

INSTITUTE FOR NUCLEAR STUDY  
UNIVERSITY OF TOKYO  
Tanashi, Tokyo 188  
Japan

INS - T - 475

September 1987

## TOPAZ Inner Drift Chamber の製作

河野 耕二	今西 章	石井 孝信	加藤 貞幸
増田 均	森本 照久	法村 香音子	大島 隆義
奥野 英城	椎野 二男	鶴飼 熊太郎	吉岡 正和

東京大学原子核研究所

Construction of the TOPAZ Inner Drift Chamber

K. Kono, A. Imanishi, T. Ishii, S. Kato,  
H. Masuda, T. Morimoto, K. Norimura, T. Ohshima,  
H. Okuno, K. Shiino, K. Ukai and M. Yoshioka

Institute for Nuclear Study, The University of Tokyo

Abstract

An Inner Drift Chamber (IDC) has been constructed for the TOPAZ  $e^+e^-$  experiment at TRISTAN. The IDC has a cylindrical shape with dimensions of 20 cm in inner diameter, 60 cm in outer diameter and 150 cm long.

The IDC is equipped with 1024 anode wires grouped into 10 layers. For the position readout along the anode wires, eight delay-line layers are placed on coaxial cylinders made of Normex honeycomb. The chamber is operated with a gas mixture of Ar(89%)/CO<sub>2</sub>(10%)/CH<sub>4</sub>(1%) at an atmospheric pressure.

In this paper, details of the mechanical structure and the fabrication procedures are described.

# TOPAZ Inner Drift Chamber の製作

## 目 次

1. 序	2
2. TOPAZ Inner Drift Chamber の概要	2
3. Chamber の基本構成	4
3-1 Wire Pattern	4
3-2 Delay Line の配置	6
3-3 物質量	7
3-4 Trigger Pattern	8
4. Chamber の構成要素	9
4-1 Endplates	9
4-2 Inner and Outer Cylinders	10
4-3 Wires and Feedthroughs	11
4-4 Delay Lines	12
4-5 Cathode Cylinders	13
5. Chamber の組立て	14
5-1 構造体組立て	15
5-2 Wire 張り	16
5-3 高圧 Distributer と Preamp	18
5-4 ガス・シール	18
6. Chamber の構造に関するテスト	19
6-1 Wire 張力の測定	19
6-2 ガスのリーク・テスト	21
6-3 高圧印加テスト	21
7. TOPAZ 検出器への組込み	22
7-1 運搬	22
7-2 組込みと固定	22
8. 実験での使用結果	22
謝辞	23
参考文献	24

## 1. 序

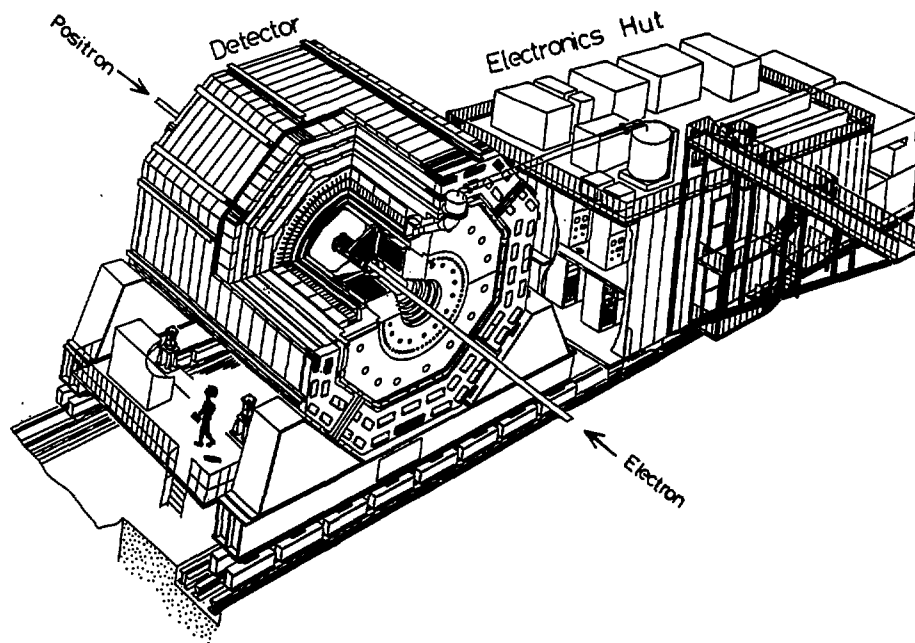
茨城県・筑波学園都市にある、高エネルギー物理学研究所（略称 KEK）において、30 - GeV 電子・30-GeV 陽電子の衝突型加速器“TRISTAN”（1）が稼動を始めた。東大原子核研究所の高エネルギー物理研究部からも“TOPAZ”グループ（2）に参加し、“Inner Drift Chamber”（IDC）の製作を行った。

IDC は、TOPAZ 測定器の最内殻に設置される荷電粒子検出装置で、電子と陽電子の衝突によって創生される多数の荷電粒子の飛跡を検出するものである。IDC の構造は、種々のプロトタイプを試作、テスト実験を経て決定され、その製作は核研で行われた。1986年 6月に完成し、TOPAZ 測定器に組み込まれて、宇宙線によるテスト実験を終えたのち、1987年 5月から、世界最高エネルギー  $\sqrt{s} = 52 \text{ GeV}$  での電子・陽電子衝突現象の測定に使用されている。

ここでは、IDC の機械的構造を中心に記述すると同時に、IDC の製作過程についても詳述する。

## 2. TOPAZ Inner Drift Chamber の概要

Inner Drift Chamber は、TOPAZ 実験装置の中では、電子・陽電子ビームの衝突点の最も近傍に組み込まれる。第1図に TOPAZ 実験装置の全体構成図を示す。



第1図 TOPAZ 実験装置の概観図

荷電粒子の飛跡検出器としては、内径 145cm、長さ 510cm の超伝導ソレノイド磁石 (1Tesla) の中に円筒型の Time Projection Chamber (TPC) と IDC が設置されている。IDC は、ビーム・パイプの直後の  $r=10\text{cm}$  から  $r=30\text{cm}$  の位置を占め、ビームが走る Z 軸方向には、150cm の長さを持つ。この領域で、電子・陽電子衝突の結果創生される荷電粒子の飛跡を測定する。IDC の TOPAZ 実験装置の中での役割は、次の二点に要約される。

- (1) TOPAZ 実験装置が、ビーム・ビーム衝突の事象だけを選び出して、主要な荷電粒子飛跡検出器である TPC で飛跡測定を行えるよう、荷電粒子飛跡に対するトリガー信号を発生させる。
- (2) 衝突点近傍で、荷電粒子の飛跡位置の精密測定を行い、TPC での飛跡測定と組み合わせ、荷電粒子の飛跡の立体的再構成を行う。

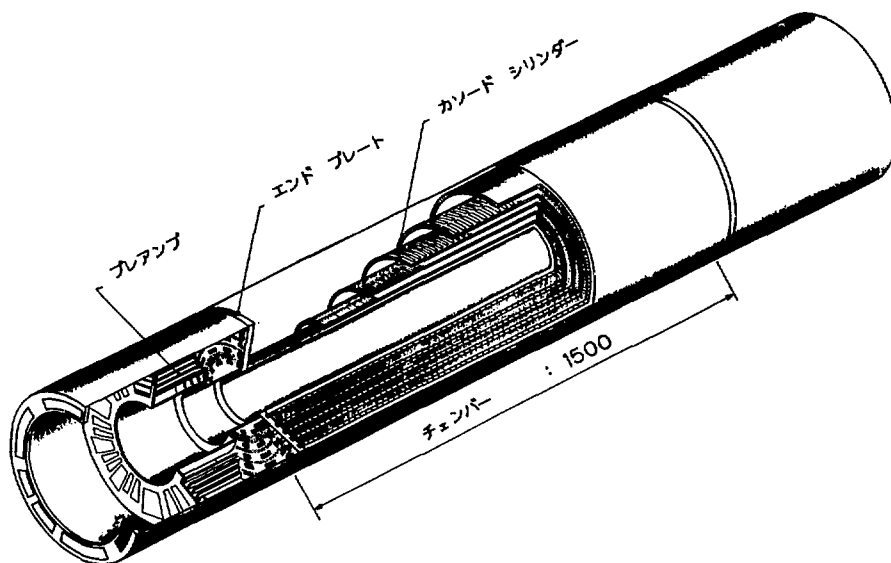
IDC は、これらの役割を、ビーム・ビーム衝突点近くの非常にバックグラウンドの多い厳しい条件の下で行う必要がある。また、いったん TOPAZ 実験装置の中に組み込まれると故障の場合の修理は容易でないので、十分安定に動作することも考慮しておくことが重要である。このためには、IDC の機械的構造としては、次のような条件を必要とする。

- イ. Wire の位置精度が  $50\mu\text{m}$  以下であること。
- ロ. 荷電粒子の多重散乱やガンマ線の電子対への変換率を出来るだけ小さくするために Chamber の物質量を少なくすること。
- ハ. 出来るだけドリフト距離を短くし、高い計数率に耐えられるようにすること。
- ニ. Z 方向の位置の読み出しも可能であること。
- ホ. Wire が断線した場合にも、多くの Wire に被害が及ばないよう多層構造とすることである。

以上のような条件を考慮し、10層の Anode Wire 面を持つ Drift Chamber を設計した。Z 方向の位置の読み出しは、Cathode をかねる zig-zag パターンの遅延 Strip Line (Delay Line) を用いて行うこととした。

第2図に IDC の構成断面図を示す。有感領域は、半径  $10\text{cm} - 30\text{cm}$ 、長さ  $150\text{cm}$  で、両 Endplate の間には 1024 本の Anode Wire (金メッキタングステン線,  $30\mu\text{m}$   $\phi$ ) および 2176 本の Potential Wire (金メッキ・モリブデン線,  $120\mu\text{m}$   $\phi$ ) がはられている。Wire の位置の精度は、両端のアルミニウム製 Endplate によって決定される。この有感領域には、Delay Line を支持するための Normex ハニカム製の同軸円筒5層が組みこまれている。Wire は、この円筒により、4つの層に分割区別されている。両 Endplate の外側には、Anode Wire および Delay Line の微小信号を増巾し、エレクトロニクス・ハットまで送るためのプリアンプを収納するスペースがある。

機械的構造としては、3200本の Wire の張力 (674kg) を、内筒、外筒および Endplate で支え、Wire の位置の精度は、Endplate 上の Wire 支持用穴の精度で決まるようにすることを基本とした。また、IDC は 1 気圧の Ar (89%) / CO<sub>2</sub> (10%) / CH<sub>4</sub> (1%) の混合ガスで運転するので、外部からの空気の浸入を妨ぐため、気密性を高く出来るように配慮した。



第2図 IDC の構成断面図

表-1 にIDC の基本パラメータを示す。

表-1 IDC の基本パラメータ

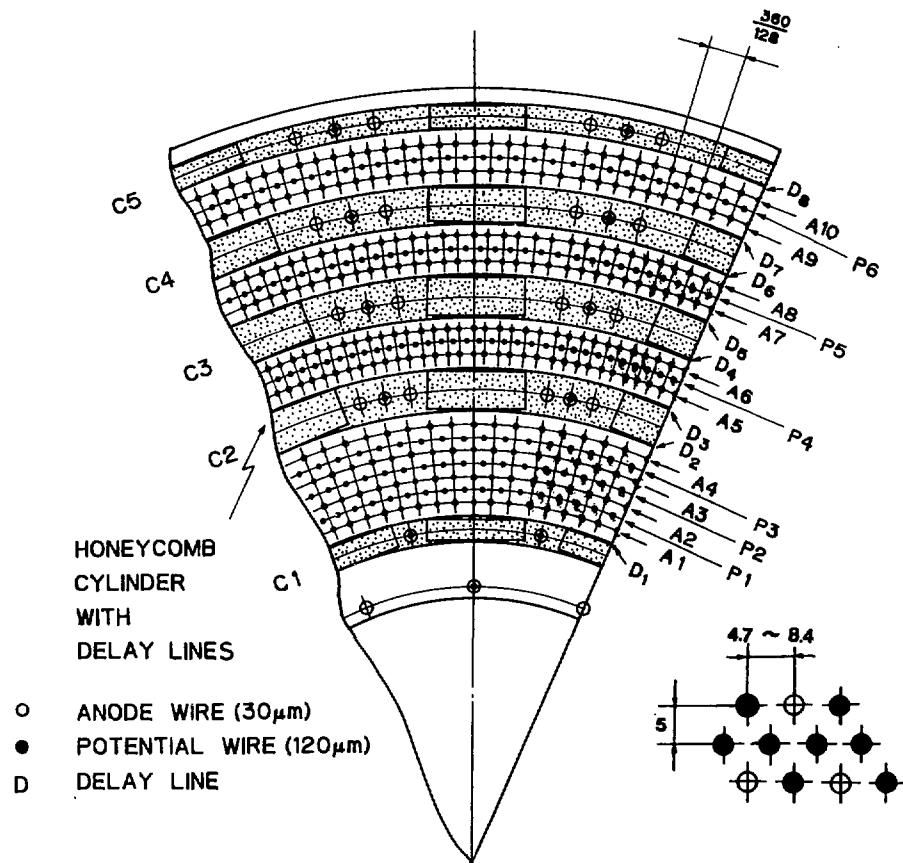
内 径	100mm
外 径	300mm
長 さ	1500mm (有感領域部分のみ)
Anode Wire	1024本 (10層) (金メッキ・タングステン線, 30 $\mu$ m $\phi$ )
Potential Wire	2176本 (16層) (金メッキ・モリブデン線, 120 $\mu$ m $\phi$ )
Delay Line	256本 (8層)
ガス HRS-gas	1気圧 (Ar (89%) /CO <sub>2</sub> (10%) /CH <sub>4</sub> (1%))

### 3. Chamber の基本構成

#### 3-1 Wire Pattern

IDC は、高エネルギーの  $e^+e^-$  衝突の結果ジェット状に発生する多数の粒子の飛跡を

測定できること、高い計数率に耐えられること、1Tesla の磁場の中で使用されること、飛跡のパターンからトリガー信号を作るのが高速かつ単純に出来ることなどを考慮に入れて、シミュレーションおよびプロトタイプでの実測の結果にもとづき、第3図に示されるような Wire および Delay Line 層のパターンが選ばれた。



第3図 ワイヤー及びディレイ・ラインのパターン

Wire の空間は、両表面にディレイラインの張りつけられたハニカム・シリンダーにより4つの部分に分割されている。内側部分は、4層の Anode Wire 層から成り、各層には64本の Anode Wire がある。また外側の3つの空間は、それぞれ2層の Anode Wire 層から成り、それぞれに128本の Anode Wire がある。各空間内で、隣りあう2層の Anode Wire は半セルずらされており、ドリフトチェンバーでドリフト時間から飛跡位置を計算する際の左右の不確定性を解消するようにしている。また、Anode 層の中間に置かれた Potential Wire の層は、Anode から $\frac{1}{4}$ セルずらせてあり、一つのセル内で、出来るだけ等電位線図が円に近くなるようにしてある。これは、強磁場下でのドリフト距離 — ドリフト時間の関係を出来るだけ直線に近づけるためである。これらの詳細については参考文献

献〔3〕を参照されたい。

ワイヤー・パターンの詳細を表-2に示す。

表-2 Wire の位置

層	半 径 (mm)	アノドワイヤー の本数	ポテンシャルワイヤー の本数	ワイヤー間 の距離 (mm)
A1	136	64	64	6.68
P1	141		128	6.92
A2	146	64	64	7.17
P2	151		128	7.41
A3	156	64	64	7.66
P3	161		128	7.90
A4	171	64	64	8.39
A5	191	128	128	4.69
P4	196		256	4.81
A6	201	128	128	4.93
A7	226	128	128	5.55
P5	231		256	5.67
A8	236	128	128	5.79
A9	261	128	128	6.41
P6	266		256	6.53
A10	271	128	128	6.65
合 計		1024 本	2176 本	

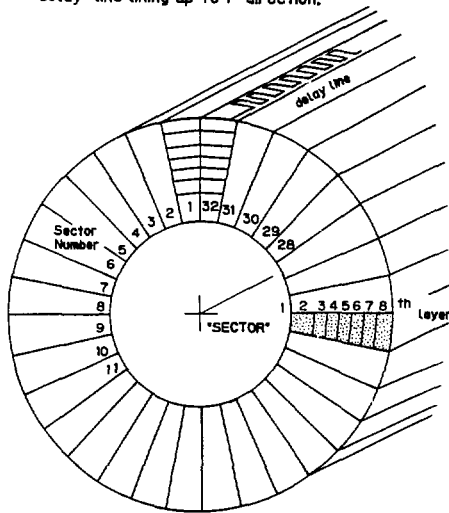
### 3-2 Delay Line の配置

Delay Line は、75 $\mu$ m のポリイミド・フィルムの両面に、zig-zag 型の銅のパターンをプリントしたもので、第3図に示されるように、ハニカム製円筒の D1 ~ D8 の各表面に配置されている。第4図にその配置の全体像を示す。各層とも円周が32分割されており、32本の Delay Line が配置される。従って、各 Delay Line の巾は、配置される半径に比例して決められる。これらの構造は、プロトタイプテスト〔4〕を通じて得られた Delay Line の単位長さあたりの Delay や減衰率などを考慮して決められた。この配置では、1本の Delay Line は D1 および D2 の層では2本の Anode Wire に、D3 ~ D8 の層では4本の Anode Wire に対応するように配置されている。

表-3に、各 Delay Line の位置および巾を示す。



32 segmentation for  $r\phi$ -direction  
 "sector" consists of 8 layers of  
 delay-line lining up to r-direction.



第4図 Delay Line  
 の配置図

表-3 Delay Line の位置と巾

層	中心からの半径 (mm)	Delay Line の本数	Delay Line の巾 (mm)
D1	131	32	23.55
D2	171	32	30.72
D3	186	32	33.44
D4	206	32	37.03
D5	221	32	39.70
D6	241	32	43.29
D7	256	32	46.00
D8	276	32	49.59
合計		256 本	

Delay Line からの信号は、両端から取り出され、プリアンプ部に接続される。

### 3-3 物質量

IDC は、通過する粒子の飛跡への影響を出来るだけ最少限に抑えるために、機械的に可能な範囲で、薄く、軽い物質で製作しなければならない。特に、荷電粒子の散乱による飛跡の曲がりや、 $\gamma$ 線の電子・陽電子対への転換効率などは、放射長 (Radiation Length) で測った厚さにより決まるので、Zの小さい物質を使用しなければならない。

また、IDC は強磁場 (1Tesla) 中で使用するので、磁性体の使用をさげなければならない。表-4 には、IDC を構成する物質量の一覧表を示す。

表-4 IDCの各層の物質量

	材 質	層数	厚 さ	
			mm	Xo ( $\times 10^{-2}$ )
内円筒	アルミニウム	1	1.5	1.69
外円筒	CFRP	1	1.5	0.79
ハニカム・シリンダー				
1	Cu 18 $\mu$ m	16	0.28	1.01
2	ポリイミド 75 $\mu$ m	10	0.75	0.37
3	ハニカム	5	64.0	0.87
アノードワイヤー	gold-plated W 30 $\mu$ m $\phi$	10		0.02
ポテンシャルワイヤー	gold-plated Mo 120 $\mu$ m $\phi$	16		0.20
ガス	Ar (89%) /CO <sub>2</sub> (10%) /CH <sub>4</sub> (1%) 1atm	4	100.0	0.09
合 計				5.09

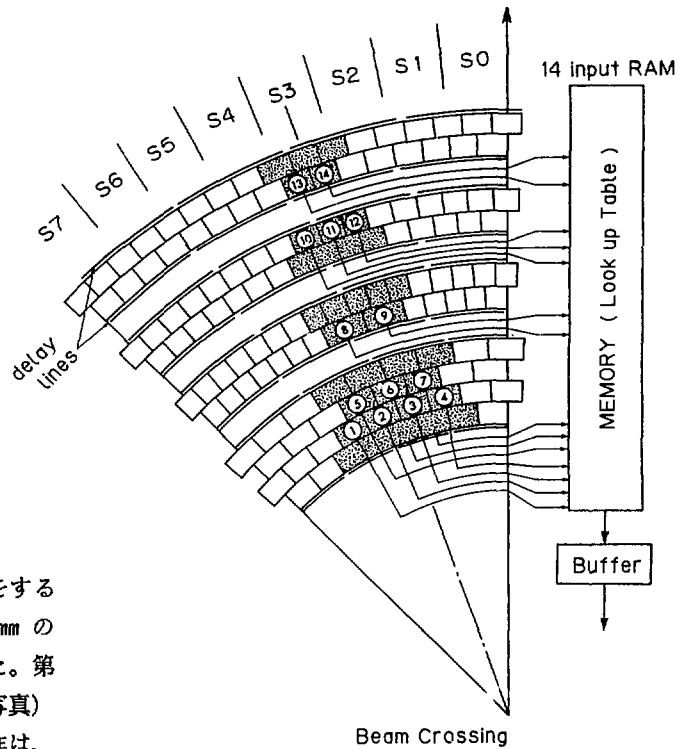
### 3-4 Trigger Pattern

IDC の重要な役割のひとつは、 $e^+e^-$  が双方向から検出器内の衝突点を通過するとき、真の  $e^+e^-$  衝突現象が起こったかどうかを判定して、検出器全体に対するトリガー信号を発生させることである。

本 IDC では、 $r\phi$ -平面内に、ビーム衝突点から発生する飛跡の有無を 1 $\mu$ sec 以内に判定でき、 $r_z$ -平面内での飛跡の有無を 2 $\mu$ sec 以内に判定できるように設計した。飛跡の有無判定用のエレクトロニクス回路については、別の報告を参照されたい。(5, 6)

$r\phi$ -平面の飛跡は、あらかじめ設定したヒット・パターンと合致するワイヤーにヒットがあったかどうかで判定する。円周は、64のセクターに分割され、各セクターは第5図に示されるように14本のセルから構成される。

$r\phi$ -平面については、Delay Lineの情報により、 $r\phi$ -平面で衝突点を通過する飛跡があったかどうかの判定を行う。この Delay Line の  $r\phi$ -平面での分割は32である。



第5図  $r\phi$ -平面でのトリガー・パターン

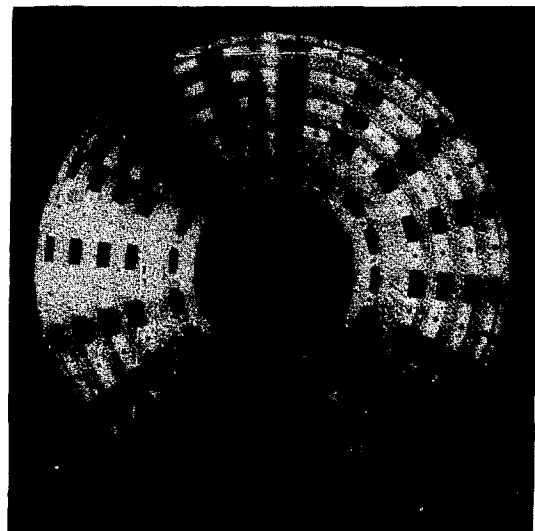
#### 4. Chamber の構成要素

##### 4-1 Endplates

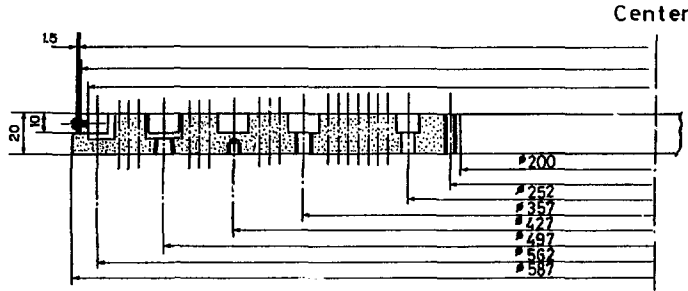
ワイヤーの位置決めをする Endplate には、厚さ 20mm のアルミニウム板を用いた。第6図(a), (b)に平面図(写真)及び断面図を示す。製作は、KEK の工作室に導入された数値制御のフライス盤で行われた。

製作にあたっては、寸法精度が  $\pm 30\mu\text{m}$  以内になるように、加工時の温度の調節、穴あけ用ドリルの調整などが行われた。Wire 用には  $3\text{mm}\phi$  の穴が 3,200個、ガス配管用の  $10\text{mm}\phi$  の穴が10個、Delay Line からの信号取り出し用の矩形穴が80個あけられている。さらにプレアンプ部のパーツ取り付け及び固定用穴が198個加工されている。

また、ハニカム・シリンダーを支持するために、Endplate の内側には、5個の同心円状溝がほられている。



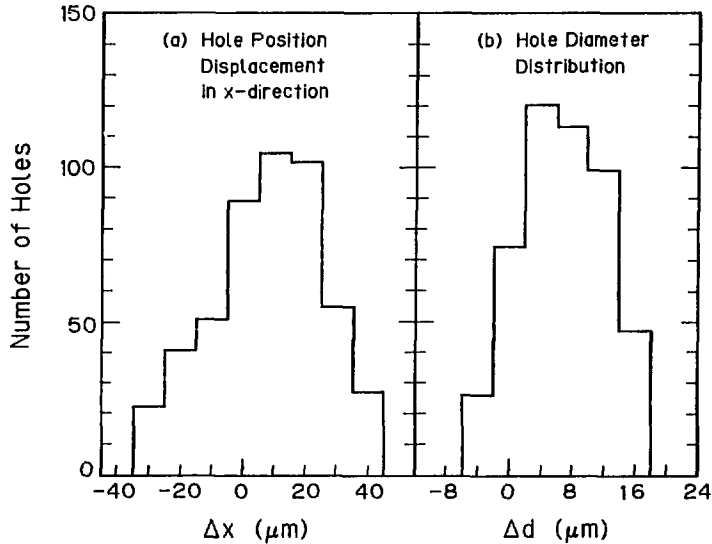
第6図(a) 完成した Endplate



第6図(b)  
Endplate 断面図

ハニカム・シリンダーの端部は、この溝の内側で精度良く支えられている。

Endplateの穴位置及び直径は、製作後 KEK工作室で三次元位置測定器を用いて測定された。第7図(a)には、サンプリングした穴の位置精度を示す例として、 $x-y$ 平面における穴位置の $x$ -方向の設計値からのズレの分布を示す。 $x$ -方向の精度は $\pm 20 \mu\text{m}$ であった。また、穴の直径の設計値からのズレの分布も測定した。その結果を第7図(b)に示す。直径の精度は $\pm 6 \mu\text{m}$ であった。



第7図 (a)  $x$ -方向の位置のズレの分布、(b) 穴直径のズレの分布

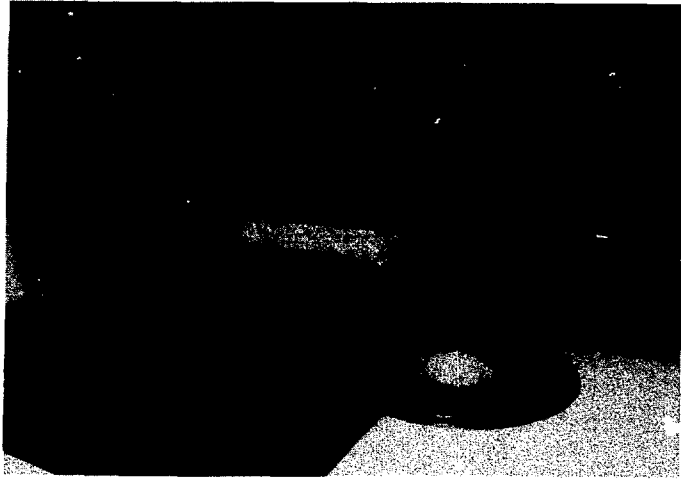
#### 4-2 Inner and Outer Cylinders

Inner Cylinder 及び Outer Cylinder は、両 Endplate 間に張られる Wire の張力 (674kg) を支える。ガス・シール等のことを考慮して Inner Cylinder はアルミニウム製とし、その肉厚は、1.5mm とした。また、長さ方向の両端にはフランジをつけ、Endplate 間の寸法を決定するようにした。ガスシールは、O-リング方式と

した。

Outer Cylinder  
は、物質量を少なく  
するため CFRP  
(1.5mm) で製作  
した。

Outer Cylinder  
は、Endplate の  
側面に、ビス止め  
して固定し、ガス  
シールは、シリコ  
ン・コンパウンド  
を充填した。第 8  
図に完成した  
Cylinder 及び  
Endplate の写真  
を示す。



第 8 図 完成した各 Cylinder と Endplate

#### 4-3 Wires and Feedthroughs

本 IDC の Wire としては、以下の Wire を使用した。

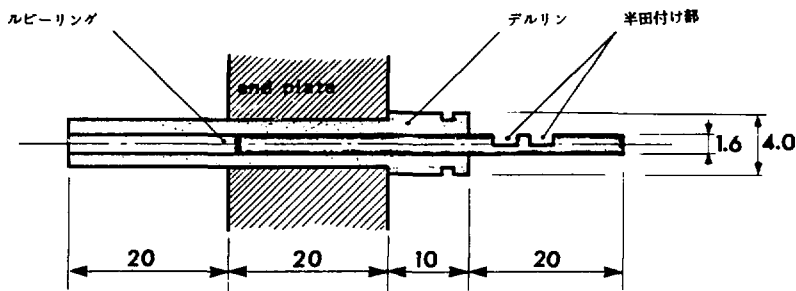
表-5 Wire

	種 類	直 径	グレード
アノード ワイヤー	金メッキ タングステン線	30 $\mu$ m $\phi$	直線性：第 1 級
ポテンシャル ワイヤー	金メッキ モリブデン線	120 $\mu$ m $\phi$	

モリブデン線を使用したのは、切断までの Wire の伸びが大きく、Wire 断線の際の修理が容易であるためである。

Feedthrough は、Endplate の 3mm $\phi$  の穴の中で、Wire の位置を精度良く決める役割を果たす。同時にこの Wire には高電圧がかけられるので、耐電圧が十分でなければならない。更に、ガスシールも十分考慮されなければならない。

本 IDC では、第 9 図に示すような Feedthrough を用いた。デルリン製の絶縁ピンの中心には、磷青銅製のワイヤー固定ピンが挿入される。このワイヤー固定ピンの



第9図 Feedthrough 断面図

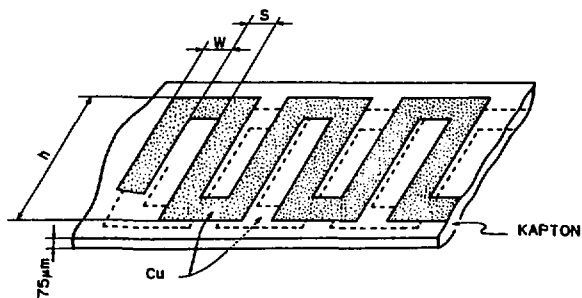
先端には、精度良く穴のあけられたルビー・リングがはめられている。ルビーの穴の大きさは、Anode Wire 用には  $60\mu\text{m}$   $\phi$ 、Potential Wire 用には  $160\mu\text{m}$   $\phi$  で、その精度は  $\pm 2\mu\text{m}$   $\phi$  である。Wire がこの穴に通されて、外部にきざまれたへこみ部分で半田付けされる。Wire の位置決めをするルビー部分は、Endplate の内側表面に位置するようにしてある。

#### 4-4 Delay Lines

IDC の Z-方向の位置読み出し用 Delay Line は、第10図(a)に示されるように、ポリイミド・フィルム ( $75\mu\text{m}$ ) の両面に、zig-zag パターンの銅ストリップ ( $18\mu\text{m}$ ) をプリントすることにより製作された。そのパターン形状は、必要な Delay、信号の減衰などから決定された〔4〕が、各層の厚さについては、製品として購入出来る銅張りポリイミド・フィルムの最も薄いものを選択した。

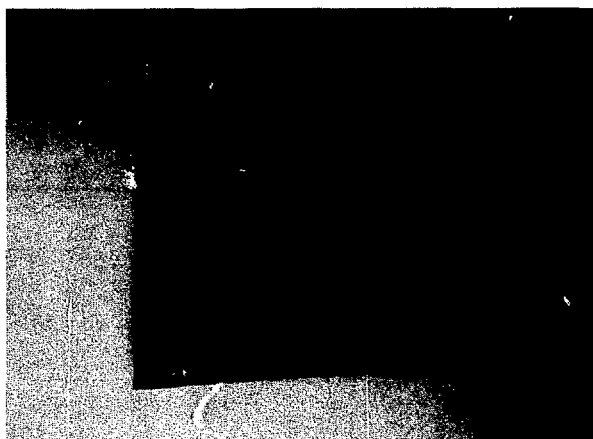
Delay Line をハニカム・シリンダーに張り付ける必要上、出来るだけ大面積のフィルムをエッチングして、一枚のフィルム上にパターンを作りたかったが、既製の銅張りポリイミド・フィルムのサイズおよびエッチング機のサイズによって  $480\text{mm} \times 1600\text{mm}$  と制限された。

Delay Line の場合、このサイズのフィルムを精度良くエッチングする技術は既製では得られず、様々な試行錯誤を繰り返した。特に表裏のパターンを合わせること、寸法精度を確保すること、パターンの断線をなくすること等、すべて満足する製品を作ることは容易で



第10図(a) Zig-zag Delay Line の基本構成

はなかった。関係メーカーとの協力により、特製の露光テーブルを開発して、最終的には、ほぼ満足すべき製品を得ることが出来た。折り曲げたり、キズを付けないよう銅ストリップ及びフィルムの取り扱いに細心の注意を払うことが必要であった。



第10図(b) エッチング後の Delay Line フィルム

#### 4-5 Cathode Cylinders

Cathode Cylinder は、Normex Aramid 繊維を主成分とするハニカム構造の素材の両面に、Delay Line フィルムをエポキシ接着剤で接着して製作した。この製作のために治具として、Cathode Cylinder の内径に合致したアルミ製円筒を製作し、これを基準に接着した。接着中のハニカム・シリンダーの写真及び接着された Delay Line を第11図(a), (b)に示す。

製作の作業手順は次のようである。

- (1) Delay Line フィルムを治具 Cylinder に巻きつける。フィルムの接合部分をマイラー・テープで固定する。
- (2) エポキシ・接着剤を、治具シリンダーに巻き付けた Delay Line フィルム面、及びハニカム面に、一定の厚さで塗る。
- (3) ハニカムを治具に巻付け、外側をビニールテープで固定して、接着剤を硬化させる。  
(24時間待ち)
- (4) 治具に取り付けられた状態で、ハニカムの外周を所定

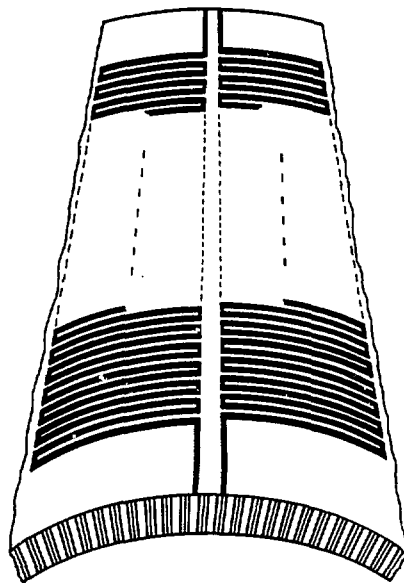


第11図(a) 製作中の Cathode Cylinder

の寸法に旋盤加工する。

- (5) 外側の Delay Line フィルムの裏面、及びハニカム面に接着剤を塗り、接着する。
- (6) ハニカム・シリンダーの両端を調整して、全長が 1500mm となるようにガラス・エポキシ製のエンド・リングを治具上でハニカム・シリンダーに接着する。

Cylinder の製作は、何回かの試作品を作り、製作手順を確立して行われた。実際には、2人の実働ですべて完成するまでに3ヶ月間を要した。また完成した Cathode Cylinder を組み込むまでに時間を必要としたので、銅ストリップ面の腐食を防ぐために窒素ガス入りの容器に入れるなどして保存にも留意した。



第11図(b) ハニカム上に接着された Delay Line

## 5. Chamber の組み立て

IDC の組み立ては、核研電子シンクロトロンの中核実験室の中に仮設されたクリーン・ルームで行われた。Wire をどのような手順で張り、全体をどのように組み上げるかの方針は、他の Chamber での教訓や、本 IDC の構造から次のようにすることとした。

- (1) まず、構造体 (Endplates, 内外筒, Cathode Cylinder) を組み立てる。
- (2) この状態で Chamber を Wire 張り用治具の中心軸に固定する。
- (3) この中心軸で IDC を支えて、Wire 張り用支持装置に取り付ける。
- (4) IDC を水平位置から垂直位置に回転する。  
微調整により、垂直性の精度を良く出す。
- (5) この状態で、Wire 通し作業を容易にするために、下方の Endplate を中心軸に沿って 30cm 下方へ下げて仮固定する。
- (6) Wire をすべての Wire 用穴に通し、上部 Endplate の Feedthrough に Wire 端を固定する。下方は Endplate を通った Wire の先端に、鉛のおもり (釣用のおもりを仮加重として加え) を Wire 毎にぶらさげる。
- (7) すべての Wire を通し終えてから、下方の Endplate を正規の位置に押し上げ固定する。
- (8) Wire に所定のおもりを加えた状態で Feedthrough に半田付けする。

以上で Wire 張り作業は終了し、再び IDC を水平方向に寝かせて、プレアンプ取り付け等の作業を行った。



本 IDC の場合は、各 Wire 間が不透明の同軸 Cathode Cylinder により区切られていて、Wire を張る内部の状態が見えないので、工夫と忍耐が要求された。

### 5-1 構造体の組立て

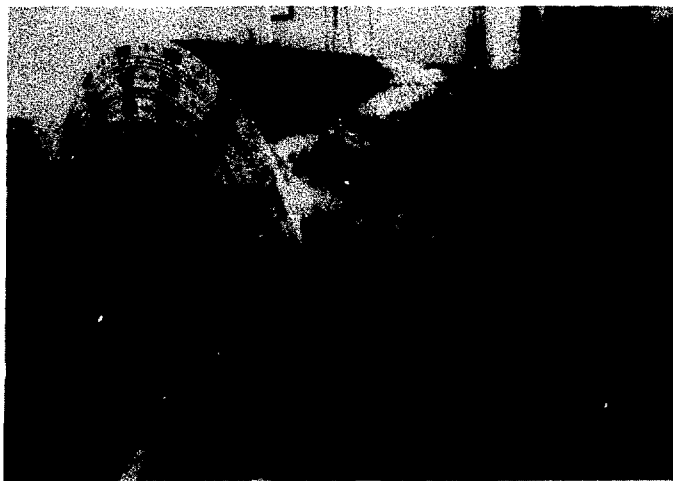
IDC の Wire の位置を TOPAZ 検出器の中で精度良く決めるためには、両 Endplate の相対位置を十分な精度の平行度で決めてやり、ねじれや平行からのずれ、相互の穴位置の回転を最小に抑えなければならない。

このために、両 Endplate を支える垂直の L 型治具を 2 個製作し、これに両 Endplate を重ね合わせ、何本かのピンで二枚の Endplate の相対位置を合わせた。

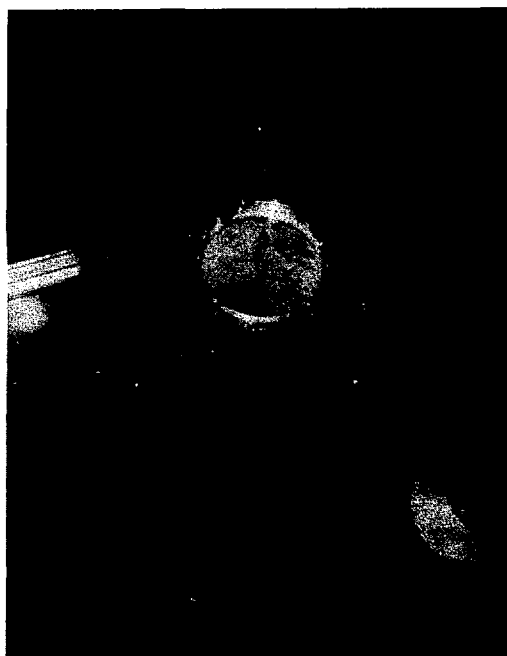
この状態で、Endplate を L 型治具に固定して、両 Endplate 間にケガキ線を印し、定盤上で 1500mm 離れた位置に置き、その間に、内筒及び外筒をはめ込む。これで、両 Endplate、内、外筒の位置関係は固定されるので、三者の相互の位置を  $100\mu\text{m}$  以下の精度でケガキ線を入れて決定した。さらに、相対位置をかえないために、ノックピンを相互にいれた。(第12図参照)

ケガキ線をいれたのち、再度各部品を分解した。今度は、垂直方向に下方の Endplate を向けて出来上がっている Cathode Cylinder の内径及び Endplate を取り付けて構造体を完成させた。

(第13図参照)



第 1 2 図 構造体の組立て



第 1 3 図 組込みを終了した  
Cathode Cylinder

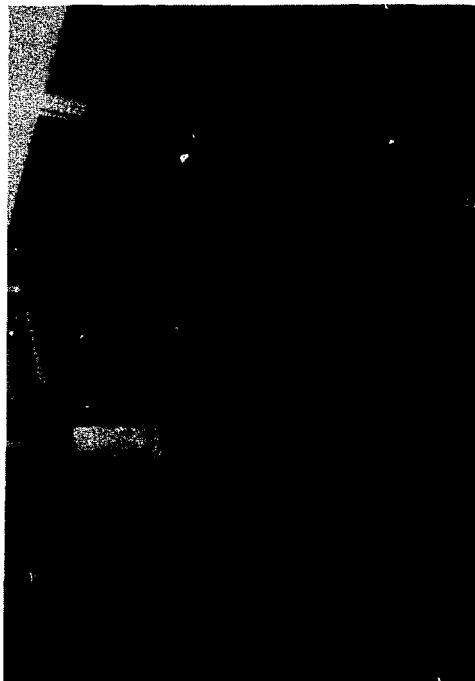
Cathode Cylinder の円筒方向の位置精度は、0.5mm 程度であった。半径方向の精度は、Cylinder の内径及び Endplate 内側の溝によって、100 $\mu$ m 以下の精度で決められた。

## 5-2 Wire 張り

我々の採用した方法は、第14図のように、IDC を垂直に立て、1.8m 下の対応する 3mm $\phi$ の穴に貫通させようとするものであった。下の Endplate を 30cm 下げてスペースをあけておいたのは、この Wire 降下の際に、Wire が切れて重りが落ちる事故、あるいはワイヤー間のからみ等々の事故に対処しやすくしたものである。

Wire を通す作業の手順と注意事項は次のようなものである。

- (1) 上部作業者が、Wire 降下装置より Wire 端を引き出し、Wire 固定用ピン、Feedthrough に Wire を通し先端に降下用重りを付ける。この時重りの軸中心に Wire 先端を取り付けることが極めて重要で、さもないと降下中に重りが回転し、Wire へのからみの原因となる。
- (2) 重りを上の Endplate の 3mm $\phi$ の穴に通し、Feedthrough を穴に差し込む。
- (3) 一定の速度で、Wire 降下装置により Wire を降下させる。途中で降下を止めたり、スピードを変化させたりすると Wire が振動し、隣の Wire へのからみの原因になる。
- (4) 重りが下の Endplate の穴をくぐりぬけて、一定の位置にくると、下の作業者が降下装置をストップさせる。
- (5) 下の作業者は、上と同様に Feedthrough 固定用ピンを通して仮の鉛の重りを取りつける。
- (6) 上の作業者は、Wire 固定用ピンに Wire を半田付けする。



第14図 Wire 張り

以上で、Wire を通す作業工程が終了する。第15図(a)は半田付け終了後の上側 Endplate の状態である。仮の鉛の重りが垂れ下がった状態の下部の写真を第15図(b)に示す。

Wire 張り作業は、IDC 製作の中で最も困難で、かつ、神経を使う作業の一つであった。この Wire 張り作業を困難にした要因は、まず、Wire を通る過程が見えないこと、

Endplate間 (Wire長) が 1500mm と長いこと、Wire 間隔が $\sim$ 6mm と狭いため、Wire の降下中に Wire のからみ、他の Wire の誤配線等を生じることであった。

何事もなければ1本の Wire を通すのに3分ですんだ。しかし、1度何らかの原因で Wire のからみ等を生じると、すぐ30分 $\sim$ 1時間を浪費し、平均作業能率を著しく低下させた。Wire 通し時の不慮の出来事はたびたび発生した。

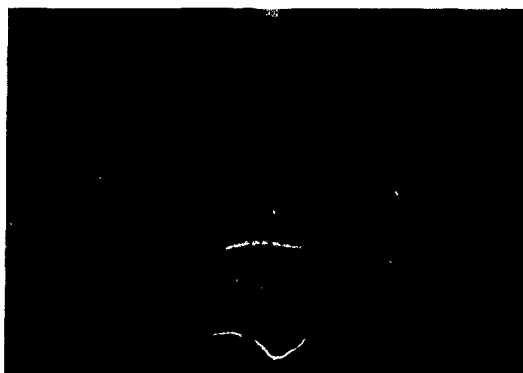
この作業は、9時 $\sim$ 16時30分 (実働 6時間半) まで2人、その日の内に行われたワイヤリング作業の検査、修正、及び翌日の作業準備等を17時30分 $\sim$ 23時まで1人 $\cdots$ の Time Schedule で行い、約3ヶ月を要した。

Wire 通し完了後、3200本のワイヤーに仮りの重りが付いた状態で、下側 Endplate を Wire をからませることなく上昇させ、外シリンダーに精度良く固定をする。これで、IDC は完全にクローズ状態となり、一体化する。

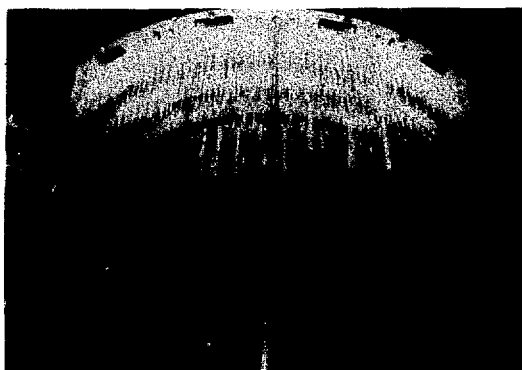
その後、おのおのの Wire に所定の重量をかけ、10分以上加重した後、Wire 固定用ピンへハンダ付けをして、端末処理をして完了する。

ワイヤー降下は中心軸側 (内側) より行い、下側の最終作業のワイヤー端末処理は、外側より順次行った。

下側 Endplate へのワイヤー固定作業完了後、隣のワイヤーとの接合、からみ等のチェックを行い不良の場合は引き抜き、張替えを行った。この作業においては、完全密封状態での作業は上記のワイヤリング以上の困難が伴い、しかも、ワイヤー・ガイド・ピンを内部に落下させたり、清掃用ワタを入れてしまったり、考えもつかないミスが発生し、これを解決するための作業は夜を徹することもあった。ワイヤリング作業の実施記録の



第15図(a) 半田付けの終了した上部

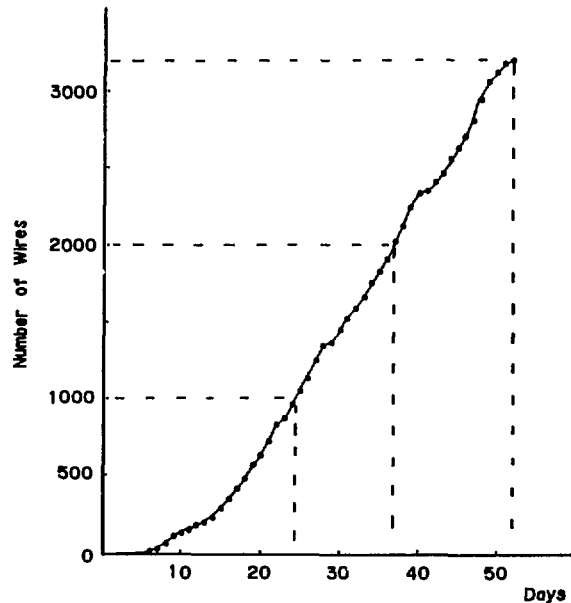


第15図(b) 仮の重りを吊した下部

グラフを第16図に示す。

### 5-3 高圧 Distributer と Preamp

Wire 張り作業ののち、後に述べる Wire 張力の測定及び高電圧テストを行い、固定用ピンから高圧 Distributer への配線を行った。同時に Delay Line から各 Preamp への配線も行った。Preampの取り付けでは、各プレアンプボードのグラウンドを完全にとるように留意した。



第16図 ワイヤリング実施記録  
(実際の作業日数)

### 5-4 ガス・シール

IDC は、HRS ガスを1気圧で開放端に流す。バプラーによる圧力分 (10~20mmH<sub>2</sub>O) だけ加

圧されるが、Chamber の正常な動作のためには、ガスの漏れを最小限に抑える必要がある。ガスのシールは次表のような方法で行った。実際には、シール部が多数あり、完全に漏れをなくするには、リーク・テストを繰り返して、不良箇所を何回も修正した。

表 -- 6 ガス・シールの方式

間 隙	シールの方式
Inner Cylinder と Endplate	O-ring 方式
Outer Cylinder と Endplate	シリコン
Endplate と Feedthrough	シリコン
Feedthrough と Wire 固定ピン	シリコン
Wire 固定ピンと Wire	半田及びエポキシ
Delay Line のリード線取り出し穴	エポキシ

## 6. Chamber の構造に関するテスト

### 6-1 Wire 張力の測定

IDC に使用した Wire は  $30\mu\text{m}$   $\phi$  (W) および  $120\mu\text{m}$   $\phi$  (Mo) の 2 種類である。これらにおいて、弾性限界のテストを行い、各々の Wire に加える張力の大きさを決定した。Wire に張力を加えるため、加重していくと、Wire はのびていき最終的には断線する。この過程において、初期は Wire のゆがみ等による伸であり、その次は、Wire 自身の伸びる範囲で、加重を取り去ると加重前の長さまで復帰する範囲が弾性範囲であり、ここの部分に相当する加重がその Wire に適した加重範囲である。

ただ、弾性範囲内での最大値をとると、IDC 全体に加わる総合張力が大きくなるため、これを出来るだけ小さくしたいことから弾性範囲内で、Drift Chamber に高電圧がかかる時の Wire の安定性を考慮して次の値を採用した。すなわち、 $30\mu\text{m}$   $\phi$  で 53g、 $120\mu\text{m}$   $\phi$  で 285g である。この値を採用すると全張力は 674kg になる。

Wire 張力の測定は、出来るだけ簡単な方法で、すばやく測ることを目標として次のような方法を採用した。

一般に、Wire の共振周波数  $\nu_0$  は次式で与えられる。

$$\nu_0 = \frac{17.7}{LD} \sqrt{\frac{M}{\rho}}$$

ここで L = Wire の長さ (cm)  
 D = Wire の直径 (cm)  
 $\rho$  = Wire の密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )  
 M = Wire に加わる張力 (g)

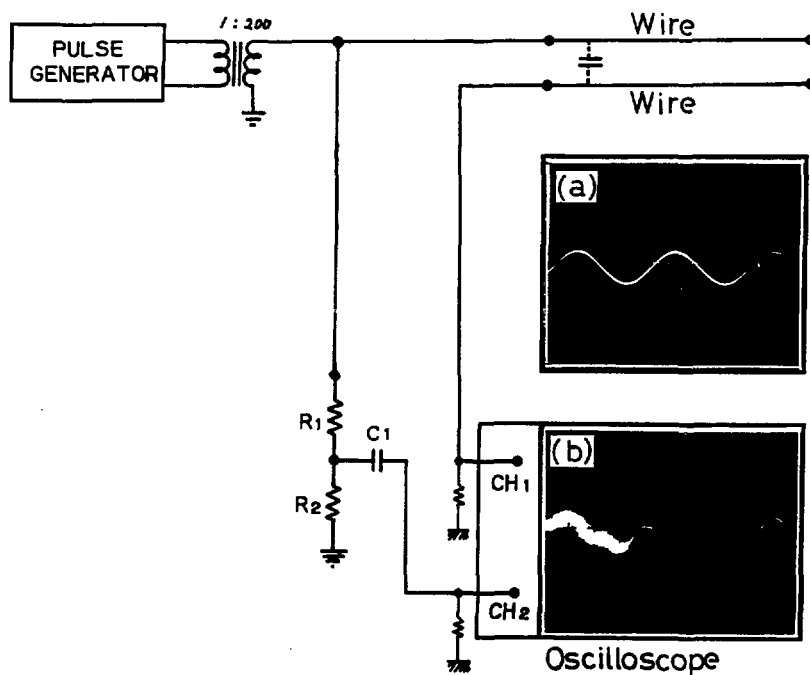
本 IDC の場合、Anode Wire 及び Potential Wire のパラメータと共振周波数は次表で与えられる。

表-7

	Anode Wire	Potential Wire
L (cm)	150.0	150.0
D (cm)	0.003	0.012
$\rho$ ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	19.3	10.2
M (g)	53.0	285.0
$\nu_0$ (Hz)	65.2	52.0

実際に Wire を共振させ、共振を観測する方法としては、Chamber の形状や環境条件に見合ういくつかの方法が開発されてきたが、ここでは、正弦波の高電圧を2つの隣り合う Wire の間に印加し、共振の結果 Wire に流れる電流の波形のひずみを観測する方法〔7〕により行った。第17図にそのセットアップ図および観測された波形を示す。

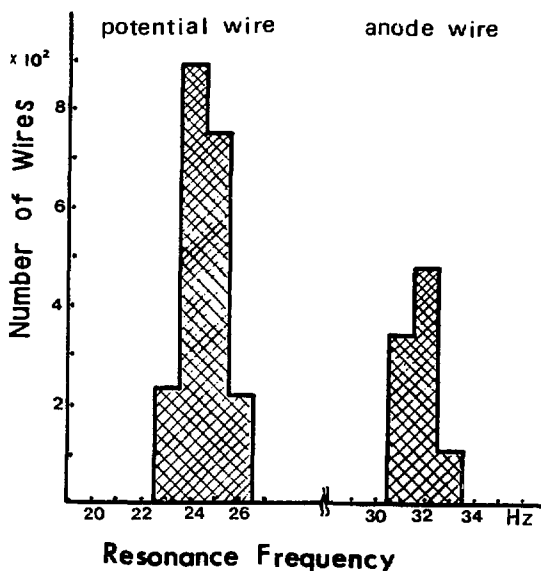
この方法によると、高電圧正弦波の周波数が  $\nu = \nu_0 / 2$  のところで Wire は共振をおこし、線間に流れる電流は第3高調波成分を含んでいる。この第3高調波成分の大きさは、線間距離や Wire の太さ、張力、比重等により変化するが、特に交流電源電圧の2乗に比例するので、高いAC電圧を印加しなければならない。それでも歪率は小さいので、本測定では、この第3高調波成分のみを取り出すために、基本波形をオッシロスコープ上で出来るだけ消し去る方法で波形で観測した。基本波形のわずかなゆがみが完全な第3高調波成分のみの観測を妨げるが、Wire が共振しているかどうかの判定には、十分であった。オッシロスコープ上での非共振時の波形を第17図(a)に、共振時の波形を第17図(b)に示す。



第17図 Wire 張力測定システム

この測定系による読み取り精度は、張力換算で Anode Wire で  $\pm 1.6g$  程度である。3200本について、Wire 毎に測定した結果を第18図に示す。Anode Wire については  $\pm 5\%$ 、Potential Wire については  $\pm 10\%$  程度の範囲のものをOKとし、この範囲に含まれない Wire (78本) については、密封状態で張り替えを行った。

この張力測定の方法は、波形のゆがみを見て共振状態を判断する等において、自動化への改良の余地があるが、今回の IDC における張力測定においては、十分であった。また、この方法は高電圧を加えて Wire を振動させるため、Wire の固定不十分なもののチェック等も兼ね合わせて行える利点がある。第 18 図に測定された張力の分布を示す。



第 18 図 張力測定データ

### 6-2 ガスのリーク・テスト

多数のガス・シール部からガスの漏洩があるかどうかは、Chamber にヘリウム・ガスを詰め、ポータブル・リーク・ディテクター (Edwards 製) でガスの流出を検知して、漏洩箇所が発見されたら、すべて補修した。

リークディテクターで検知出来ないレベルにまで補修し、最終的には、封じ込め方法で総漏洩量を測定した。温度変化等の測定誤差はあるが、100mmH<sub>2</sub>O の加圧状態での漏洩量は 1ℓ/day 以下であった。この範囲の漏洩量は実際上は、Chamber の動作に影響のない範囲である。

### 6-3 高電圧印加テスト

Wire 張力の測定後、各 Wire に 1kV の高電圧を印加して、空気中でのリーク電流を測定した。この時の環境は室温 20 ~ 22 度、湿度 50 % であった。いずれの Wire も数分でリーク電流が 10 ~ 20 nA 程度に減少した。時間を待っても減少しないものについては、あらためて数時間のテストを行い、100 nA 以下に減少しなかったもの (数本) は Wire の張りかえをおこなった。

## 7. TOPAZ 検出器への組み込み

### 7-1 運搬

IDC は多数の Wire を一定の張力で張った繊細な構造であるので、核研（東京・田無）から KEK（筑波）までの約100km の運搬には、細心の注意を払った。発砲ポリウレタンのクッションを十分につめた木箱に梱包し、無振動、定温、定湿度のコンテナを備えたトラックで 50km/h に速度制限してもらって、路面の良い高速道を夜間走ってもらった。KEK で Wire の再チェックの結果、移動中に断線したものは見つからなかった。

### 7-2 組み込みと固定

TPC の圧力容器を TOPAZ検出器へ組み込んだのち、IDC を軸に通して最内殻へすべり込ませた。TPC 及び内側のビームパイプとは電氣的に絶縁した。IDC を固定したのち、TOPAZ 検出器の中での絶対位置が $\pm 50 \mu\text{m}$  の精度で測定された。

設定の後、ケーブルが取り付けられ、プレアンプのテスト、高電圧のテストが行われて使用状態となった。第19図には組み込み時の写真を示す。

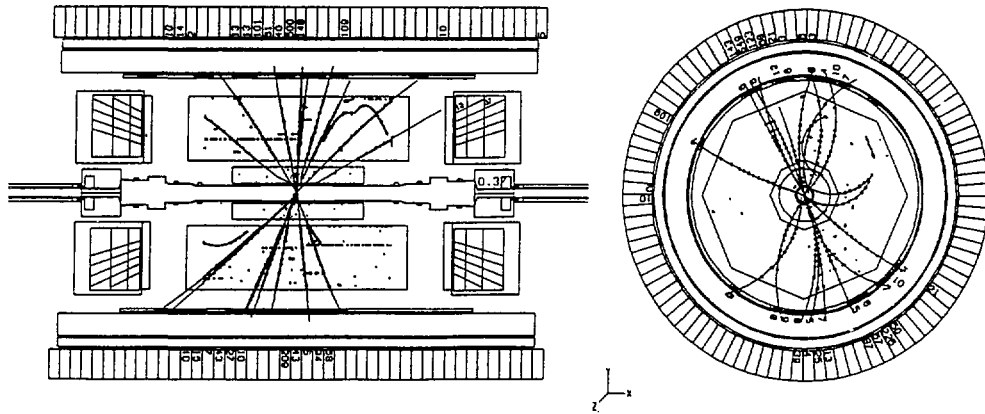


第19図 IDC の TOPAZ 検出器への組み込み

## 8. 実験での使用結果

IDC は 1986 年 6月に TOPAZ検出器に組み込まれ、1986年11月から、宇宙線によるテストが行われた。ビーム実験は1987年 5月より開始された。実験開始直後は、加速器の未調整によりビームに附随するバックグラウンドが多かったが、それでも実験開始直後より IDC は順調に動作した。 $\sqrt{s}=52\text{GeV}$  における Multi-hadron Jet Event の代表例を第20図に示す。





第20図  $\sqrt{s} = 52\text{GeV}$  での典型的な Multi-hadron Jet Event の例

この例では、10本以上の荷電粒子の飛跡が、IDC及びTPCで捕らえられている。Bhabha Eventの予備的解析では、 $R\phi$ -方向の位置分解能  $220\mu\text{m}$ 、Z方向の位置分解能  $1.5\text{cm}$  を得ており、初期の目標を達成している。また、トリガーの目的にも使用されている。これらの性能については別途報告する予定である。

## 謝 辞

TOPAZ-IDCの製作は、TOPAZ共同研究(代表者:釜江常好、梶川良一、岩田正義、渡辺靖志)のもとに行われた。多くの助言や援助をいただいたTOPAZグループのメンバーに感謝する。また、Chamber作りの技術と経験を御教示いただいた、KEK-VENUSグループの方々やKEK工作室の方々にも感謝する。

Chamber関係の部品の開発は次のような方々の御協力により行われた。

Endplate 及び内筒, 外筒の製作	KEK 工作室	井上 均 氏
Feedthrough 及び Wire 張り	林栄精機(株)	島津昭二 氏
Delay Line Film の製作	近岡工業(株)	川村純一 氏

また、Chamberの組み立てに際しては、Cathode Cylinder 製作に協力していただいた、畑 寛氏(田無市高齢者事業団)、忍耐の必要なWire張り作業をねばり強くやり遂げてくれた中島由美さんと照井和子さん(林栄精機)、細かい配線を注意深くしていただいた大場和久氏(海津製作所)の協力を得た。さらにこの報告をまとめるにあたり図面のトレースおよびワープロの作業では塚田三枝子さんの協力を得た。ここに深く感謝する。

— 参考文献 —

- [1] "TRISTAN Electron-Positron Colliding Beam Project",  
KEK Report 86-14, March 1987.
- [2] TRISTAN Proposal, "Study of  $e^+e^-$  Annihilation Phenomena  
by a Detector with Particle Identification" by TOPAZ  
Collaboration, KEK Report TRISTAN-EXP-002, January 1983.
- [3] K. Kono et al., "Test of the Wire Pattern of the TOPAZ Inner  
Drift Chamber", INS-TH-160, June 1984.
- [4] K. Shiino et al., "Test of the Delay Line for Z-readout of the  
TOPAZ Inner Drift Chamber", INS-TH-159, April 1984.
- [5] A. Imanishi et al., "TOPAZ IDC  $r\phi$  - Track Finder", to be published  
in INS-T (1987).
- [6] K. Shiino et al., "TOPAZ IDC の Cathode Delay Line 読み出し回路",  
INS-T-476, Sept. 1987.
- [7] S. Nakamura et al., KEK, private communication