

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、清矢 良浩
 助手 下島 真
 準研 浅川 高史、大石 竜太郎
 大学院生 (21名)

【1】陽子・反陽子衝突実験

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重心系 1.8 TeV の陽子・反陽子衝突実験が 1989年より1996年までに3回 (Run 0、Run 1A、Run 1B) 行なわれた。収集した積分ルミノシティ 110 pb^{-1} のデータを用いて様々な物理量の精密測定を継続して行った。

(1) トップクォークの物理

トップクォークの質量とトップクォーク対生成断面積の精密測定を継続して行った。陽子・反陽子衝突で生成したトップクォーク対生成事象を

- i) $t\bar{t} \rightarrow W(\rightarrow l\nu)b+W(\rightarrow qq')b$ (レプトン+ジェットチャンネル)、
- ii) $t\bar{t} \rightarrow W(\rightarrow l\nu)b+W(\rightarrow l\nu)b$ (2レプトンチャンネル)、
- iii) $t\bar{t} \rightarrow W(\rightarrow qq')b+W(\rightarrow qq')b$ (全ジェットチャンネル)、

の各崩壊過程ごとに再構成し、事象数と検出効率から生成断面積 $7.6^{+1.8}_{-1.5} \text{ pb}$ を測定した。トップクォークの質量測定については、レプトン+ジェットチャンネルを用いて $175.9 \pm 7.2 \text{ GeV}/c^2$ を得た。新たに2レプトンチャンネルと全ジェットチャンネルの解析と合わせて、より精度の高い測定結果、 $175.9 \pm 6.5 \text{ GeV}/c^2$ を得た。

また、単一トップクォーク生成事象の探索が行なわれた。その生成過程としては図1に示すような“Wg”生成 (予想生成断面積 1.7 pb) と“W*”生成 (0.7 pb) が期待される。これらの生成断面積はトップクォークの崩壊巾 $\Gamma(t \rightarrow Wb)$ に比例し、その崩壊巾はキャピボ・小林・益川行列に依存している。Run 1 のデータを解析した結果、その候補事象数はバックグラウンドとして期待される事象数と誤差内で一致した。その結果、単一トップクォーク生成断面積に対する上限値、“Wg”生成過程に対して 15.4 pb と“W*”生成過程に対して 15.8 pb を得た。

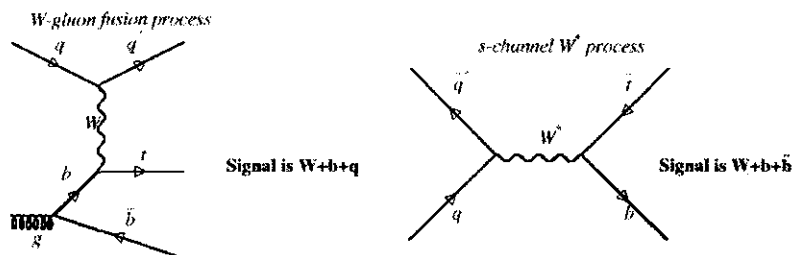


図1：単一トップクォーク生成過程のファインマン図

(2) 電弱相互作用の研究

これまでに得られたWボソンの質量測定結果に Run 1で収集した $W \rightarrow e\nu$ 事象の解析結果を加え、 $M_W = 80.433 \pm 0.079 \text{ GeV}/c^2$ を得た。Wボソンとトップクォークの質量測定値を標準理論の予測値と比較することにより未発見のヒッグス粒子の質量 (m_H) に制限を与えることができる (図2)。現在、CDFの実験結果 (現在のところ Run 1 で得られた $W \rightarrow e\nu$ 事象の解析結果は含まれない) と他の実験 (D0、LEP、SLD) からの結果をまとめて、質量上限 $m_H < 262 \text{ GeV}/c^2$ (95% C. L.) と最適値 $m_H = 76_{-47}^{+85} \text{ GeV}/c^2$ が得られている。

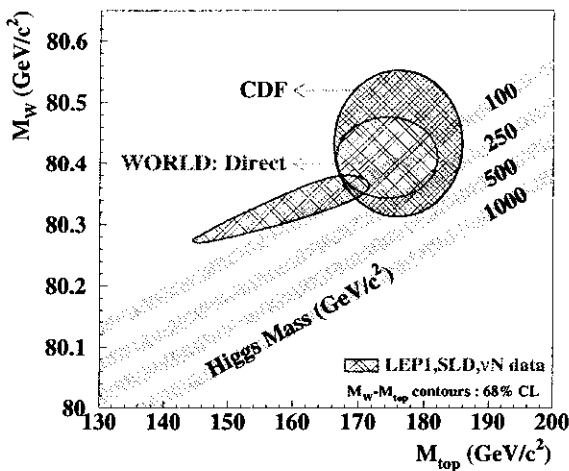


図2：W粒子の質量とトップクォークの質量の関係。CDFのW粒子とトップクォークの質量測定で得られた制限領域と他実験の結果を含めて得られた制限領域を影部で示す。

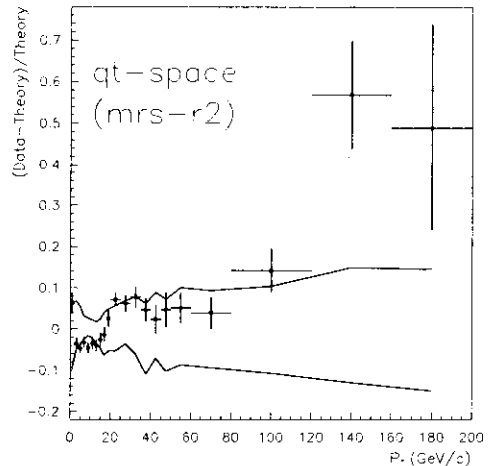


図3：W粒子の横運動量測定値と理論予測値とのずれ (・)。実線は系統誤差を示す。

(3) 強い相互作用の研究

ウィークボソン $W \rightarrow e\nu$ の横運動量 P_T (陽子・反陽子ビーム軸に対して垂直な運動量成分) を観測し、QCD理論のNLO (Next-to-Leading Order) 摂動計算と比較した。Wボソン横運動量の小さな領域 ($P_T < 20 \text{ GeV}/c$) では、小さな運動量をもつグルーオン放射がWボソンに横運動量を与えると考えられている。横運動量が小さくなると生成断面積の摂動計算は発散するため、グルーオン再加算 (gluon resummation) と呼ばれる計算法が用いられる。図3にCDFの測定結果 (D) と理論予想 (T) との比較 $(D - T)/T$ をWボソン P_T の関数として示す。 $P_T < 120 \text{ GeV}/c$ の領域で理論予想は実験データと一致している。 $120 < P_T < 200 \text{ GeV}/c$ の領域では理論とのずれが見られるが、実験誤差も大きく有意なずれとは直ちには言えない。

陽子・反陽子衝突におけるボトムクォーク生成回折散乱の断面積を測定した。回折散乱事象は、仮想粒子ポメロンとハドロンの衝突と考えられ、回折散乱事象を詳しく観測することでポメロン仮説の正当性を確かめることができる。回折散乱による重いクォーク生成の断面積はポメロン仮想粒子の中のグルーオン成分の割合に依存している。回折散乱事象として、前方部カリメータおよびビーム・ビームカウンターに来る粒子数が少ないこと (ラピディティー間隙) を要求した。また、セミレプトニック崩壊からの電子を捕らえることによりボトムクォークを同定した。ボトムクォーク生成の断面積に対するボトムクォーク生成回折散乱の断面積比は、

$$R_b(\xi < 0.1) = 0.62 \pm 0.19(\text{stat}) \pm 0.14(\text{syst}) \%$$

と測定された。ここで、 ξ はボメロンの運動量を陽子ビームの運動量で規格化したものである。この結果は、その他の2ジェット生成・Wボソン生成回折散乱の断面積測定結果とも矛盾はない。ただし、これらの測定値はすべて理論予想の約5分の1である。この相違を説明する為、現在理論を用いたボメロン・フラックス模型が検討されている。

(4) ボトムクォークの物理

B粒子についての様々な精密測定が行なわれた。その一つとして中性B中間子の崩壊様式 $B^0 \rightarrow J/\psi K_S^0$ を用いたCP非保存の探索がある。小林・益川理論によれば、このモードでCP対称性が破れて、終状態 $J/\psi K_S^0$ に崩壊する確率について粒子 B^0 と反粒子 \bar{B}^0 との間に大きな非対称性が現れる。その非対称性は、CP非保存の大きさを与えている角度パラメータ β に関係している。Run 1のデータから、約400の $B^0 \rightarrow J/\psi K_S^0$ 事象が観測された。生成時の B^0 中間子フレーバーは、以下の情報をもとに推定した。(i) そのB中間子に付随して生成された荷電粒子の電荷、(ii) BB対生成したうちのもう一方のB粒子がセミレプトニック崩壊して生じたレプトン(電子またはミュー粒子)の電荷、(iii) もう一方のbクォークがハドロン化したとき生じた荷電粒子の電荷を運動量で加重平均したもの。図4に観測された崩壊確率非対称性の崩壊時間依存性を示す。これらから、 $\sin 2\beta = 0.79_{-0.44}^{+0.41}$ という結果を得た。

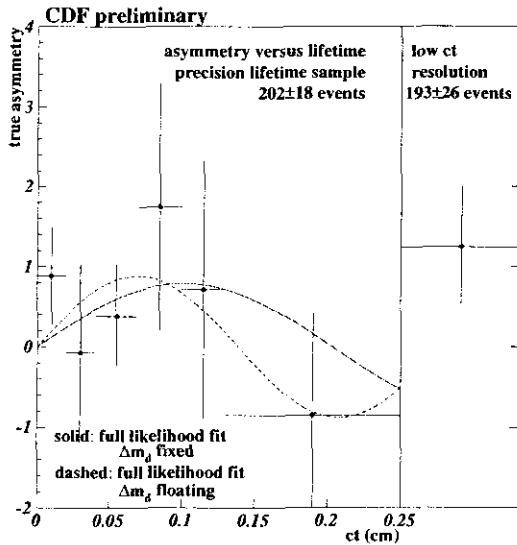


図4：粒子 B^0 と反粒子 \bar{B}^0 の崩壊非対称性の崩壊時間依存性。

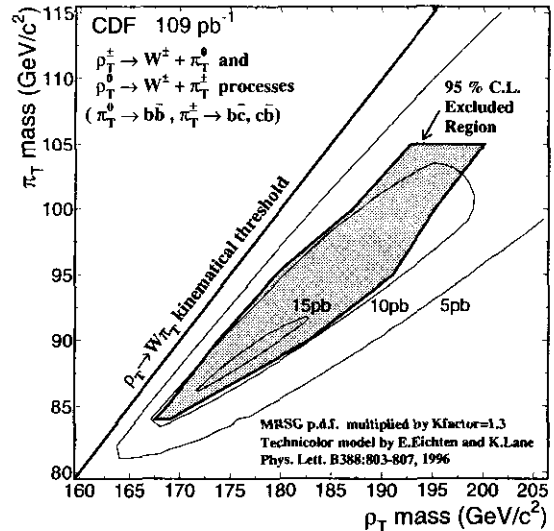


図5：95%信頼度で排除されたテクニロー粒子とテクニパイ粒子の質量(影部)と95%信頼度の生成断面積(実線)。

(5) 新粒子探索

標準理論では、ヒッグス機構によってゲージ対称性が自発的に破れるようにヒッグス粒子が導入される。一方、新しい相互作用(テクニカラー力)を導入し、ヒッグス粒子を2つのテクニクォークの束縛状態に置き換え、対称性の破れを説明するテクニカラー模型も存在する。その模型では、カラー1重項のテクニロー粒子(ρ_T)が陽子・反陽子衝突で生成すると予想されている。テクニロー粒子の質量の大きな領域($\sim 180 \text{ GeV}/c^2$)では、テクニロー粒子がW粒子とテクニパイ粒子(π_T)に崩壊し、テクニパイ粒子がボトムクォーク対に崩壊するモー

ド ($\rho_T \rightarrow W \pi_T \rightarrow W b\bar{b}$) が支配的である。このモードでテクニロー粒子を探索するために $W \rightarrow l\nu$ または $W \rightarrow qq'$ を伴った $b\bar{b}$ 事象を選別した。その事象数は標準理論でバックグラウンドとして期待される事象数と一致した。このことから、テクニパイ粒子とテクニロー粒子の質量に対し、図5に示すような排除領域 (95% C.L.) を得た。

【2】 検出器の研究・開発

(1) タイル/ファイバー型電磁カロリメータ

2000年より開始するCDF実験 (Run 2) では、加速器増強によりビーム輝度が約10倍に、また陽子 (反陽子) のバンチ間隔も 130~400 ns 程度に短くなる。これに伴い検出器に対してより速い応答性、十分な放射線耐性が要求され、検出器各部の増強が行なわれている。その増強計画の一つにタイル/ファイバー型電磁カロリメータがある。この検出器は、信号読み出し用波長変換ファイバーをはめ込んだ厚さ4mmのシンチレータ板 (タイル) と厚さ4.5mmの鉛板の積層構造をしたエネルギー検出器であり、CDF検出器の東側と西側の端冠部に設置される。これまでに、フェルミ研究所において電子ビームを用いた性能テストを行なった結果、エネルギー分解能は

$$\frac{\sigma(E)}{E} = \frac{14.5\%}{\sqrt{E}} \oplus 0.7\%$$

であり、要求された性能を満たしていることを確認した。また、宇宙線ミュオン粒子を用いて東側と西側の両検出器に対して応答の非一様性が2%以下であることを確認した。東側検出器は、B0アセンブリ・ホールにおける設置および信号・高電圧ケーブル等の配線が完了した。現在、西側検出器の設置および配線が行なわれている。(図6)

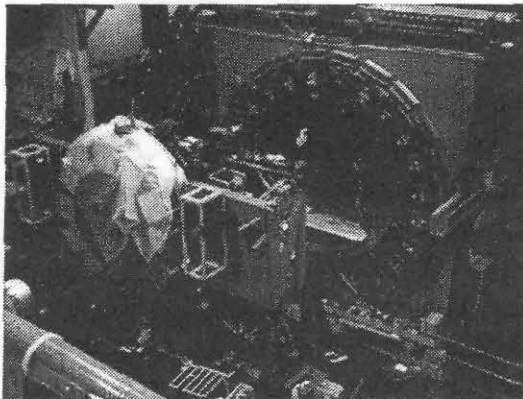


図6：CDF II 検出器と設置準備中のプラグカロリメータ (西側部)

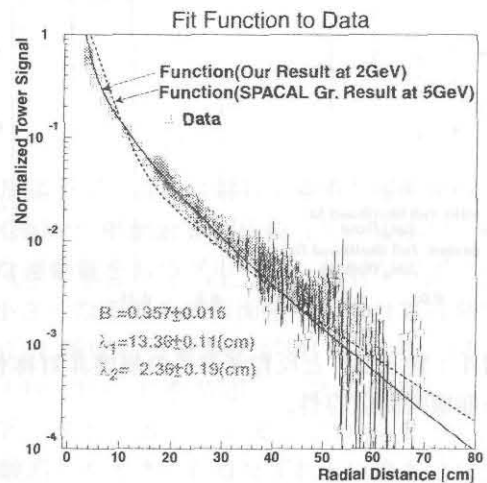


図7：ハドロンシャワーの横方向の拡がり。データ (□) と本文に示した関数形でフィットした結果 (実線) 及び他実験で得られた結果を示す。

(2) JLC 用補償型ハドロンカロリメータの開発

電子・陽電子衝突型線形加速器実験 (JLC) では、ヒッグス粒子等の探索、質量精密測定な

どを目的としている。ヒッグス粒子の崩壊では、終状態にジェットを含む崩壊過程が比較的多いと期待される。したがって、ジェットのエネルギーを精密に測定するための検出器の開発が必要不可欠である。我々は1996年よりその研究開発をKEK/神戸大/信州大/甲南大のグループと共同で行っている。

2mm厚のタイル/ファイバー型シンチレータに対して鉛4mm厚のサンプリングカロリメータのプロトタイプ検出器を製作し、1998年6月、KEKにおけるビームテスト（1~4 GeV/cの電子・ミュー粒子・ π 粒子）により、検出器の性能評価（エネルギー分解能、応答線形性、補償比）を行った。その結果、我々の期待するエネルギー分解能が得られることを確認した。また、ハドロンシャワーの横方向及び奥行き方向の広がりを測定し、その特性を系統的に研究した。ハドロンシャワー特性を理解することは、カロリメータを製作する上で、また実際の測定器でエネルギーを精密に測定するために重要なことである。 π 粒子の入射方向に対して垂直な平面上で単位面積当たりの π 粒子の起こすシャワーのエネルギー損失は、

$$f(r) = \frac{B}{r} \exp\left(-\frac{r}{\lambda_1}\right) + \frac{1-B}{r} \exp\left(-\frac{r^2}{\lambda_2^2}\right)$$

で記述することができる。ここで r はシャワーの重心軸からの距離、 $\lambda_{1,2}$ はそれぞれシャワーのハドロン、電磁成分の減衰長、 B は損失の大きさを表わす。テストビームで得られた2 GeV/c π 粒子のデータを用いてその関数形を決定した。図7に示すようにハドロンシャワーの横方向の広がりは上述の関数形でよく再現でき、各パラメータは以下のように決定された。

$$B = 0.357 \pm 0.016, \lambda_1 = 13.36 \pm 0.11 \text{ cm}, \lambda_2 = 2.47 \pm 0.15 \text{ cm}$$

(3) シリコンマイクロストリップセンサーの開発・製作

シリコンマイクロストリップセンサーはその高速応答性と高い位置分解能のために衝突点近くの飛跡検出器として高エネルギー実験で頻繁に使用されるようになった。次期CDF実験で設置されるISL検出器用両面読み出しセンサーのプロトタイプを設計・製作し、1998年11月から量産を開始した。ATLAS実験で用いる片面読み出しセンサーの放射線耐性を評価するために12 GeV陽子線照射実験を行った。さらに読み出しエレクトロニクスに用いるカプトン製ハイブリッド基板の性能評価を行った。

a) CDF-ISL検出器

CDF-II検出器には、5層のシリコン検出器SVX-IIの外側に2層のISL検出器が設置される。センサーのp面、n面にはストリップ電極が1.2度のステレオ角で形成され、通過した荷電粒子の3次元の位置情報が得られる。センサーの有感領域は約6 cm × 7 cmで、筑波大学はISLの内側の層、456台のシリコンセンサーの設計と製作を担当し、1998年6月までにセイコー電子工業と浜松ホトニクスのプロトタイプの性能評価を終了した。11月から浜松ホトニクスで量産が開始され、1999年3月までに187台が納品された。筑波大学ではサンプリング検査を行い、定期的にストリップ毎のカップリング容量、ストリップ間容量、ストリップ毎の暗電流、バイアス抵抗値などの電気的性能をプローブステーションを用いて測定している〔図8, 9〕。納品率が予想よりやや悪く、その原因は数本のストリップのために全暗電流値が仕様を満たさないセンサーがあることが分かった。これらのセンサーの電気的性能や放射線照射後の性能を評価し、使用可能性を検討している。

b) ATLAS-SCT検出器

LHCアトラス実験は2005年から開始される。筑波大学のグループはシリコン飛跡検出器

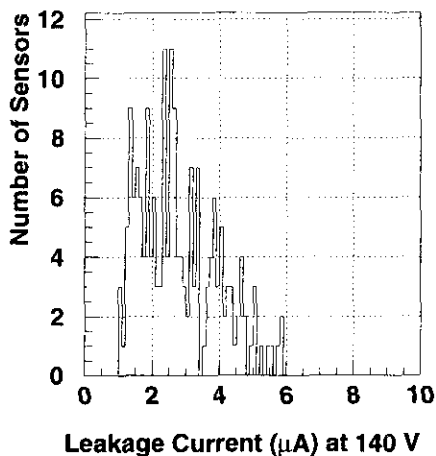


図8：浜松シンコンセンサーのバイアス電圧140Vでの全暗電流値の分布

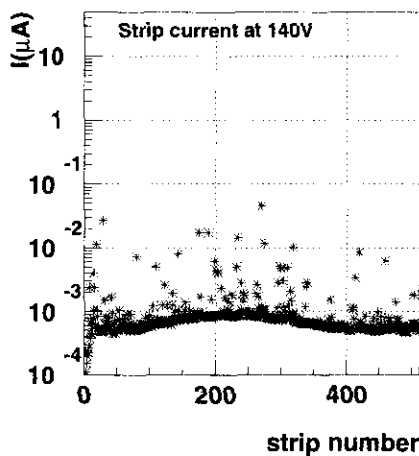


図9：ストリップ毎の暗電流値の分布（140Vでの測定値）

SCTの開発グループに1998年6月から加わり、KEKのグループらと協力してシリコンマイクロストリップセンサーの設計に関して研究を進めている。

アトラス実験では平方cm当たり 10^{14} を越す放射線線量が予測され、かつてない厳しい環境下での稼動が要求される。KEKの12 GeV陽子線を実際に照射して、暗電流の増加やカップリング容量・全空乏化電圧の変化等を計測した。n型のバルクはこの放射線を受けるとp型に変換する。これは照射によって生じた欠陥が実効的にキャリア密度を変えるため、バルクの比抵抗値、n型ストリップとp型ストリップとの違いにより放射線耐性が異なるかを評価した。これらの条件には大きく左右されないことが分かった。この測定によりセンサーを冷却することで放射線損傷後の暗電流の増加に基づく発熱を抑え、アトラス実験期間中使用できることを確認した。

アトラスセンサーは片面読み出しで、3次元測定のためにセンサーにステレオ角をもたせて接着する。カプトンを用いたハイブリッド基板は簡単に曲げることができ、上下両面の信号の読み出しを一体の基板で簡単に実現である。読み出しASICチップやセンサーを実装し、ノイズやテストパルスの信号を測定した。チップの作動領域が設計より狭いことが分かったが、ハイブリッド基板自体の設計や性能には問題がなく、この測定結果を参考にしてチップの次期設計を行なう。

センサーの大量生産は1999年度から開始される。センサー本体やモジュールに用いる各部品、モジュールの各段階での品質管理の準備を開始した。特に赤外レーザーを用いた総合検査、ヒートサイクルや長期試運転による初期不良検知の方法を検討した。

【3】外部資金

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（日本側参加研究機関：筑波大物理、KEK、広島大理、大阪市大理、早稲田大理工、岡山大理、近畿大理、日本側研究代表：滝川 紘治）

校費：160,000 千円 旅費：10,250 千円

科研費 基盤（A）「テバトロンによる素粒子の精密測定」

共同研究（筑波大物理、KEK、広島大理、大阪市大理、岡山大理、研究代表：滝川 紘治）

総額：20,200 千円

論文

1. The CDF Collaboration, “The Jet Pseudorapidity Distribution in Direct Photon Events in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, Phys. Rev. D57, 1359 (1998).
2. The CDF Collaboration, “Dijet Production by Color-Singlet Exchange at the Fermilab Tevatron”, Phys. Rev. Lett. 80, 1156 (1998).
3. The CDF Collaboration, “Measurement of the $B^0\bar{B}^0$ Oscillation Frequency in $p\bar{p}$ Collisions using π - B Meson Charge-Flavor Correlations at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV/ c^2 ”, Phys. Rev. Lett. 80, 2057 (1998).
4. The CDF Collaboration, “Search for Flavor-Changing Neutral Current Decays of the Top Quark in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, Phys. Rev. Lett. 80, 2525 (1998).
5. The CDF Collaboration, “Measurement of the Top Quark Mass”, Phys. Rev. Lett. 80, 2767 (1998).
6. The CDF Collaboration, “Measurement of the $t\bar{t}$ Production Cross Section in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, Phys. Rev. Lett. 80, 2773 (1998).
7. The CDF Collaboration, “Measurement of the Top Quark Mass and $t\bar{t}$ Production Cross Section from Dilepton Events at the Collider Detector at Fermilab”, Phys. Rev. Lett. 80, 2779 (1998).
8. The CDF Collaboration, “Measurement of the Differential Cross Section for Events with Large Total Transverse Energy in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, Phys. Rev. Lett. 80, 3461 (1998).
9. The CDF Collaboration, “Measurement of B Hadron Lifetimes Using J/ψ Final States at CDF”, Phys. Rev. D57, 5382 (1998).
10. The CDF Collaboration, “Observation of Hadronic W Decays in $t\bar{t}$ Events with the Collider Detector at Fermilab”, Phys. Rev. Lett. 80, 5720 (1998).
11. The CDF Collaboration, “Search for the Decays $B_d^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ and $B_s^0 \rightarrow \mu^+\mu^-$ in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, Phys. Rev. D57 Rapid Communications, R3811 (1998).
12. The CDF Collaboration, “Searches for New Physics in Diphoton Events in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, Phys. Rev. Lett. 81, 1791 (1998).
13. The CDF Collaboration, “Search for Chargino-Neutralino Associated Production at the Fermilab Tevatron Collider”, Phys. Rev. Lett. 80, 5275 (1998).
14. The CDF Collaboration, “Search for the Rare Decay $W^\pm \rightarrow \pi^\pm \gamma$ in Proton-Antiproton Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV”, Phys. Rev. D58, Rapid Communications, 031101 (1998).

15. The CDF Collaboration, "Observation of $B^+ \rightarrow \psi K^+$ and $B^0 \rightarrow \psi(2S)K^*(892)^0$ Decays and Measurements of B -Meson Branching Fractions into J/ψ and $\psi(2S)$ Final States", Phys. Rev. D58, 072001 (1998).
16. The CDF Collaboration, "Search for the Rare Decay $W^\pm \rightarrow D_s^\pm \gamma$ in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV", Phys. Rev. D58, Rapid Communications, 091101 (1998).
17. The CDF Collaboration, "Observation of B_c Mesons in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV", Phys. Rev. D58, 112004 (1998).
18. The CDF Collaboration, "Measurement of the $\sigma(W + \geq 1 \text{ Jet})/\sigma(W)$ Cross Section Ratio from $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV", Phys. Rev. Lett. 81, 1367 (1998).
19. The CDF Collaboration, "Search for Long-Lived Parents of Z^0 Bosons in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV", Phys. Rev. D58, Rapid Communications, 051102 (1998).
20. The CDF Collaboration, "Measurement of the B^- and \bar{B}^0 Meson Lifetimes using Semileptonic Decays", Phys. Rev. D58, 092002 (1998).
21. The CDF Collaboration, "Observation of the B_c Meson in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV", Phys. Rev. Lett. 81, 2432 (1998).
22. The CDF Collaboration, "Search for Second Generation Leptoquarks in the Dimuon plus Dijet Channel of $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV", Phys. Rev. Lett. 81, 4806 (1998).
23. The CDF Collaboration, "Events with a Rapidity Gap between Jets in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 630$ GeV", Phys. Rev. Lett. 81, 5278 (1998).
24. The CDF Collaboration, "Measurement of the CP-Violation Parameter $\sin(2\beta)$ in $B_d^0/\bar{B}_d^0 \rightarrow J/\psi K_s^0$ Decays", Phys. Rev. Lett. 81, 5513 (1998).
25. The CDF Collaboration, "Measurement of the $B_d^0 - \bar{B}_d^0$ Flavor Oscillation Frequency and Study of Same Side Tagging of B Mesons in $p\bar{p}$ Collisions", Phys. Rev. D59, 032001 (1998).
26. The CDF Collaboration, "Searches for New Physics in Diphoton Events in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV", submitted to Phys. Rev. D June 29, 1998. FERMILAB-PUB-98/206-E.
27. The CDF Collaboration, "Measurement of the B_s^0 Meson Lifetime Using Semileptonic Decays", Phys. Rev. D59, 032004 (1998).
28. The CDF Collaboration, "Search for Higgs Bosons Produced in Association with a Vector Boson in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV", Phys. Rev. Lett. 81, 5748 (1998).
29. The CDF Collaboration, "Search for the Decays $B_s^0, B_d^0 \rightarrow e^\pm \mu^\mp$ and Pati-Salam Leptoquarks", Phys. Rev. Lett. 81, 5742 (1998).

30. The CDF Collaboration, "Measurement of the Lepton Charge Asymmetry in W -boson Decays Produced in $p\bar{p}$ Collisions", Phys. Rev. Lett. 81, 5754 (1998).
31. The CDF Collaboration, "Measurement of Z^0 and Drell-Yan Production Cross Section Using Dimuons in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV", submitted to Phys. Rev. D September 21, 1998. FERMILAB-PUB-98/280-E.
32. The CDF Collaboration, "Search for New Particles Decaying to $b\bar{b}$ in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV", submitted to Phys. Rev. Lett. September 22, 1998. FERMILAB-PUB-98/290-E.
33. The CDF Collaboration, "Search for a Technicolor ω_T Particle in Events with a Photon and a b -quark Jet at CDF", submitted to Phys. Rev. Lett. October 9, 1998. FERMILAB-PUB-98/321-E.
34. The CDF Collaboration, "Measurement of the Top Quark Mass with the Collider Detector at Fermilab", Phys. Rev. Lett. 82, 271 (1999).
35. The CDF Collaboration, "Kinematics of $t\bar{t}$ Events at CDF", submitted to Phys. Rev. D October 12, 1998. FERMILAB-PUB-98/327-E.
36. The CDF Collaboration, "Search for Third-Generation Leptoquarks from Technicolor Models in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV", submitted to Phys. Rev. Lett. November 2, 1998. FERMILAB-PUB-98/352-E.
37. The CDF Collaboration, "Search for R-Parity Violating Supersymmetry using Like-Sign Dielectrons in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV", submitted to Phys. Rev. Lett., November 17, 1998. FERMILAB-PUB-98/374-E.
38. The CDF Collaboration, "Measurement of $b\bar{b}$ Rapidity Correlations in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV", submitted to Phys. Rev. D, December 6, 1998. FERMILAB-PUB-98/392-E.
39. The CDF Collaboration, "A Search for $B_s^0 - \bar{B}_s^0$ Oscillations Using the Semileptonic Decay $B_s^0 \rightarrow \phi\ell^+X\nu$ ", submitted to Phys. Rev. Lett., January 5, 1999. FERMILAB-PUB-98/401-E.
40. The CDF Collaboration, "Measurement of the Associated $\gamma + \mu^\pm$ Production Cross section in $p\bar{p}$ Collisions at $\sqrt{s} = 1.8$ TeV", submitted to Phys. Rev. Lett. February 2, 1999. FERMILAB-PUB-99/021-E.
41. M. Kobayashi *et al.*, Improvement in Radiation Hardness of PbWO₄ Scintillating Crystals by La-Doping, Nucl. Instr. Meth. A 404, 149, 1998.
42. M. Tanaka *et al.*, Applications of GSO:Ce Scintillator to Calorimeters in High Radiation Environment, Nucl. Instr. Meth. A 404, 283, 1998.

43. K. Hara *et al.*, Radiation hardness and mechanical durability of Kuraray optical fibers, Nucl. Instr. Meth. A 411, 31, 1998.
44. K. Hara *et al.*, La-doped PbWO₄ Scintillator Crystals Grown in Large Ingots, Nucl. Instr. Meth. A 414, 325, 1998.
45. H. Nakada *et al.*, Mass Production of Tile/Fiber Units for the CDF Plug Upgrade EM Calorimeter, Nucl. Instr. Meth. A 420, 48-61, 1999.
46. Y. Iwata *et al.*, Optimal P-stop Pattern for the N-side Strip Isolation of Silicon Microstrip Detectors, IEEE Trans. Nucl. Sci. Vol.45, No.3 303-309, 1998.
47. Y. Seiya *et al.*, A Preshower Detector for the CDF Plug Upgrade: Test Beam Results, to be published in Nucl. Instr. Meth..
48. M. Albrow *et al.*, The CDF Plug Upgrade EM Calorimeter: Test Beam Results, paper in preparation.
49. N. Kanaya *et al.*, Test results of hybrid photodiodes, NIM A421 (1999) 512.
50. M. Ishii *et al.*, Lead Deficiency in Single Crystals of PbWO₄ Grown in Air, KEK-PREPRINT-97-194, Oct 1997. 12pp. (Submitted to J.Cryst.Growth)
51. K. Tanji *et al.*, Crystal growth of PbWO₄ by vertical Bridgman method: Effect of crucible thickness and melt composition, (submitted to J of Crystal Growth)

学会・研究会での講演 (国内)

1. 滝川紘治: Tevatron 実験の現状と今後の展望, 日本物理学会 特別講演 (1998年3月30日), 東邦大学.
2. 金信弘: CDF での B_c 中間子の発見, 日本物理学会 特別講演 (1998年3月31日), 東邦大学.
3. 池田拓史: Fermilab $\sqrt{s} = 1.8$ TeV $p\bar{p}$ 衝突 CDF 実験における heavy quark の生成頻度, 日本物理学会 (1998年3月31日), 東邦大学.
4. 金尾圭祐: シリコンストリップ検出器 (CDF-ISL) のための研究, 日本物理学会 (1998年4月1日), 東邦大学.
5. 浅川高史: CDF エンドプラグカロリメーターのビームテストによる性能評価, 日本物理学会 (1998年4月2日), 東邦大学.
6. 大石竜太郎: 多チャンネル光電子増倍管の性能評価, 日本物理学会 (1998年4月2日), 東邦大学.
7. 横山雅彦: CDF の電子イベントの解析による W 粒子崩壊分岐比 $BR(W \rightarrow \tau\nu)/BR(W \rightarrow e\nu)$ の測定, 日本物理学会 秋の分科会 (1998年10月5日), 秋田大学.

8. 湊浩之 : Fermilab $\sqrt{s}=1.8$ TeV $p\bar{p}$ 衝突 CDF における W 粒子の横運動量分布の測定, 日本物理学会 秋の分科会 (1998年10月5日), 秋田大学.
9. 中田方斎 : 重心系エネルギー 1.8 TeV 陽子-反陽子衝突実験における回折散乱ジェット事象生成断面積の測定, 日本物理学会 秋の分科会 (1998年10月5日), 秋田大学.
10. 田中雅士 : CDF 検出器を用いた稀崩壊事象 $b \rightarrow X_s \mu^+ \mu^-$ 観測可能性の研究, 日本物理学会 秋の分科会 (1998年10月5日), 秋田大学.
11. 金 信弘 : Observation of the B_c meson at CDF, Physics Seminar at University of Hawaii, Hawaii, USA, September 1998.
12. 金 信弘 : CDF での B_c 中間子の発見, 1998年11月, 物理セミナー (東京工業大学)
13. 金 信弘 : CDF での B_c 中間子の発見, 1998年12月, 物理セミナー (神戸大学)
14. 受川 史彦 : Search for CP violation in $B^0/\bar{B}^0 \rightarrow J/\psi K_s^0$ decays with the CDF detector, 1999年2月, 物理セミナー (高エネルギー加速器研究機構)

国際会議での講演

1. J. Suzuki, Rare b Decays and Observation of B_c Mesons at Tevatron, 33rd Rencontres de Moriond, QCD and Hadronic Interactions at High Energy Hadronic Interactions, Les Arcs, France, March 1998.
2. T. Kikuchi, Limit on t-channel Single Top Cross Section using Run I Data at CDF, Thinkshop Top-Quark Physics for RUN II, Fermilab, USA, October 1998.
3. S. Kim, Tevatron Run-II Project, Workshop on Hadron Colliders at KEK, Tsukuba, Japan, January 1999.
4. T. Asakawa, Dijet Results from CDF and D0, 13th Topical Workshop on Hadron Collider Physics, Mumbai, India, January 1999.
5. K. Terashi, Rapidity Gap Results from CDF and D0, 13th Topical Workshop on Hadron Collider Physics, Mumbai, India, January 1999.
6. T. Handa, Searches for Technicolor Particles at CDF and D0, 13th Topical Workshop on Hadron Collider Physics, Mumbai, India, January 1999.

Proceedings

1. K. Takikawa, Recent Results from CDF, Proceedings of the International Symposium on QCD Corrections and New Physics (Hiroshima, Japan), 16-30 (1998).

博士論文

1. H. Ikeda, Observation of Diffractive Bottom Quark Production in 1.8-TeV Proton-Antiproton Collisions, University of Tsukuba, January 1999.
2. H. Minato, Measurement of the W Boson Transverse Momentum Distribution in 1.8 TeV Proton-Antiproton Collisions, University of Tsukuba, January 1999.