

# 画像処理装置による原子核乾板座標測定システム (CERN-EMU05実験)

伊代野 淳

岡山理科大学大学院・理学研究科・システム科学専攻

(1989年9月30日 受理)

## 要 旨

EMU05実験は、200 GeV/amuの酸素原子核及び硫黄原子核と鉛との原子核・原子核衝突をエマルジョン・スペクトロメーターで観測してきた。この実験では、多重度が500を超える事例の二次粒子の運動量測定のために、エマルジョン・フィルムに記録されているトラックの座標測定を効率よく行う必要がある。これまでエマルジョン画像だけを使って行っていた測定に、画像処理装置を導入し、トラックの情報をベクトルとしてエマルジョン画像に重ねて映し出し人間のトラック認識の補助を行うことによって、約十倍の速度でデータ収集が可能になった。また、放出角度が $45^\circ$ 以上のトラックについては、特に有効であった。

## 1 序 章

近年、高エネルギー原子核・原子核相互作用の実験的研究は、欧州合同原子核研究所(CERN)及びアメリカ・ブルックヘブン国立研究所(BNL)の加速器によって盛んに行われ、多くの実験結果<sup>1)</sup>が報告されている。これらの実験の目的は、通常の原子核物質からクォーク・グルーオンプラズマ(QGP)のような高エネルギー密度状態への相転移が起こるかどうかなを確認することである。

QGP生成の徴候を捕えるためには、大多重度を伴う中心衝突事例を測定しなければならないが、多重度が大きい程、多くの粒子を同時に捕らえるチャンネル数が必要となり、特にカウンター実験では測定が困難になる。更に、現在行われている実験は固定標的型衝突実験であるため、衝突で生成される二次粒子の放出角は非常に小さく、多数の粒子が小さな円錐の中に放出される。従って、測定器には、十分な空間分解能が必要とされる。

原子核乾板(エマルジョン)は、良い空間分解能( $1\mu\text{m}$ )を備え、荷電粒子の飛跡を記録することができ、大多重度事例の観測には有利である。EMU05実験<sup>2)</sup>は、1.8Teslaの磁場中に配置したエマルジョン・チェンバー中で、原子核・原子核衝突を捕らえ、衝突によって生成された荷電二次粒子の放出角、荷電符号及び運動量の測定を行い、これまでに宇宙線実験<sup>3)</sup>で報告された平均横方向運動量の増大傾向や近接粒子対の増加が見られるかどうか確かめ、同種粒子相関を用い相互作用領域の測定を目的として、CERNにおいてエネルギー200GeV/amuの酸素原子核及び硫黄原子核ビームの照射を行った。EMU05実験

で用いたエマルジョン・チェンバーの概略を図1に示す。チェンバーの構造は、鉛板とエマルジョン・フィルムからなる標的層と低密度のスチロフォーム板とエマルジョン・フィルムからなるスペクトロメーター層で構成される。前者で衝突を発生させ、後者で荷電粒子のトラッキングを行い、運動量を決定する。チェンバーは、物質中での電磁多重散乱及びガンマー線を起源とする電子・陽電子対生成を抑えるために、物質量を少なく設計されている。その結果、電磁散乱による運動量の誤差は、約13%に抑えられ、スペクトロメーター層全体では、23%のガンマー線が対生成を起す。

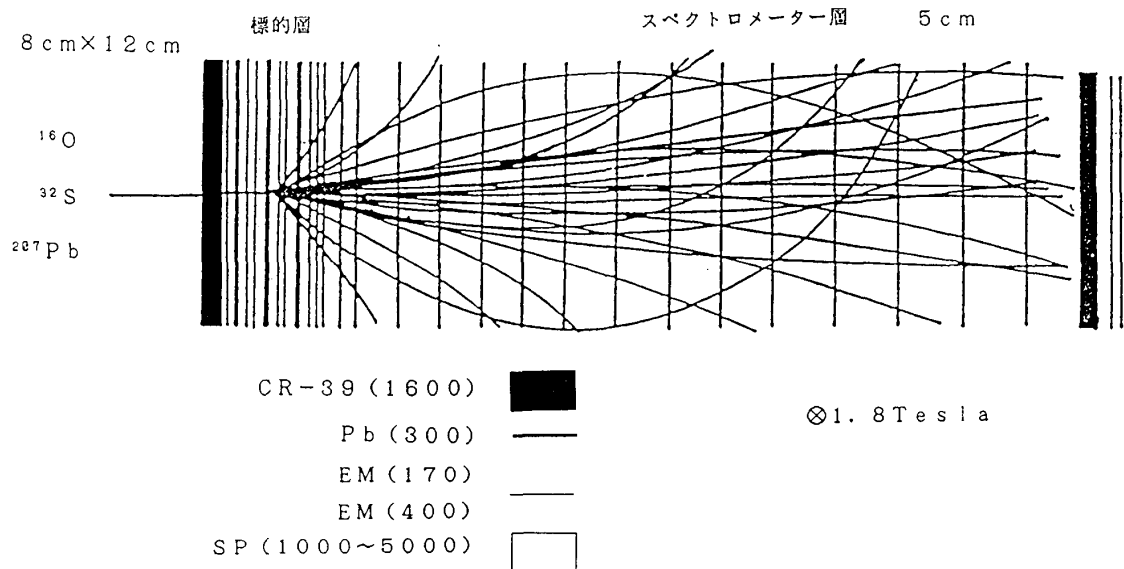


図1 測定器の概略

CR-39はプラスチック飛跡検出器、Pbは鉛板、EMはエマルジョン、SPはスチロフォーム板を意味し、括弧の中の数字は、各々の厚さを $\mu\text{m}$ 単位で示している。磁場の方向は、紙面に垂直である。

我々は、厚さ約5 cmのスペクトロメーター層で効率よくトラッキングを行うために、トラック認識は人間が行い、その手助け及び記憶はコンピューターに行わせるシステムを開発した。この装置は、顕微鏡のステージと連動した仮想画像とCCD-TVカメラからのエマルジョン画像を、画像処理装置によってモニターテレビ上で重ね合せ表示するものである。ここでは、測定装置及び測定精度について述べる。

## 2 方法

現在、我々は硫黄原子核と鉛の衝突を観測し、荷電二次粒子の多重度が400以上の事例についてトラッキングを行っている。EMU05実験では、荷電二次粒子の運動量を精度よく決定するために、飛跡を衝突点から約5 cm下流まで追跡する必要があるが、下流に行くほど横方向に拡がり、測定装置は広い測定範囲を覆う必要がある。衝突点から約5 cm下流までに十数層のエマルジョン・フィルムがあり、各フィルム上で衝突点の投影点を中心とし

て  $3\text{ cm} \times 3\text{ cm}$  の範囲を  $1\ \mu\text{ m}$  の精度で測定を行っている。

この実験において、エマルジョン画像だけを使用して測定を行う場合には、以下に示す2つの問題点がある。第一は、衝突事例の測定は衝突点直下のエマルジョン・フィルムから始めるが、放出された二次粒子は発生点から数  $100\ \mu\text{ m}$  しか離れていないため、トラックが非常に狭い領域に集中しており、トラック座標測定の欠落や重複を行うという混乱が生じ、後の訂正に多くの時間を要することである。第二は、トラックを下流のエマルジョン・フィルム上で追跡する際、バックグラウンドから目的とするトラックを識別する場合に生ずる。トラックの予想位置、方向及びエマルジョン中での長さの情報は数値として表され、観測者がトラックをイメージする必要があるため、しばしば混乱を生じ多くの時間を要することになる。

開発した座標測定装置では、以上の問題点を次のように解決した。第一については、座標測定と同時に仮想画面上のトラックの位置にマークを残し、このマークをステージに連動してトラックに常に重ね合わせることによって解決した。第二については、トラックの情報をベクトルとして予想位置に表示することによって、容易にバックグラウンド・トラックからの識別を可能にし、識別したトラックの測定点にマークを残すことによって、重複した測定を行ったトラックの確実な発見を可能にした。

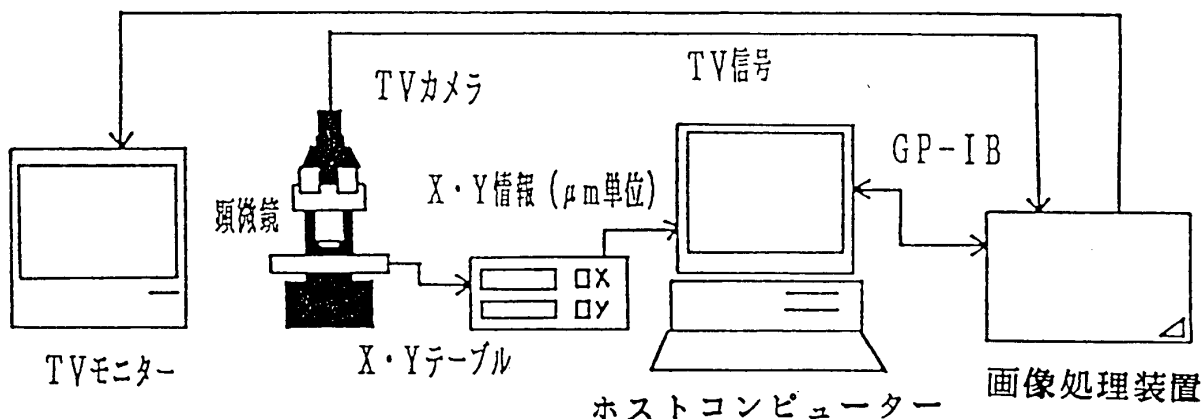


図2 測定装置の構成図

### 3 装置の構成

システムの構成は図2に示すように、1) 工業用金属顕微鏡及びX-Yステージ、2) CCD-TVカメラ、3) 画像処理装置、4) モニターテレビ、5) ホストコンピューターから構成されている。ステージは  $1\ \mu\text{ m}$  の座標精度でX-Y方向に移動でき、X方向に  $10\text{ cm}$ 、Y方向に  $5\text{ cm}$  の作動範囲を持ち、その座標値はホストコンピューターに常時送ら

れている。CCD-TVカメラは、顕微鏡に取り付けられ、エマルジョン画像を常に画像処理装置に送っている。画像処理装置は、ホストコンピュータからステージの位置情報を受け取り、マークを表示する仮想画像（ステージに連動して移動する）とCCD-TVカメラから送られるエマルジョン画像を重ね合せ、モニターテレビに映し出している。座標の測定は、モニターテレビの中心に表示されている十字マークの中心にトラックを移動することによって行うため、モニターテレビの歪及び光学系による画像の歪は座標測定結果には影響しない。また、画像処理装置によって画像の入出力レベルを調節することによって、エマルジョンに記録されているトラックをより鮮明に映し出すこともできる。

#### 4 座標精度及び運動量精度

このシステムでは、全ての座標測定はステージによって行われ、 $1\mu\text{m}$ の精度で座標値は得られる。一方、トラッキングは十数層について行われるため、各層毎に再構成を行う必要がある。我々は、衝突点近傍 $500\mu\text{m}$ 以内の十数本と、 $5000\mu\text{m}$ から $15000\mu\text{m}$ 離れた領域で十数本の合計二十数本のビームトラックを基準点として用い、各層間の平行・回転移動の再構成を行っている。近接二層間のビームトラックの誤差分布を図3に示す。

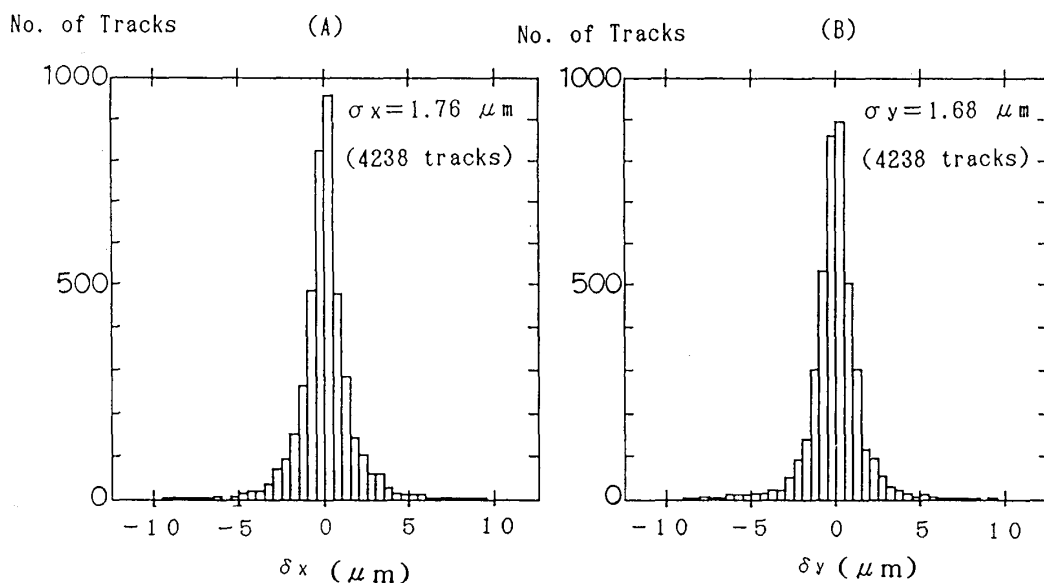


図3 再構成された座標の誤差分布 A) 磁場に垂直方向 B) 磁場に水平方向  
横軸は $\mu\text{m}$ 単位で座標誤差を、縦軸は頻度を意味している。

この結果から各層間の座標精度は、磁場に垂直なX座標が $1.76\mu\text{m}$ 、磁場に平行なY座標が $1.68\mu\text{m}$ である。再構成されたX座標とビームの入射軸方向のZ座標について最小自乗法によって円をフィットして求められる曲率半径Rとその決定精度 $\sigma_R$ の運動量P (GeV/c)依存性を図4に示す。この図で、 $P > 20\text{GeV}/c$ の領域での運動量の増大に伴う

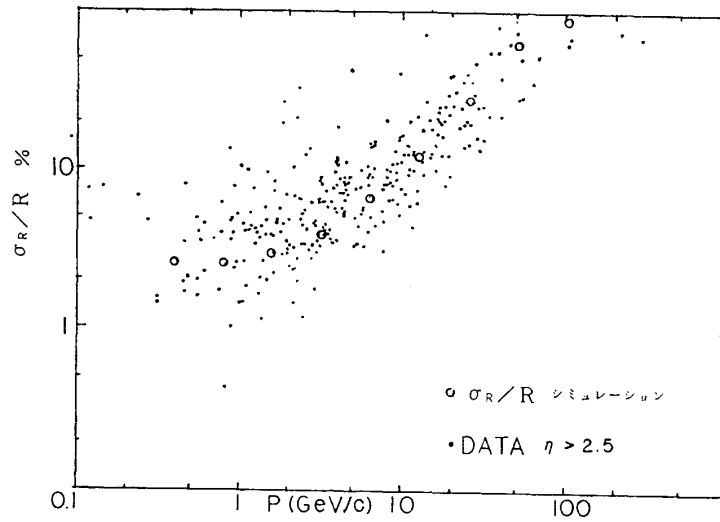


図4 曲率半径決定精度の運動量依存

横軸は運動量P(GeV/c), 縦軸は曲率半径決定精度を意味している。また, ●はデータを意味し, ○及び△は各々シミュレーションから得られた曲率半径の決定精度と運動量の精度である。実線は,  $\sigma_R/R = (1.7 + P/2) \%$  である。

$\sigma_R/R$ の増加は, 測定座標精度の限界を示している。また, シミュレーション結果から得られた運動量と精度の関係 ( $\sigma_R/R = (1.7 + P/2)$ ) と測定結果はよく一致している。運動量の精度は, スペクトロメーター層全体の物質量によって決定される多重散乱による誤

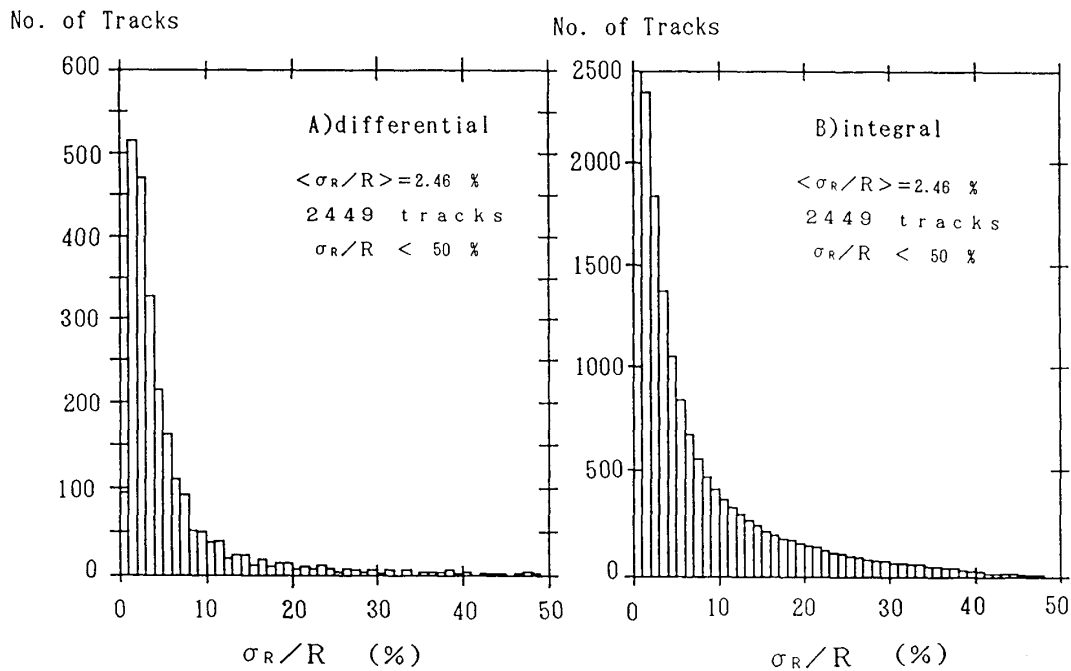


図5 曲率半径決定精度の個数分布 A) 微分型 B) 積分型

横軸は曲率半径決定精度, 縦軸は頻度を意味する。

差 (13%) を免れず,  $\sigma_P/P = 13\% + \sigma_R/R$  と表されるため, 曲率半径の決定精度を小さく抑えることが重要となる。曲率半径の決定精度の微分及び積分分布は,  $\sigma_R/R < 50\%$  のトラックについて図5に示した。このデータから曲率半径の決定精度の平均値  $\langle \sigma_R/R \rangle$  は2.46%であり, 運動量の精度  $\langle \sigma_P/P \rangle$  は15.46%である。また, 物理量の解析の際には,  $\sigma_R/R < 20\%$  のトラックが対象になる。図5-Bで示すように解析の対象外になるトラックは, 全体の10%である。

## 5 測定結果

このシステムを用い測定した硫黄原子核と鉛との中心衝突事例と, 既に酸素原子核と鉛との衝突で報告<sup>2)</sup>されている擬ラピディティ ( $\eta = -\ln \tan \theta/2$ ) 分布を, 図6に示す。両分布は, 分布の形が似ており, 重ね合わせの描像に近いと言える。中央ラピディティ領域 ( $2 < \eta < 4$ ) のトラックについて, 正及び負電荷の粒子別の横方向運動量 ( $P_T$ ) 分布<sup>2)</sup>を, 図7に示す。ここで, データを線形指数型の横方向運動量分布 ( $d^2N/dP_T^2 \propto \exp(-P_T/P_0)$ ;  $P_0 = 170 \text{ MeV}/c$ ) と比較すると, 既に報告されている様な低い  $P_T$  成分<sup>4)</sup>の増加は認められなかった。正電荷粒子及び負電荷粒子の平均横方向運動量  $\langle P_T \rangle$  は, 各々  $382 \pm 10 \text{ MeV}/c$ ,  $346 \pm 20 \text{ MeV}/c$  と得られ, 宇宙線実験<sup>3)</sup>で報告されている増大傾向は認められない。

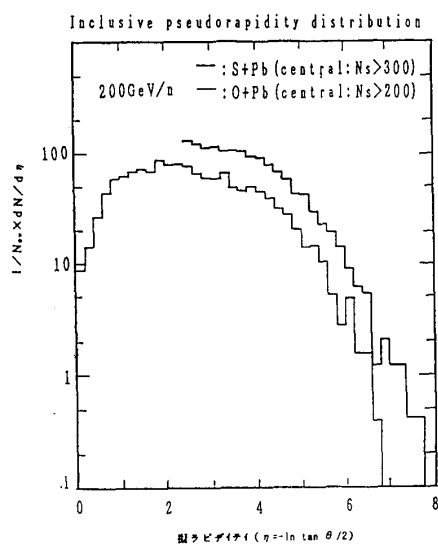


図6 荷電粒子の擬ラピディティ分布

横軸は擬ラピディティ ( $\eta = -\ln \tan \theta/2$ ;  $\theta$  は放出角), 縦軸は全事例数  $N_v$  について平均した頻度である。

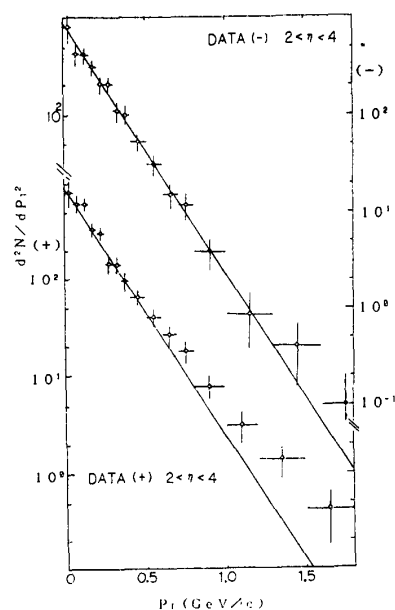


図7 横方向運動量分布

横方向運動量  $P_T$ , 縦軸は頻度である。(+)及び(-)は粒子の電荷を意味している。実線は,  $P_0 = 170 \text{ MeV}/c$  の線形指数型横方向運動量分布 ( $d^2N/dP_T^2 \propto \exp(-P_T/P_0)$ ) である。

## 6 考 察

画像処理装置を用いた座標測定装置の導入により、多重度約500を伴う事例について一層のトラッキングを約2.5時間で終了することが可能になった。これは、エマルジョン画像だけの測定に比べ、3倍の速度向上となった。また、測定終了後のデータの見直しが必要となるトラックの数も全トラックの5%以下に減少し、時間の短縮がなされた。更に、トラックの予想座標位置をベクトルで表示することによって、識別に多くの時間を要していた45°以上の放出角を持つトラックも、トラッキングが可能になった。この測定装置を使用した場合、一事例の測定に必要な時間は、エマルジョン画像だけを使用する場合の約十分の一になった。その結果、これまでより短時間で統計量を増やすことが可能になり、現在報告されているような横方向運動量の小さい成分の過剰が存在するかどうかをより詳しく議論できる。

1993年にCERNで予定されているエネルギー180GeV/amuの鉛ビーム実験<sup>5)</sup>では1500以上の多重度が予想され、開発した測定装置はこの実験も想定して作られている。また、次のような改良を加えることでより有効なシステムになると思われる。トラッキングが下流に進むにつれて粒子が横方向に広がり、現在使用している手動ステージでは予想位置への移動に殆どの時間が費されるため、自動ステージの導入は測定時間の短縮と人間の労力の軽減の意味で有効である。また、トラックの認識作業には、エマルジョン・フィルム中のバックグラウンド・トラックを少なく抑えることが重要である。更に、現在観測者によって行われているトラックの認識作業のうち、放出角の正接 ( $\tan \theta$ ) が0.02以下の粒子に対しては、認識の自動化が容易であり、測定時間の短縮が予想される。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたり、日頃御指導を賜っている岡山理科大学・今枝国之助教授、また、実験装置の開発にあたり尽力して頂いた同大学・山本勲助教授、富山毅助教授に深く感謝致します。システムの開発にあたり、岡山大学・和田俱典助教授、(株)ADSの金田幹雄氏の御助力に感謝致します。

また、本実験は日米共同のCERN-EMU05実験の一部であり、実験データの解析等について御指導頂いた東京大学・宇宙線研究所・尾形健助教授を初めとする日本側メンバー皆様、アラバマ大学・高橋義幸助教授を初めとする米国側メンバー皆様に深く感謝致します。

なお、本研究の一部は、文部省科学研究費補助金(奨励研究(A)特別研究員No.01790214)によった。

## 参考文献

- 1) Proceedings of the Sixth International Conference on Ultra-Relativistic Nucleus-Nucleus Collisions-Quark-Matter 1987, Phys. C, **38**, 1-370(1988)
- 2) Y. Takahashi et. al(EMU05 collaboration), Nucl. Phys. **A478**, 675(1989); J. Phys. Soc. Jpn. Suppl., **58**, 746(1989)
- 3) T. H. Burnett et. al., Phys. Rev. Lett. **57**, 3249(1987); Nucl. Phys. **461**, 263(1987); Phys. Rev. **35D**, 824(1987);
- 4) Atwater et. al., Phys. Lett. **199B**, 30(1988)
- 5) P. Darriulat, Z. Phys. C, **38**, 325(1988); A. Sandoval, Z. Phys. C, **38**, 329(1988)



# Coordinate Measurement System for Nuclear Emulsion Film Supported by an Image Processor

(The CERN EMU05 Experiments)

Atushi IYONO

*Graduate School of Science*

*Okayama University of Science*

*1-1 Ridaicho, Okayama 700 Japan*

(Received September 30, 1989)

Central collisions of  $^{16}\text{O}$  and  $^{32}\text{S}+\text{Pb}$  at 200 GeV/amu have been studied by the emulsion spectrometer in the CERN-EMU05 experiments. Particle angle, momentum and charge signs are measured. Track coordinates should be measured by using a microscope effectively, in order to determine momentum in the event accompanied with more than 500 charged multiplicity. A new coordinate measurement system is build up by using an image processor for purpose of mitigation of track recognition by observers. In this system, track information of its position, direction and length in a emulsion are expressed as a vector, linked with the motion of micro X-Y stage and are superimposed on an emulsion image on a TV-monitor. As a result, data acquisition is about ten times faster than that by using only an emulsion image. Particularly, this system is effective to recognize tracks emitted in more than 45 degree. We describe this system in this report.