 12.5 ± 0.8 pb とよく一致している．また，W ボソンと光子の対生成が，光子の運動量 7 GeV/c 以上の領域で研究された．候補事象の数は，$W \to e\nu$ $(\mu\nu)$ 崩壊モードにおいて 195 (128) である．生成断面積は，$\sigma(p\bar{p} \to W\gamma) \cdot \mathcal{B}(W \to$

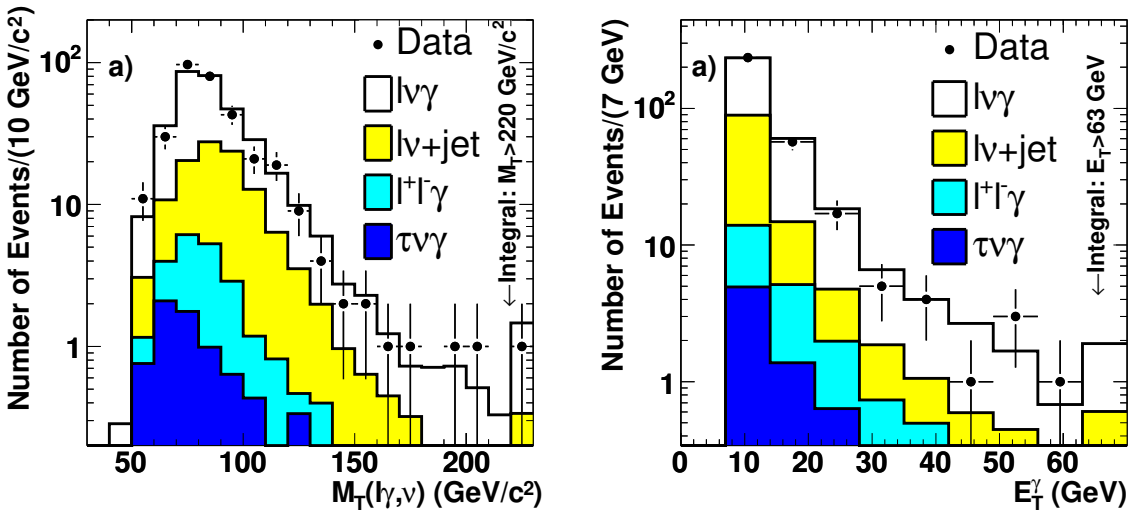

図 6: $W\gamma$ 対生成候補事象における 3 体系 (レプトン-ν-光子) の横方向質量分布 (左) , および光子の横方向エネルギーの分布 (右) .

$\ell\nu) = 18.1 \pm 3.1$ pb であり , 理論値 19.3 ± 1.4 pb とよく一致する . これらの事象における ℓ-ν-γ3 体系の横方向質量の分布と , 光子の横エネルギー分布を図 6 に示す . これらの測定は , $W^+W^-\gamma$ 結合や W ボソンの異常磁気能率に対する制限を与える . さらには , 光子の角分布での輻射振幅零点の測定を行い , ゲージ粒子自己結合のより直接的な検証を行う .

(c) 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 . これらの事象を用いて , B^- および $\bar{B}^0$ 中間子の寿命を測定した . 図 7 に D 中間子信号および B 中間子の固有崩壊長の分布を示す . 寿命の値は

$$\begin{aligned} \tau(B^-) &= 1.653 \pm 0.029\,^{+0.033}_{-0.031}\ \text{ps} \\ \tau(\bar{B}^0) &= 1.473 \pm 0.036 \pm 0.054\ \text{ps} \\ \tau(B^-)/\tau(\bar{B}^0) &= 1.123 \pm 0.040\,^{+0.041}_{-0.039} \end{aligned}$$

である . 同様の崩壊 $\bar{B}^0_s \to \ell^-\bar{\nu}D^+_sX$ を用いた $\bar{B}^0_s$ 中間子の寿命の測定も進行中である .

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 . その信号の一例を図 8 に示す . 図左は , B^0_d/B^0_s 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 , 生成率と分岐比の積の比を

$$\frac{f_{b\to B^0_s}}{f_{b\to B^0_d}} \frac{\mathcal{B}(B^0_s \to K^+K^-)}{\mathcal{B}(B^0_d \to K^+\pi^-)} = 0.48 \pm 0.12 \pm 0.07$$

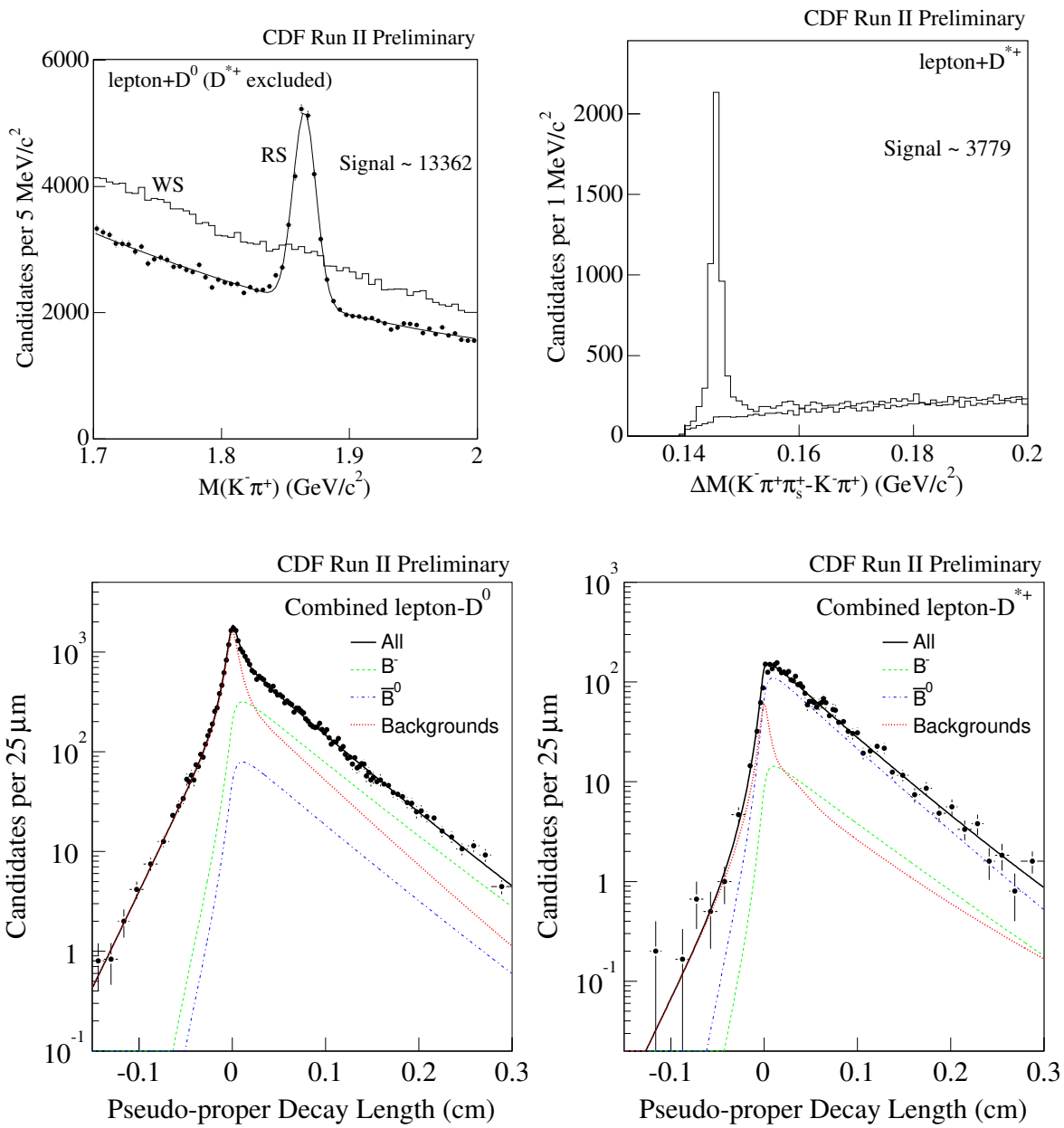

図 7: 上：部分再構成された B 中間子の信号 $\bar{B} \to \ell^- \bar{\nu} D^0$ および $\bar{B} \to \ell^- \bar{\nu} D^{*+}$．下：これらの固有崩壊長の分布および寿命の測定．

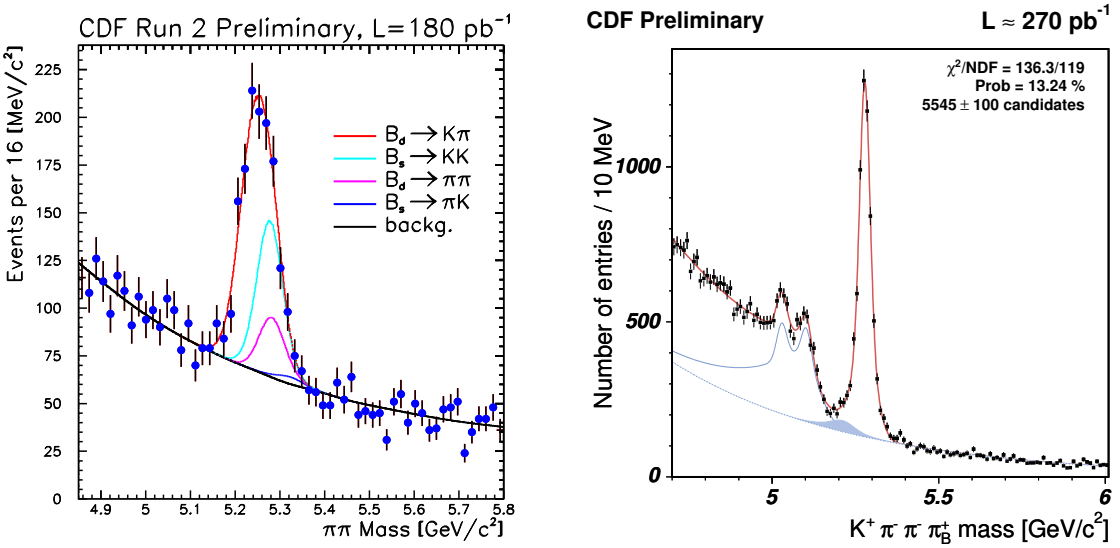

図 8: SVT を用いて収集したデータ中に再構成された B 中間子の信号の例．左：$B^0_d/B^0_s \to h^+h'^-$ $(h = \pi \text{ or } K)$，右：$\bar{B}^0_d \to D^+\pi^-$，$D^+ \to K^-\pi^+\pi^+$．

と決定した．また，$B^0_d \to K^+\pi^-$ 崩壊における CP 非対称度も $A_{\rm CP} = -0.04 \pm 0.08 \pm 0.01$ と測定されている．これらは，$B^0_d \to \pi^+\pi^-$ および $B^0_s \to K^+K^-$ 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 $B^0 \to \phi K^0_S$ に対応する荷電 B 中間子の崩壊 $B^\pm \to \phi K^\pm$ も観測され，CP 非対称度 $A_{\rm CP} = -0.07 \pm 0.17\,^{+0.06}_{-0.05}$ を測定した．

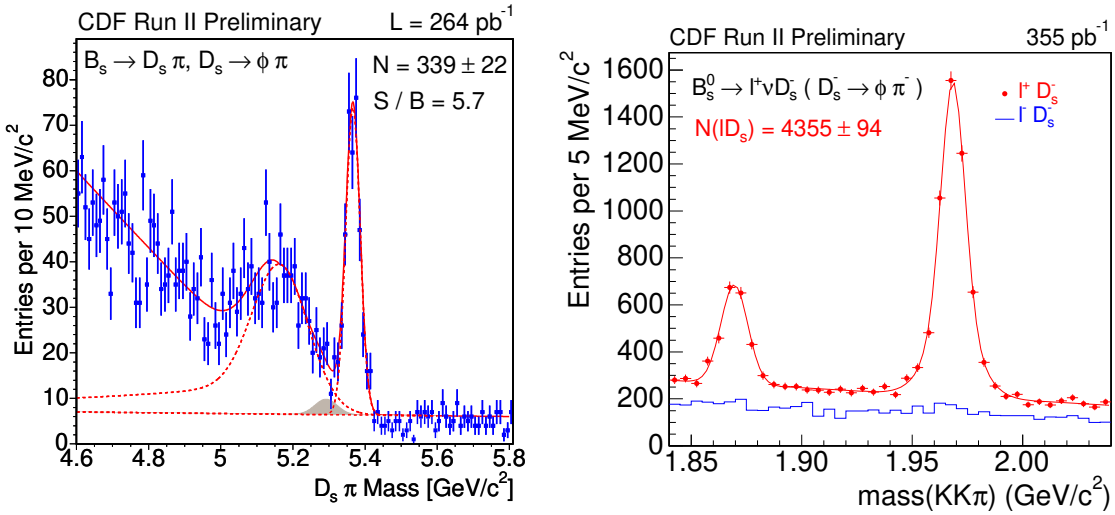

図 9: B^0_s 中間子の信号．左：$\bar{B}^0_s \to D^+_s\pi^-$，$D^+_s \to \phi\pi^+$，右：$\bar{B}^0_s \to \ell^-\bar{\nu}D^+_s X$，$D^+_s \to \phi\pi^+$．

CDF Run IIa 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^0_s の粒子・反粒子振動の観測である．B^0_d 中間子の対応する振動数 Δm_d との比を取ることにより，小林・益川行列のユニタリ三角形の一辺の長さ $|V_{ts}/V_{td}|$ を精度よく決定できる．ここではは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

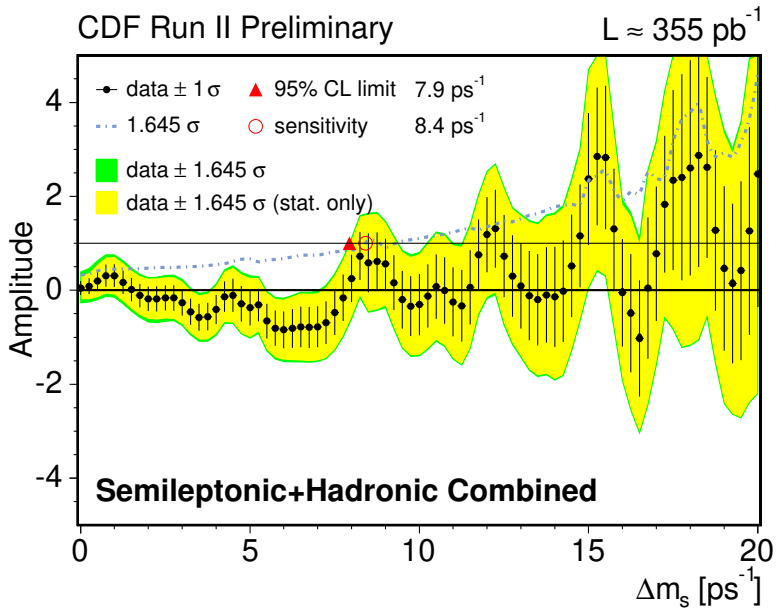

図 10: $B_s^0\bar{B}_s^0$ 振動の探索．

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 9 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）．これらの事象を用いて，振動のフーリエ振幅解析を行なったものが，図 10 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．これより，振動数に対する下限

$$\Delta m_s > 7.9 \text{ ps}^{-1} \quad (95\% \text{ CL})$$

を得た．今後のデータ量の増加および解析法の改良により，振動数 Δm_s が標準模型で期待される 18 ps^{-1} 程度であるなら有意な振動現象として観測され，振動数 Δm_s は数%の精度で測定される．

レプトンをトリガーとする 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 11 に示す．μ 粒子の運動量閾値が $2.2 \text{ GeV}/c$ から $1.5 \text{ GeV}/c$ 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 $\mathcal{B}(B_d^0 \to \mu^+\mu^-) < 4.9\times10^{-8}$ および $\mathcal{B}(B_s^0 \to \mu^+\mu^-) < 2.0\times10^{-7}$（ともに確度 95%）を得ている．また，$B_s^0 \to J/\psi\,\phi$ 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．

(d) 強い相互作用・量子色力学の研究

新たな重心系エネルギー 1.96 TeV において，ジェットの生成断面積，ジェット対の不変質量分布，単一光子生成，$W^\pm/Z^0$ ボゾン生成，ボトムやチャームなどの重いクォークの生成，

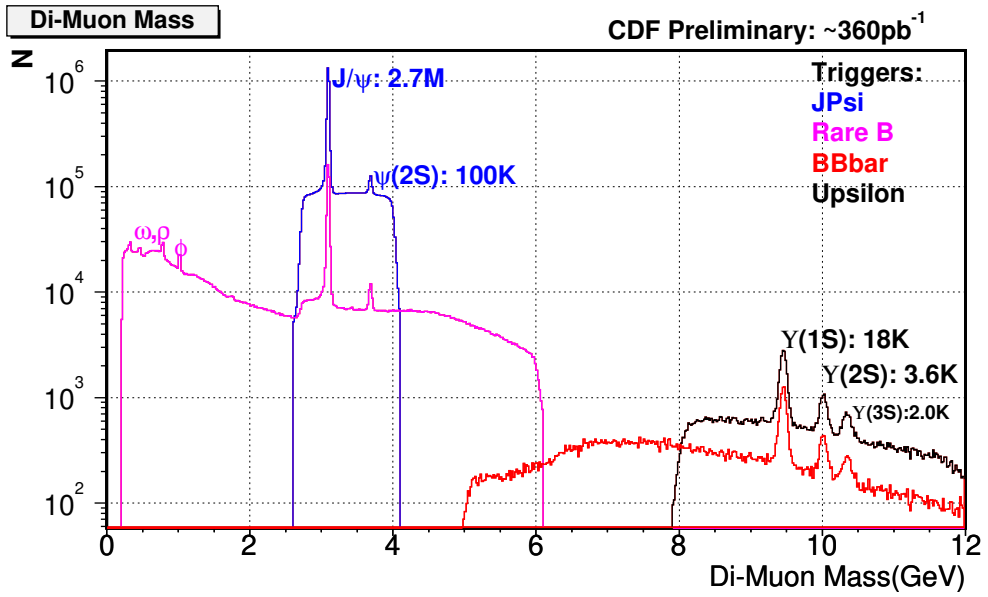

図 11: 低運動量の $\mu^+\mu^-$ 粒子対の不変質量分布．J/ψ 粒子や Υ 粒子が高統計で再構成されている．

重いクォークとその反粒子の束縛状態クォークオニウムの生成などの測定を，運動学的変数のより広範囲において高統計で行い，量子色力学の摂動論的計算の精密な検証が可能となった．また強い相互作用の結合定数 α_s やパートン分布関数のより高い精度での決定も CDF Run II 実験の重要な目標である．

クォークオニウムのひとつである J/ψ 粒子の直接生成について，CDF Run I 実験での測定は理論予言を 50 倍も上回る値を観測した．前述のようにトリガーの $\mu^\pm$ 粒子に対する運動量閾値が下げられたため，J/ψ 粒子の横運動量 $p_T^{J\psi}$ について 0 までの領域がすべて有感となった．$p_T^{J/\psi}$ について積分すると $\sigma(\bar{p}p \to J/\psi X) = 240 \pm 1\,^{+35}_{-28}$ nb を得る．この閾値の変更は，J/ψ 生成時の偏極度の測定においても系統誤差の減少につながる．さらに，シリコン検出器を用いた J/ψ 粒子の崩壊点の測定により，B 粒子をその起源をする成分を統計的に分離し測定した．これを用いて，B 粒子の生成断面積をはじめて $p_T = 0$ の領域まで測定した．この量は，b クォークの生成断面積と同一となり，$\sigma(\bar{p}p \to bX;\, p_T^b > 0,\, |y^b| < 0.6) = 29.4 \pm 0.6 \pm 6.2$ μb が求められた．理論値は $23.5\,^{+11.6}_{-7.6}$ μb であり，p_T が数 GeV/c 以上の領域におけるこれまでの測定結果の場合よりはるかによい一致を見た．

(e) 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を図 12 に，またその崩壊分岐比を図 13 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大きいが，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

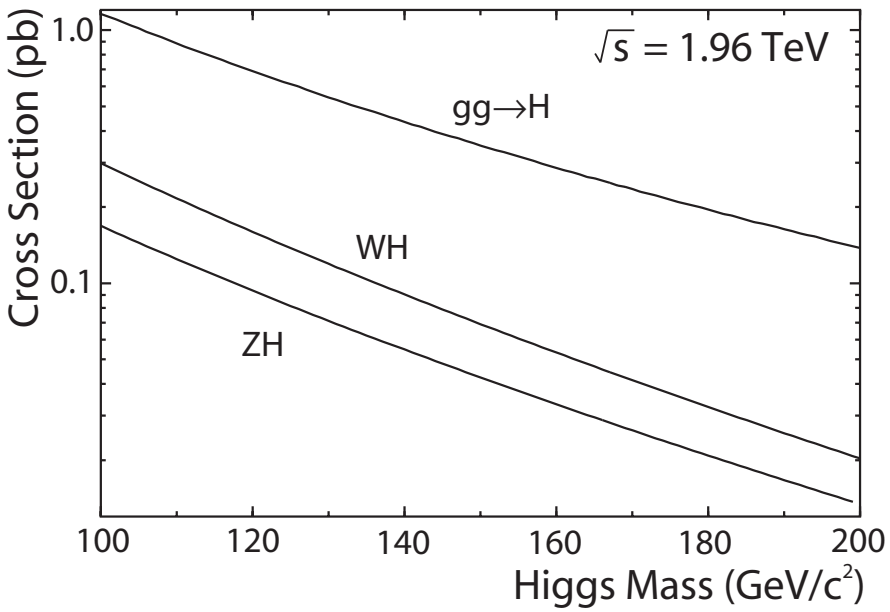

図 12: テバトロンでの標準模型ヒッグス粒子の生成断面積をヒッグス粒子の質量の関数として表したもの．異なる素過程の寄与を別々に示してある．

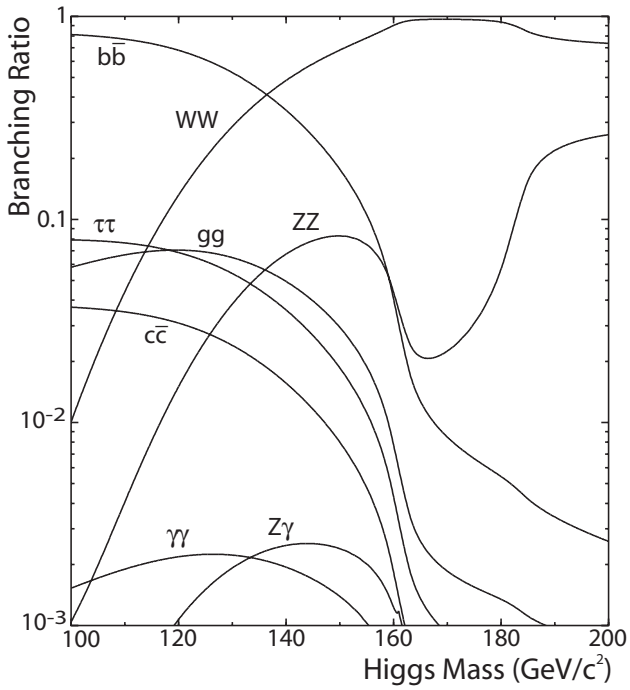

図 13: 標準模型ヒッグス粒子の崩壊分岐比をヒッグス粒子の質量の関数として表したもの．

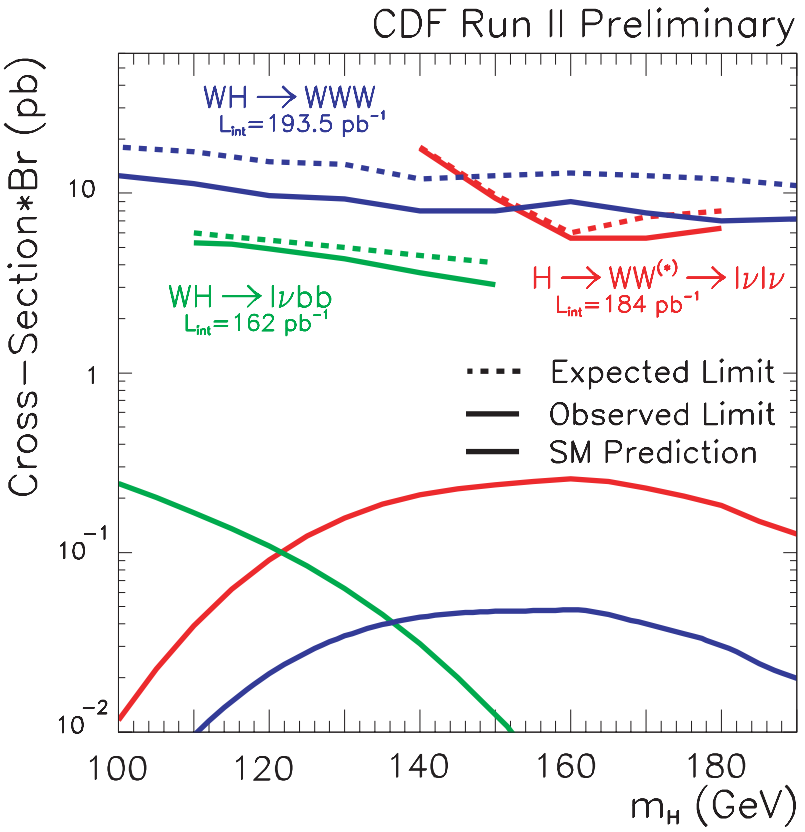

図 14: 標準模型ヒッグス粒子探索の結果．

プトン (電子あるいは μ 粒子) , 損失運動量 , $b\bar{b}$ 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 .

中間質量領域 (140 GeV/c^2 程度) では , $H \to WW^{(*)}$ 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 ボソンが三個存在するので , 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 にこれらの上限値と標準模型による予言値とを示す . 上限値は予言値の数十倍であり , 今後のデータ量の増加が必要である (図 15) .

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 30 倍近くとなり , 素粒子物理学に対し多大な貢献をすると期待される .

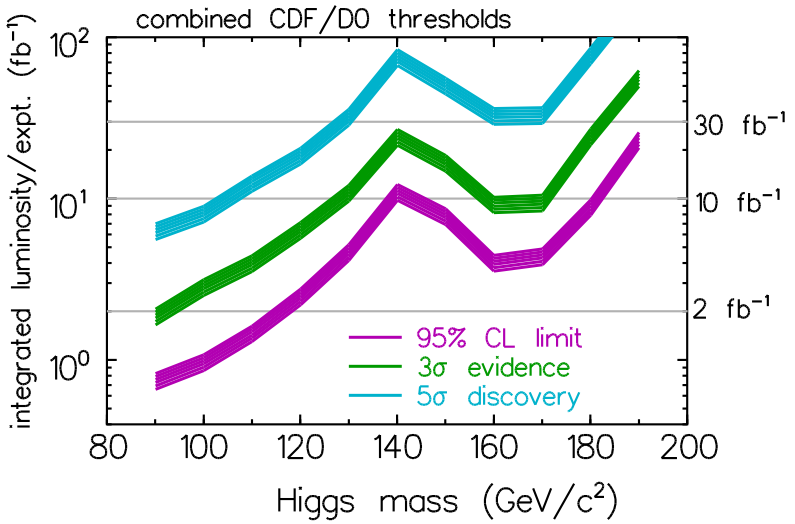

図 15: テバトロンでの標準模型ヒッグス粒子探索に必要なデータ量 (積算ルミノシティー) をヒッグス粒子の質量の関数として示したもの．3 本の帯は上からそれぞれ，(a) 5 標準偏差の統計的有意さをもって発見する，(b) 3 標準偏差の有意さで存在の証拠を示す，(c) もし存在しない場合に 95%の確度で排除する，ために必要なデータ量に対応する．

(2) Run IIb 実験用検出器増強

(a) 中央部プリシャワー検出器 CPR2

CPR 検出器は，中央部電磁カロリメータ CEM のプリシャワー検出器として 1988 – 89 年の Run 0 実験の終了後に製作・設置されて Run I 実験以来稼動している．その主たる役割は光子・電子の同定である．CPR はガス比例計数管を用いた検出器であり，その特性上，信号を収集するのに 1 μs 程度の時間を要する．Run I 実験までは，テバトロン加速器は陽子と反陽子のバンチ数がそれぞれ 6 で運転され，ビーム交差間隔は 3.6 μs であった．Run II 実験よりバンチ数は 36 となり，最小ビーム交差間隔は 400 ns となっている．したがって，CPR 検出器には複数のビーム交差で生じた粒子による信号が重なる可能性がある．

これはテバトロン加速器の瞬間輝度がさらに上昇する Run IIb 実験では深刻な問題となる．これを解決するためには，早い時間応答性とより細かい空間分割を持った検出器にする必要があった．

このための開発研究が 2001 年度より開始され，CPR 検出器をプラスチック・シンチレータを用いた光検出器 CPR2 で置き換える計画が進められた．2003 年度までにその準備がほぼ完了した．筑波大学グループは，波長変換ファイバーを通して伝達されたシンチレーション光を読み出すための光電子増倍管の製作・性能評価を担当した．図 16 に光電子増倍管の模式図と，応答の一様性の測定結果を示す．応答の分布の標準偏差は約 12 %であり，許容範囲内に収まっている．

CPR2 検出器の設置は当初 2005 年度に予定されていたが，準備が順調に進行したため，2004 年夏にそのすべてを設置し，完了した．図 17 に設置された検出器を示す．

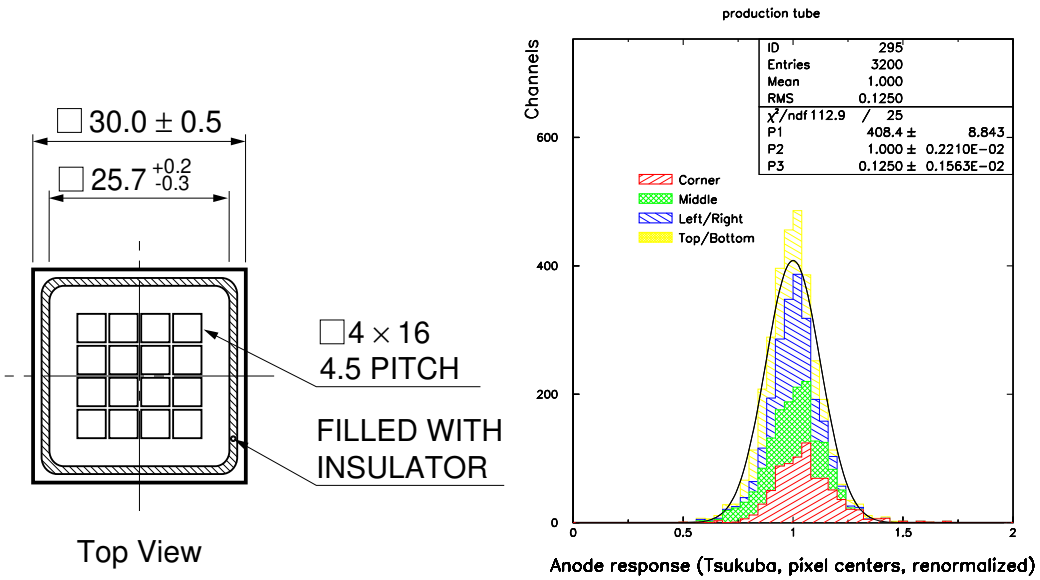

図 16: 左：マルチ・アノード光電子増倍管 H8711 の模式図．右：チャンネル中心での応答一様性．

図 17: 2004 年夏に設置された CPR2 検出器．

【２】　LHC ATLAS 実験

欧州セルン研究所では，重心系エネルギー 14 TeV での陽子・陽子衝突型加速器 LHC の建設が進められている．LHC 実験の主要な目的は質量の起源であるヒッグス粒子の研究である．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，ヒッグスが実際に存在するならば 800 GeV/c^2 程度以下であり，LHC では必ずヒッグスは発見できる．筑波大学は，この 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いる．また ATLAS 検出器によるヒッグス測定のシミュレーションをしている．LHC の初衝突は 2007 年夏に予定され，超対称性粒子も含め，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．1 台のモジュールは 4 枚のシリコンセンサーを裏表に 2 枚ずつ張り合わせたもので，読みだし ASIC を備え付けている．バレルモジュールの建設は，日-英-米-北欧による分担で 2002 年 2 月に開始した．SCT バレル部全数 2112 台のうち，我々のグループは 980 台の製造を担当し，2004 年 10 月にすべての製造を完了した．

筑波大学グループは，モジュールの精密組立て，電気的・機械的性能評価，モジュール据え付けロボットのプログラミングの担当をした．

シリコン検出器の優れた位置分解能を最大限に発揮するためには，モジュールを高い精度で組み立てる必要がある．コンピュータ制御された組み立てシステムを構築することで 5 μm よりも優れた組み立てを可能にし，他の組み立てサイトよりも安定した製造を可能にした．

シリコンセンサーは製造過程で暗電流が増加する場合があり，極端に大きな暗電流はノイズの原因となる．これは傷等により局所的に高電場が発生するためで，マイクロ放電と呼ばれている．このマイクロ放電の系統的評価を赤外線カメラやノイズ測定，暗電流測定等により行い，発生原因の特定を行った (図 18)．また，マイクロ放電は殆んどの場合で時間とともに減衰し，検出器として用いるには不都合が無いことを示した．

高強度の加速器ビームが事故により直接検出器にばらまかれる事態を想定して，レーザー信号を実際にモジュールに照射してセンサーや読み出しチップの生存の可否を評価した．読み出し電極は 0V に設定されているため，従来，問題なく生存すると考えられ，実際にいくつかの測定結果もそれを支持していた．しかし，実際の加速器ビームと同様に短いパルス入射では，電極の有限な抵抗のため局所的な電位勾配が発生し，読み出し電極を破壊することが分かった．但し，破壊は局所に高強度 (10μm 四方に 10^8 粒子程度以上) の場合に起るので，LHC の条件では発生しないと想定される．

モジュールはカーボンハニカムでできたバレル状のシリンダーにねじ止め設置されるが，モジュールを安全にねじ穴位置まで移動し，ねじ止めするロボットアームのプログラム開発を完了した．これを用いてオックスフォード大学で設置作業を継続中である．図 19 は最初に設置完了したバレルシリンダーである．

アトラスのすべての検出器要素を用いて，CERN の PS ビームを用いた試験をした．検出器の総合的な性能を評価し，ソフトウェアを完備することが目標である．現在その解析を継続中である．

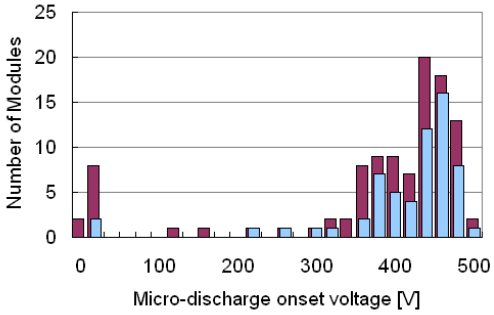

図 18: マイクロ放電の発生電圧 (赤外発光の有無で分類)

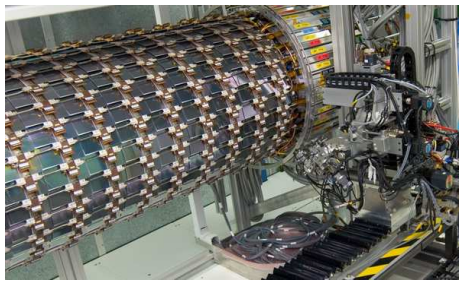

図 19: 最初に完成したバレルシリンダーとモジュール設置ロボット

(2)　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その性質の測定のために不可欠である. 一方で，いち速く発見するためには，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) を捉えることであり. それより軽い場合は，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である.

従来，これらは検出器での反応を簡単化したシミュレーションで評価していたが，GEANT4 に基づく詳細なシミュレーションに基づく評価を開始した. これにより検出器の応答はより忠実に再現され，これを用いて，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に使用するかの評価を継続している.

【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最近 ILC 計画と名付けられ，引続き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．

(1)　ILC 実験用カロリメータ

筑波大学グループは，KEK などのグループと共同で ILC 測定器用カロリメータの研究・開発をしている．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る．そのためには，ジェット内の多数の粒子を一つずつ分離検出し，荷電粒子に対しては優れた分解能を持つ飛跡検出器の情報を利用して，中性粒子のみカロリメータの情報を使用することが必要となる．このような測定を行うには，カロリメータは単一の入射粒子に対するエネルギー分解能が優れると同時に，細かく分割された構造を有することが要求される．我々は，シンチレータと鉛 (あるいはタングステンや鉄) を交互に組み合わせたサンプリングカロ

リメータを基本設計としているが，細分割を実現するためにシンチレータを短冊 (ストリップ) 型にすることで，ジェットに対するエネルギー分解能を向上できるかを研究している．

本年度は，昨年度から続く電磁カロリメータのハードウェアによる研究と，新たにシミュレーションによる再構成の方法や性能評価を並行して行なった．

昨年 3 月，KEK の PS において細分割電磁カロリメータのテスト・モジュール (4 mm 厚の鉛一層に対して，幅 1 cm，長さ 20 cm，厚さ 2 mm のストリップ型シンチレータを 20 枚ずつ縦・横に並べたもの) を使用してビームテストを行ないデータを収集した．電子に対するエネルギー分解能測定に関しては，詳しい系統誤差の評価も行い，最終的に $(13.1 \pm 0.12)\%/\sqrt{E} \oplus (0.0\,^{+0.73}_{-0.00})\%$ (E (GeV) は入射電子のエネルギー，誤差は統計誤差と系統誤差の両方を含む．$\oplus$ は二乗和) を得た．また，カロリメータ内での粒子の分離がどの程度の間隔まで可能であるかを調べるため，電磁シャワーの広がりを詳しく解析した．図 20 は，シャワー最大における読み出し層での電子のシャワーの広がりを見たものである．前置の飛跡検出器によりカロリメータでの電子の入射位置を決定し，その周囲のストリップ型シンチレータで測定されたエネルギーを積分型で示している．データ (黒丸) は，シミュレーション (四角) の結果に測定器 (三角) の効果を加えたもの (破線) でよく再現されており，± 1.8 cm 内に全体の 90% のエネルギーが落されていることがわかる．

また，本年度より，シミュレーションによる研究も同時に開始した．その目的は，カロリメータの形状の最適化およびカロリメータ内のヒットのクラスター作成 (粒子の分離とそのエネルギー測定) 方法を確立すること，さらにジェット再構成のアルゴリズムを確立することである．シミュレーションには GEANT4 を土台として使用し，単体のカロリメータのみを用いたクラスター作成と，飛跡検出器等も含んだ全測定器 (図 21) によるジェットのエネルギー測定の二通りの研究を進めている．現段階では，シミュレータ自身のソフトウェア開発がほぼ完成したところであり，今後上記の研究を実際に進めていく予定である．

参考文献

[1] http://www.fnal.gov/pub/today/pdfs/2005/20050421.pdf
http://www.kek.jp/newskek/2005/mayjun/topquark.html

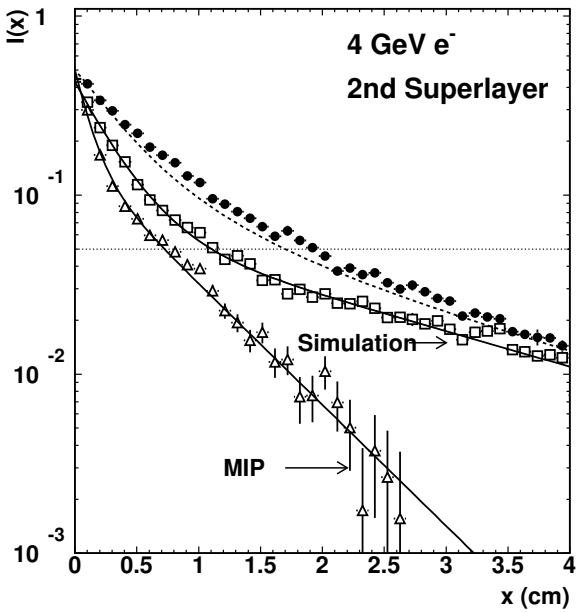

図 20: 電磁シャワーが最大になるカロリメータ第 2 層でのシャワーの広がりを積分で示す (ただし，事象ごとに総和により規格化しており，原点を中心に対称としている) . 黒丸が 4 GeV 電子に対する結果，四角が GEANT を用いたシミュレーションの結果，三角が最小電離粒子 (MIP) に対する結果であり，この MIP の広がりはほとんど測定器の効果と考えられる . シミュレーションの結果にこの測定器の効果を入れると破線となり，ほぼデータを再現する .

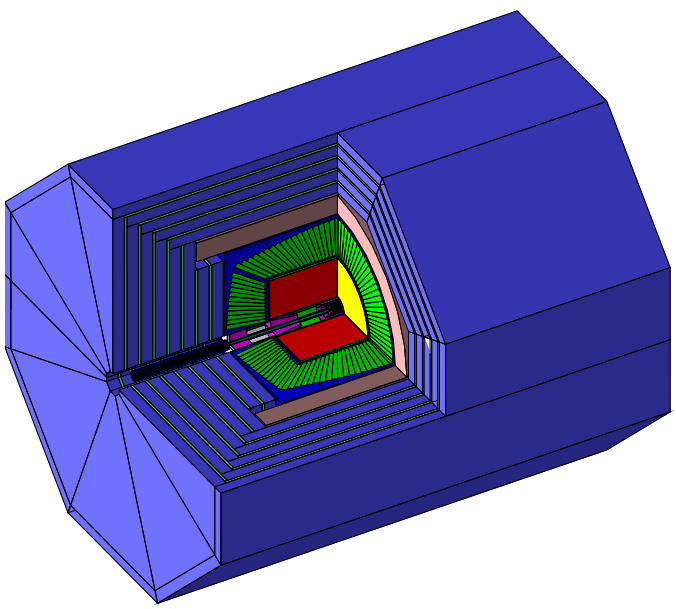

図 21: シミュレーションに使用している ILC 測定器 .

【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：114,500 千円，旅費：12,300 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) 22,600 千円

【5】　研究発表

(1)　学会誌等への発表論文

1. "Search for Pair Production of Scalar Top Quarks in R-parity Violating Decay Modes in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV",
   D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **92**, 051803 (2004).

2. "Search for Kaluza-Klein Graviton Emission in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV using the Missing Energy Signature",
   D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **92**, 121802 (2004).

3. "Search for $B_s^0 \to \mu^+\mu^-$ and $B_d^0 \to \mu^+\mu^-$ Decays in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV",
   D. Acousta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **93**, 032001 (2004).

4. "Inclusive Search for Anomalous Production of High-p_T Like-Sign Lepton Pairs in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV",
   D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **93**, 061802 (2004).

5. "Observation of the Narrow State $X(3872) \to J/\psi\pi^+\pi^-$ in $\bar{p}p$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV",
   D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **93**, 072001 (2004).

6. "Inclusive Double-Pomeron Exchange at the Fermilab Tevatron $\bar{p}p$ Collider",
   D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **93**, 141601 (2004).

7. "Measurement of the $t\bar{t}$ 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. **93**, 142001 (2004).

8. "Search for Doubly Charged Higgs Bosons Decaying to Dileptons in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV",
   D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **93**, 221802 (2004).

9. "Measurement of the average time-integrated mixing probability of b-flavored hadrons produced at the Tevatron",
   D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **69**, 012002 (2004).

10. "Optimized search for single-top-quark production at the Fermilab Tevatron",
    D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **69**, 052003 (2004).

11. "Heavy flavor properties of jets produced in $p\bar{p}$ interactions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV",
    D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **69**, 072004 (2004).

12. "Measurement of the polar-angle distribution of leptons from W boson decay 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, Phys. Rev. D **70**, 032004 (2004).

13. "Underlying event in hard interactions at the Fermilab Tevatron $p\bar{p}$ collider",
    D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **70**, 072002 (2004).

14. "Direct photon cross section with conversions at CDF",
    D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. D **70**, 074008 (2004).

15. "Combination of CDF and D0 results on the W boson mass and width",
    V. M. Abazov *et al.*, The CDF and D0 Collaborations, Phys. Rev. D **70**, 092008 (2004).

16. "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, FERMILAB-PUB-04/113-E. Submitted to Phys. Rev. Lett. July 2, 2004.

17. "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).

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

19. "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).

20. "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).

21. "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).

22. "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).

23. "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).

24. "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 (2005).

25. "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, FERMILAB-PUB-04-303-E. Submitted to Phys. Rev. Lett. October 25, 2004.

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. "Search for Electroweak Single Top 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).

28. "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 (2005).

29. "Measurements of Bottom Anti-Bottom 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).

30. "Search for Anomalous Kinematics in $t\bar{t}$ Dilepton Events at CDF II",
D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, FERMILAB-PUB-04-396-E. Submitted to Phys. Rev. Lett. December 10, 2004.

31. "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).

32. "Analysis of Decay-time Dependence of Angular Distributions in $B_s^0 \to J/\psi\phi$ and $B_d^0 \to J/\psi K^{*0}$ Decays and Measurement of the Lifetime Difference between B_s Mass Eigenstates",
D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, Phys. Rev. Lett. **94**, 101803 (2005).

33. "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, FERMILAB-PUB-04-435-E. Submitted to Phys. Rev. Lett. December 14, 2004.

34. "Search for ZZ and ZW Production in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.96$ TeV",
D. Acosta *et al.*, The CDF Collaboration, FERMILAB-PUB-05-002-E. Submitted to Phys. Rev. D Rapid Communications January 6, 2005.

35. "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 (2005).

36. "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, FERMILAB-PUB-05-009-E. Submitted to Phys. Rev. Lett. January 18, 2005.

37. "The CDF calorimeter upgrade for Run IIb",
S. Kuhlmann *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **518**, 39 (2004).

38. "The CDF Run IIb silicon detector",
M. Aoki *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **518**, 270 (2004).

39. "The CDF Silicon Vertex Trigger",
B. Ashmanskas *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **518**, 532 (2004).

40. "A Time-of-Flight detector in CDF-II",
D. Acosta *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **518**, 605 (2004).

41. "Selection of tau leptons with the CDF Run 2 trigger system",
A. Anastassov *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **518**, 609 (2004).

42. "CDF Central Outer Tracker",
T. Affolder *et al.*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A **526**, 249 (2004).

43. "Sensors for the CDF Run2b Silicon Detector",
K. Hara *et al.*, IEEE Trans. Nucl. Sci. **51**, 1546 (2004).

44. "Polyimide and BeO Mini Port Card Performance Comparison for CDF Run IIb",
G. Cardoso *et al.*, IEEE Trans. Nucl. Sci. **51**, 2174 (2004).

45. "CDF Run IIb Silicon: Stave design and testing",
R. S. Lu *et al.*, IEEE Trans. Nucl. Sci. **51**, 2209 (2004).

46. "CDF Run IIb Silicon: The New Innermost Layer",
P. Merkel *et al.*, IEEE Trans. Nucl. Sci. **51**, 2215 (2004).

47. "CDF Run IIb Silicon: Electrical Performance and Deadtime-less Operation",
T. Akimoto *et al.*, IEEE Trans. Nucl. Sci. **51**, 2220 (2004).

48. "Beam tests of ATLAS SCT silicon strip detector modules",
F. Campabadal, K. Hara *et al.*, Nucl. Instrum. Methods **A538**, 384-407 (2004).

49. “Design and development of a work robot to place ATLAS SCT modules onto barrel cylinders”,
S. Terada, K. Hara *et al.*, Nucl. Instrum. Methods **A541**, 144-149 (2005).

50. “Application of Cu-polyimide flex circuit and Al-on-glass pitch adapter for the ATLAS SCT barrel hybrid”,
Y. Unno, K. Hara *et al.*, Nucl. Instrum. Methods **A541**, 286-294 (2004).

(2) 学会・研究会での講演 (国内)

1. 山内 伸：リニアコライダー ストリップ・ファイバー電磁カロリメータのビームテスト報告 3 — 応答線形性，エネルギー分解能 —，
日本物理学会 2004 年秋期大会 (2004 年 9 月 27 ~ 30 日)，高知大学.

2. 永野 あい：リニアコライダー ストリップ・ファイバー電磁カロリメータのビームテスト報告 4 — 応答一様性，位置分解能，角度分解能 —，
日本物理学会 2004 年秋期大会 (2004 年 9 月 27 ~ 30 日)，高知大学.

3. 原 和彦：CDF Run-II の現状：QCD と電弱相互作用の物理 (特別講演)，
日本物理学会 2004 年秋季大会 (2004 年 9 月 27 ~ 30 日)，高知大学.

4. 中村 浩二：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性能評価，
日本物理学会 2004 年秋季大会 (2004 年 9 月 27 ~ 30 日)，高知大学.

5. 松永 浩之：CDF 実験のための分散計算機環境の構築，
日本物理学会 2004 年秋季大会 (2004 年 9 月 27 ~ 30 日)，高知大学.

6. 桑野 太郎：LHC 計画 ATLAS 実験における SCT モジュールの性能検査報告,
日本物理学会 2004 年秋季大会 (2004 年 9 月 27 日)，高知大学．

7. 中村 雄一：LHC 加速器 ATLAS 実験用 SCT バレルモジュールの特性に関する基礎研究,
日本物理学会 2004 年秋季大会 (2004 年 9 月 27 ~ 30 日)，高知大学.

8. 佐藤 構二：Physics at Tevatron,
KEK Theory Meeting on Particle Physics Phenomenology 2005, KEK, Tsukuba, Japan, March 3–5, 2005.

9. 佐藤 構二：CDF 実験での top quark 質量測定，
科研費特定領域「質量起源と超対称性物理の研究」第 3 回研究会 (2005 年 3 月 7 – 8 日)，つくば国際会議場エポカル．

10. 小林 博和：CDF 実験での Higgs 粒子探索，
科研費特定領域「質量起源と超対称性物理の研究」第 3 回研究会 (2005 年 3 月 7 – 8 日)，つくば国際会議場エポカル．

11. 受川史彦：CDF Run-II 実験の最近の結果（招待講演），
日本物理学会第 60 回年次大会（2005 年 3 月 24 ~ 27 日），東京理科大学野田キャンパス．

12. 中村浩二：ATLAS 実験 Combined Testbeam 2004 における SCT 検出器の性能,
日本物理学会第 60 回年次大会（2005 年 3 月 24 ~ 27 日），東京理科大学野田キャンパス．

13. 小林 博和：CDF Run II 実験での同符号電荷を持ったダイレプトン事象による Higgs 粒子探索，
日本物理学会第 60 回年次大会（2005 年 3 月 24 ~ 27 日），東京理科大学野田キャンパス．

(3) 国際会議・研究会での講演

1. Koji Sato, "Top quark mass measurement in ℓ+jets events at CDF with double b-tags",
APS April meeting 2004, Denver, Colorado, May 1 – 4, 2004.

2. Masato Aoki, "Search for the Decay $B_c \to J/\psi + e + X$",
APS April meeting 2004, Denver, Colorado, May 1 – 4, 2004.

3. Takashi Akimoto, "Search for Gauge-Mediated Supersymmetry Breaking with a stau NLSP scenario at CDF",
APS April meeting 2004, Denver, Colorado, May 1 – 4, 2004.

4. Yoshio Ishizawa, "Search for Higgs Production in Association with W Boson at Tevatron",
APS April meeting 2004, Denver, Colorado, May 1 – 4, 2004.

5. Fumihiko Ukegawa, "Electroweak, Top and Bottom Physics at the Tevatron" (Plenary talk),
12th International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions, Tsukuba, Ibaraki, Japan, June 17 – 23, 2004.

6. Kazuhiko Hara, " Beam splash effects on ATLAS silicon microstrip detectors evaluated using 1-W Nd:YAG laser",
5th International Conference on Development and Application of Semiconductor Tracker Detectors, Hiroshima, June 14 – 17, 2004.

7. Kazuhiko Hara, "Test of ATLAS SCT barrel modules with Nd:YAG laser",
5th International Conference on Development and Application of Semiconductor Tracker Detectors, Hiroshima, June 14 – 17, 2004.

8. Yoshio Ishizawa, "Search for New Particles Decaying into $b\bar{b}$ Associated with W Boson at Tevatron",
DPF2004: Annual Meeting of the Division of Particles and Fields (DPF) of the

American Physical Society (APS), University of California, Riverside, August 27 – 31, 2004.

9. Yoshio Ishizawa, "$WH \to \ell\nu b\bar{b}$ at the Tevatron",
   1st meeting of the TeV4LHC workshop, Fermilab, Illinois, September 16 – 18, 2004.

10. Takasumi Maruyama, "Measurement of $t\bar{t}$ Production Cross Section Using Kinematic Fitting of b-tagged Lepton+Jet Events at CDF RunII",
    Fermilab Joint Experimental-Theoretical Seminar (Wine and Cheese), Fermilab, Illinois, October 1, 2004.

11. Shin Yamauchi, "The Performance of Strip-Fiber EM Calorimeter – Linearity, Energy Resolution",
    The 7th ACFA Workshop on Physics and Detector at the Linear Collider, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, November 9 – 12, 2004.

12. Ai Nagano, "The Performance of Strip-Fiber EM Calorimeter – Response uniformity, spatial resolution",
    The 7th ACFA Workshop on Physics and Detector at the Linear Collider, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, November 9 – 12, 2004.

13. Ai Nagano, "The Performance of Strip-Fiber Electromagnetic Calorimeter",
    The 10th Accelerator and Particle Physics Institute (APPI 2005), The Hotel Appi Grand, Appi highland, Japan, March 7 – 11, 2005.

14. Hiroyuki Matsunaga, "Simulation study of scintillator-based calorimeter",
    The 2005 International Linear Collider Workshop (LCWS05), Stanford University, Stanford, California, USA, March 18 – 22, 2005.

(4) 会議・研究会報告書

1. "Electroweak, Top and Bottom Physics at the Tevatron",
   F. Ukegawa, The CDF Collaboration, arXiv:hep-ex/0411012 (FERMILAB-CONF-04-311-E). Published Proceedings 12th International Conference on Supersymmetry and Unification of Fundamental Interactions, Tsukuba, Ibaraki, Japan, June 17–23, 2004. KEK Proceedings 2004-12, ed. K. Hagiwara, J. Kanzaki, N. Okada.

2. K. Hara *et al.*,"Beam splash effects on ATLAS silicon microstrip detectors evaluated using 1-W Nd:YAG laser",
   5th International Conference on Development and Application of Semiconductor Tracker Detectors, Hiroshima, 14–17 June, 2004. Nucl. Instrum. Methods **A541**, 15-20 (2005).

3. K. Hara *et al.*, "Test of ATLAS SCT barrel modules with Nd:YAG laser",
   5th International Conference on Development and Application of Semiconductor Tracker Detectors, Hiroshima, 14–17 June, 2004. Nucl. Instrum. Methods **A541**, 122-129 (2005).

(5) 学位論文

博士論文

1. 小林 博和：Search for the Higgs Boson Using High-pT Isolated Like-Sign Dilepton Events in 1.96-TeV Proton-Antiproton Collisions（陽子-反陽子衝突実験での同符号電荷を持ったダイレプトン事象によるヒッグス粒子探索）,
   Graduate School of Pure and Applied Sciences, University of Tsukuba , February 2005.

2. 佐藤 構二：Measurement of the Top Quark Mass with the Collider Detector at Fermilab（CDF 実験でのトップクォークの質量測定）,
   Graduate School of Pure and Applied Sciences, University of Tsukuba , February 2005.

修士論文

1. 木村 直樹：CDF 実験粒子飛行時間検出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，
   筑波大学数理物質科学研究科，2005 年 2 月．

2. 桑野 太郎：アトラス SCT シリコンマイクロストリップモジュールのマイクロ放電特性の研究,
   筑波大学数理物質科学研究科，2005 年 2 月．

3. 永野 あい：リニアコライダー実験用ストリップ・ファイバー電磁カロリメータのビームテストによる性能研究，
   筑波大学数理物質科学研究科，2005 年 2 月．

4. 吉玉 仁：CDF 実験 SVX2b シリコン飛跡検出器の開発研究,
   筑波大学数理物質科学研究科，2005 年 2 月．

5. 山内 伸：リニアコライダー実験用ストリップ・ファイバー電磁カロリメータの性能評価，
   筑波大学理工学研究科，2005 年 2 月．

卒業論文

1. 前田 高志：リニアコライダー実験におけるジェットの再構成の研究とカロリメータ設計，
   筑波大学第一学群自然学類，2005 年 2 月．

2. 山田 佳範：CDF 実験 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，
   筑波大学第一学群自然学類，2005 年 2 月．

(6)　研究会の主催

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 3 回研究会
   つくば国際会議場エポカル，2005 年 3 月 7 – 8 日．

2. CDF 実験日本グループ研究会
   筑波大学物理学系，2004 年 12 月 18 – 19 日．

【構成員の異動】

1. 2004 年 6 月に丸山和純講師が着任．

2. 2005 年 3 月に滝川紘治教授が定年退職．