

# 可変形ミラーによる レーザービーム整形

2004年11月5日

第二回高周波電子銃研究会

福井県工業技術センター

株式会社ホクシン

高輝度光科学研究センター

産業技術総合研究所

松井多志

堤明、三枝克之、中川

富澤宏光

板谷太郎

# はじめに

スプリング8

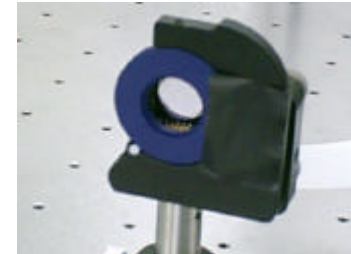
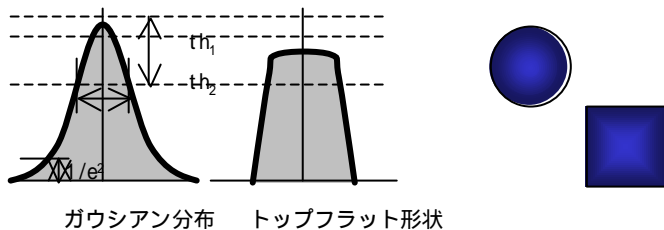
電子銃用高品質光源

- 空間プロファイル
- 時間プロファイル

福井県工業技術センター

レーザ加工用光源

- 空間プロファイル



可変形ミラー

(Deformable mirror) を  
用いたレーザビーム整形



- ミラー特性評価
- ミラー制御手法

制御**自動化**システム

..... **商品化**

# 発表内容

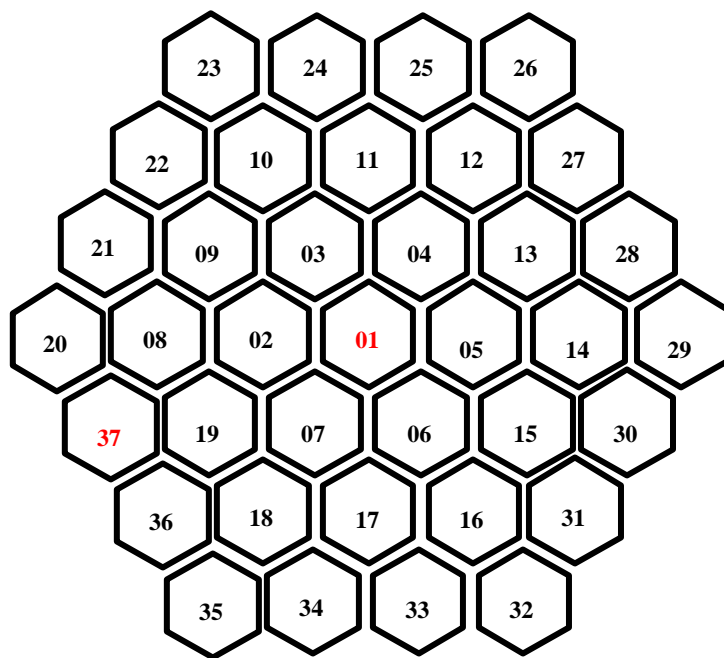
1. 目的
2. 可変形ミラー動作の構成
3. 性能評価実験  
薄膜変位量測定 / ビーム形状変化
4. 制御自動化の方策
5. 課題

# 目的

レーザービームの空間プロファイルを可変形ミラーを用いて改善・整形するシステムの開発を行いたい。

このビーム整形のため、可変形ミラーの性能評価を行い、制限事項やビーム整形可能な範囲を検討する。

# 概要



# 可変形ミラーの種類

## 静電引力型 (メンブレン型)

ミラー背面に電極配置

電氣的吸引力でミラー面吸引

電極 : 多数 (19 ~ 60ch)

直径 : 小型 (10 ~ 30mm)

価格 : 高価

レーザービーム整形

## ピエゾアクチエータ型

ミラー背面にピエゾアクチ設置

ピエゾ伸縮でミラー面形状変化

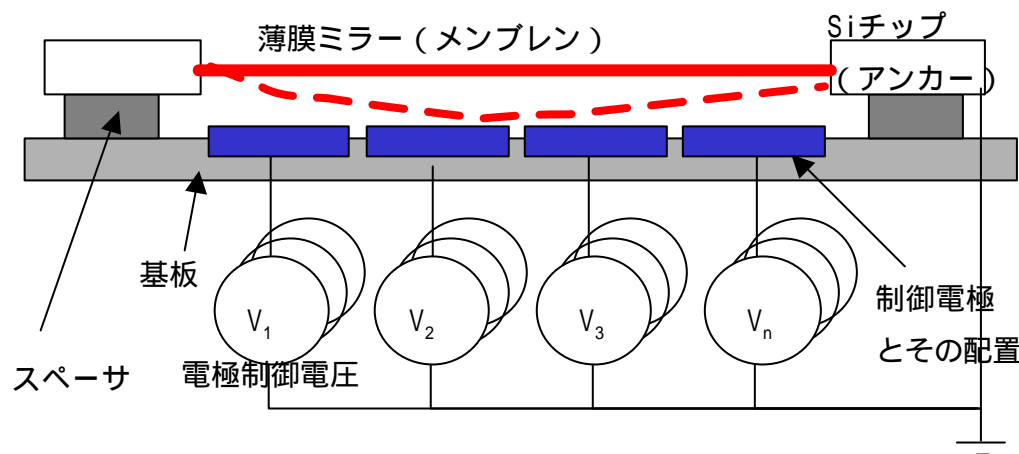
電極 : 小数 (1、3×3他)

直径 : 大型 (数 cm)

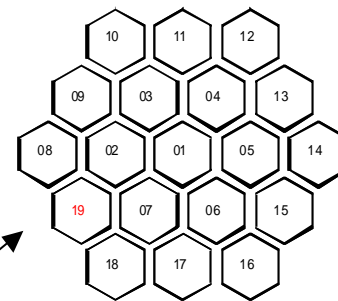
価格 : 低価格 / 高価?

# 可変形ミラー (メンブレン型)

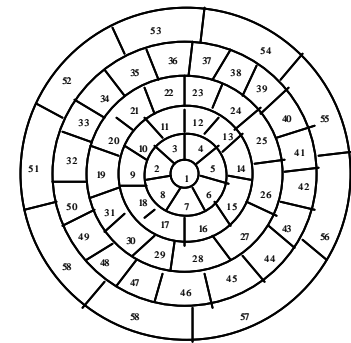
- 反射面の形状が変更可能なミラー (Deformable Mirror)
- ビーム整形に期待される
- ミラー面は薄膜で構成される
- 薄膜背面の電極への高電圧印加による静電引力でミラー動作



構造 (断面方向)



ハニカム型

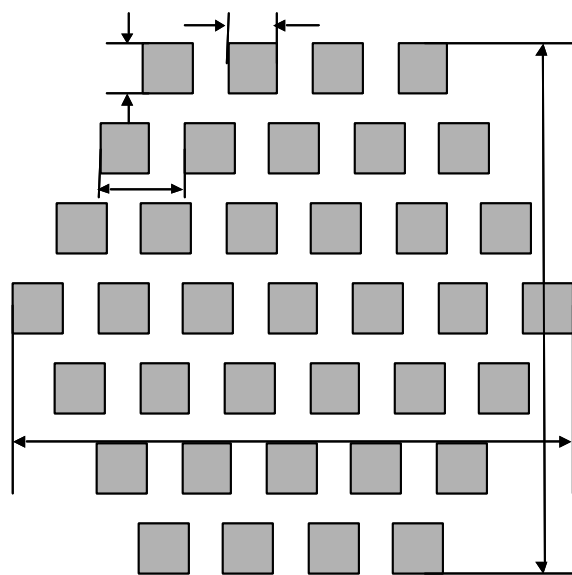
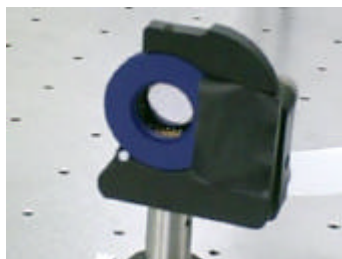


同軸型

電極配置

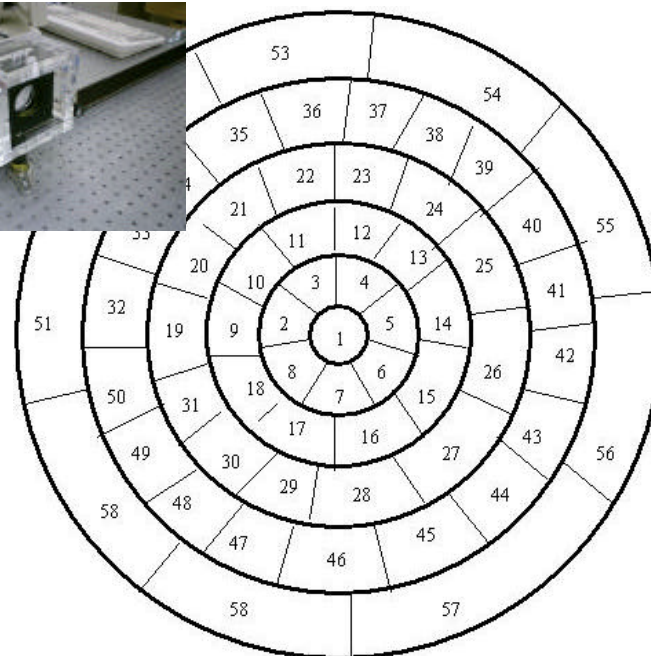
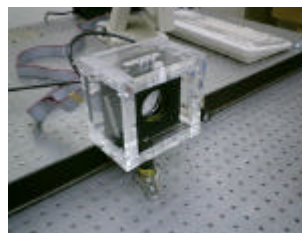
# 電極配置

## 37ch型



[www.intelite.com](http://www.intelite.com)

## 59ch型



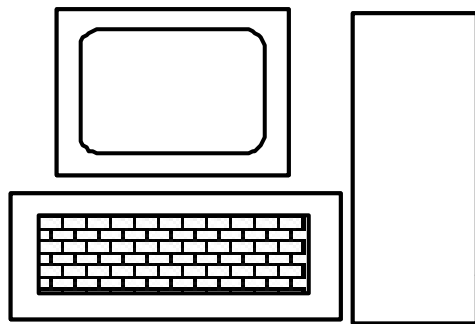
[www.okoteck.com](http://www.okoteck.com)

ビーム形状制御のため、この電極に印加する電圧値を指令する



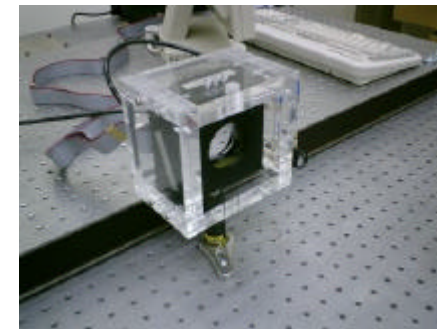
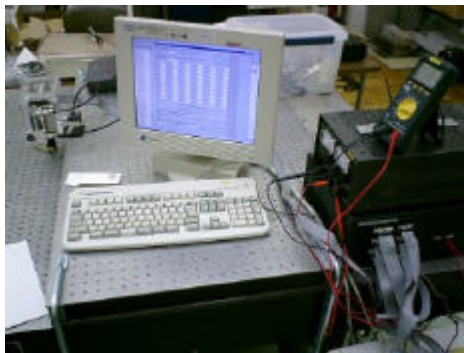
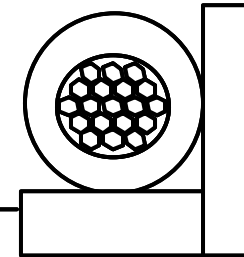
# ミラー系構成

可変形ミラー制御用PC



高電圧回路  
(別電源)

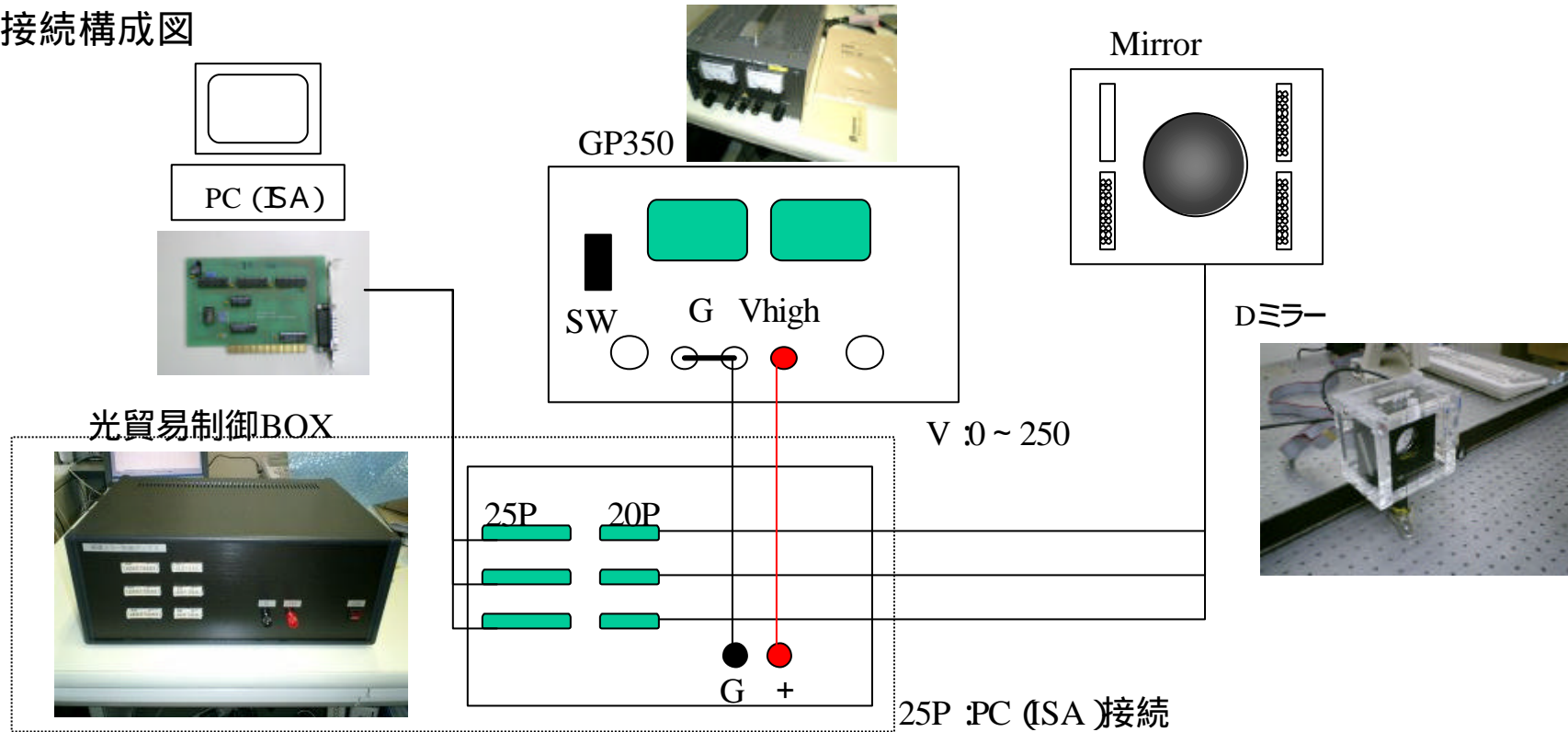
ミラー



構成品 :制御用PC (ISA内蔵)、制御装置、高電圧電源 (~ 250V)

# ミラー系構成 2

接続構成図



## 主な構成部品

- Dミラー ;OKO社製59chDミラー
- 制御用 PC (ISA内蔵) ;ISA - OKO社製 × 3
- ハイボルテージ回路 ;光貿易社製制御BOX
- 高電圧電源 (~ 250V印加) ;高砂製GP350

# 制御用ソフトウェア (手動)

メインウィンドウ

Input DC power supply max voltage ( under 250V )  
Set Max Voltage 000 Set Max Vmax =

Set Electrodes CH voltage and Max Voltage ( 0 to 255 )  
All set voltage 0 All CH set

CH 00	0	CH 10	0	CH 20	0	CH 30	0	CH 40	0
CH 01	0	CH 11	0	CH 21	0	CH 31	0	CH 41	0
CH 02	0	CH 12	0	CH 22	0	CH 32	0	CH 42	0
CH 03	0	CH 13	0	CH 23	0	CH 33	0	CH 43	0
CH 04	0	CH 14	0	CH 24	0	CH 34	0	CH 44	0
CH 05	0	CH 15	0	CH 25	0	CH 35	0	CH 45	0
CH 06	0	CH 16	0	CH 26	0	CH 36	0	CH 46	0
CH 07	0	CH 17	0	CH 27	0	CH 37	0	CH 47	0
CH 08	0	CH 18	0	CH 28	0	CH 38	0	CH 48	0
CH 09	0	CH 19	0	CH 29	0	CH 39	0	CH 49	0

MOVE D\_MIRROR (Send DAC for D-Mirror)

Zero to All Previous Array (After Zto0 only)

Send Individual Electrodes Voltage to DAC  
Input channel number ( Click CH title )-> 0 UP (+5V step)  
V= DOWN (-5V step) Show CH\_Voltage LAYOUT

Rotate consequently ( All electrodes ) Delay msec Rotate (150 sec / 1000msec)  
Select Volt Fix Rotate V = 1000 Close CH\_Voltage LAYOUT

```
DAC Voltage(42)=0
DAC Voltage(44)=0
DAC Voltage(45)=0
DAC Voltage(46)=0
DAC Voltage(47)=0
DAC Voltage(48)=0
DAC Voltage(49)=0
DAC Voltage(50)=0
DAC Voltage(51)=0
DAC Voltage(52)=0
DAC Voltage(53)=0
DAC Voltage(54)=0
DAC Voltage(55)=0
DAC Voltage(56)=0
DAC Voltage(57)=0
DAC Voltage(58)=0
DAC Voltage(59)=0
```

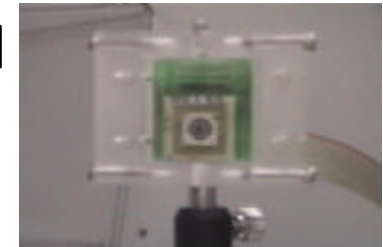
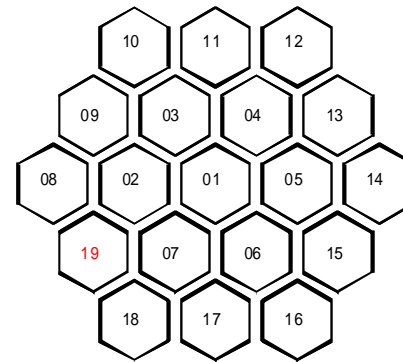
CHレイアウトウィンドウ

電極CH番号に対する指定電圧値をDACに送信し Dミラーを動作

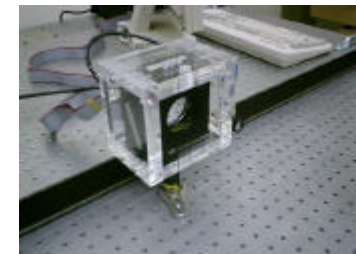
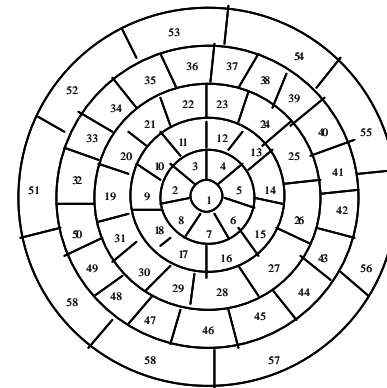
現状の手動制御を、自動制御にしてより高速化を図る商品を開発

# 変位量評価 (干渉縞)

使用可変形ミラー  
OKOテック 19ch型  
(ハニカム電極配置)



同 59ch型  
(同軸電極配置)



# 斜め入射式干渉計による測定

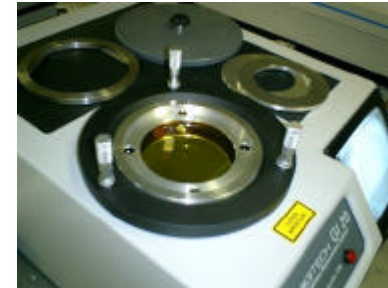


B Nテクノロジー社 GI20 (ジンバル治具付き)

この装置を用いて、

干渉縞数を測定

jpeg / bmp / avi等のデータを取得

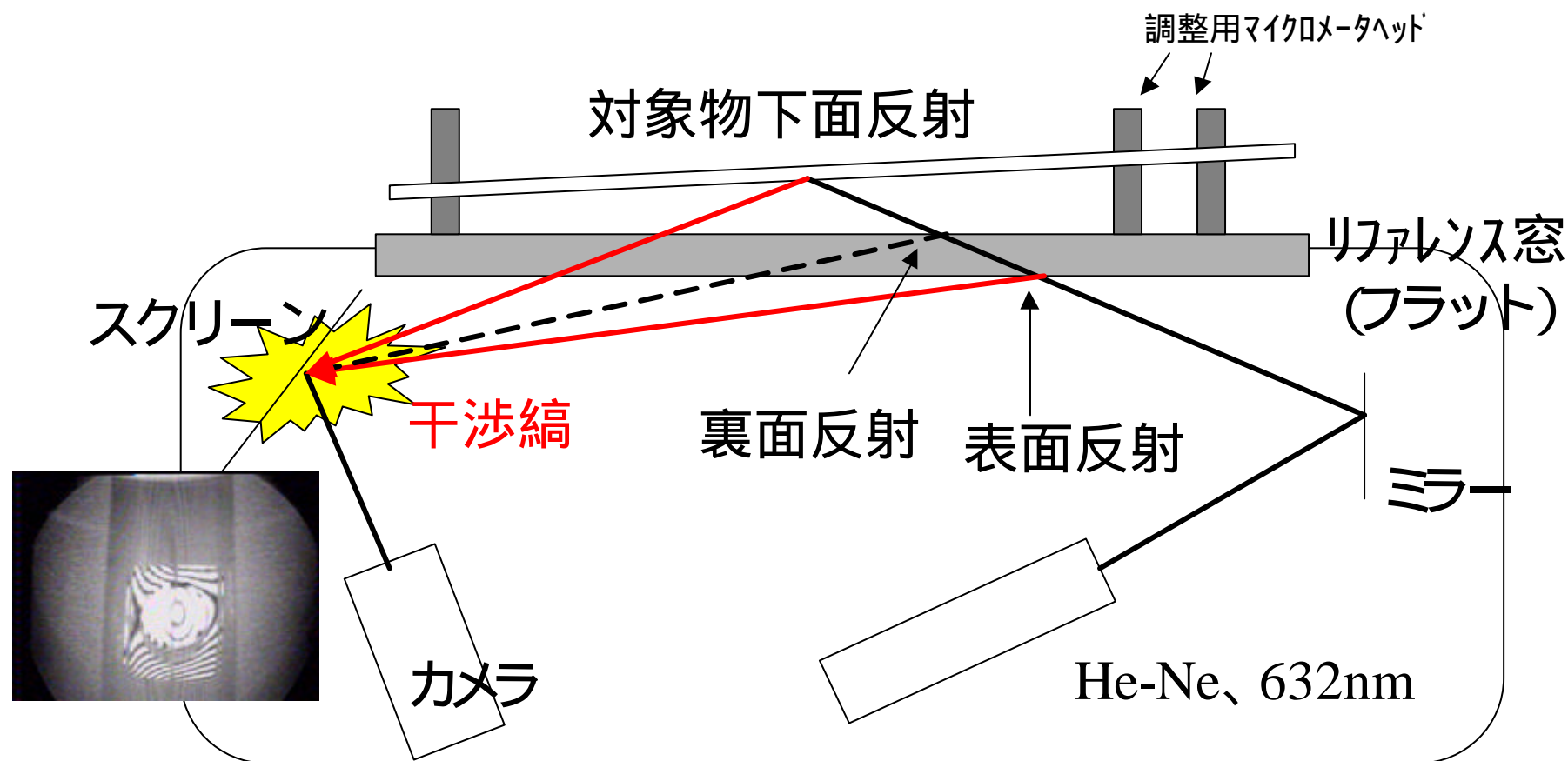


Dミラー測定用各種治具  
(産総研テクニカルセンター)



# 斜め入射式干渉計

GI20平坦度測定装置 : **2ミクロンの変位**が干渉縞に表出

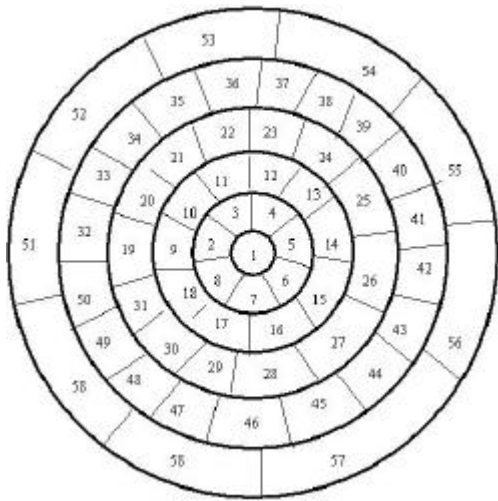


干渉縞の間隔が  $2\mu\text{m}$  に対応

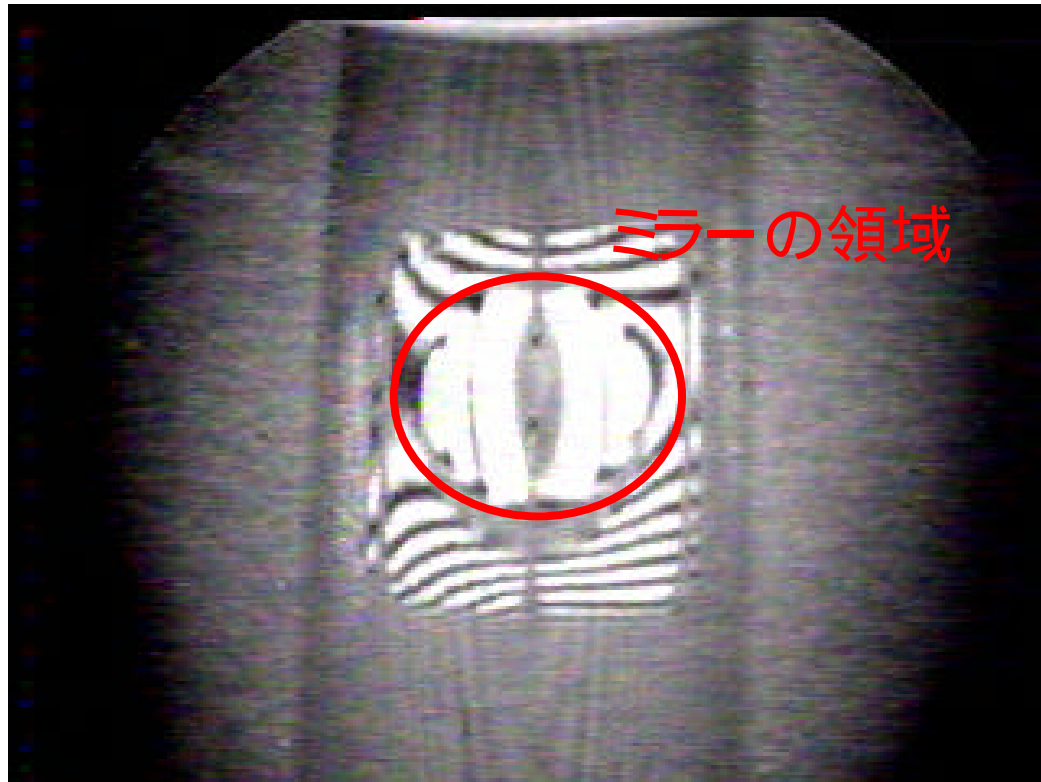
黒・白・黒・白・黒で、 $4\mu\text{m}$ とカウント

# 干渉縞測定

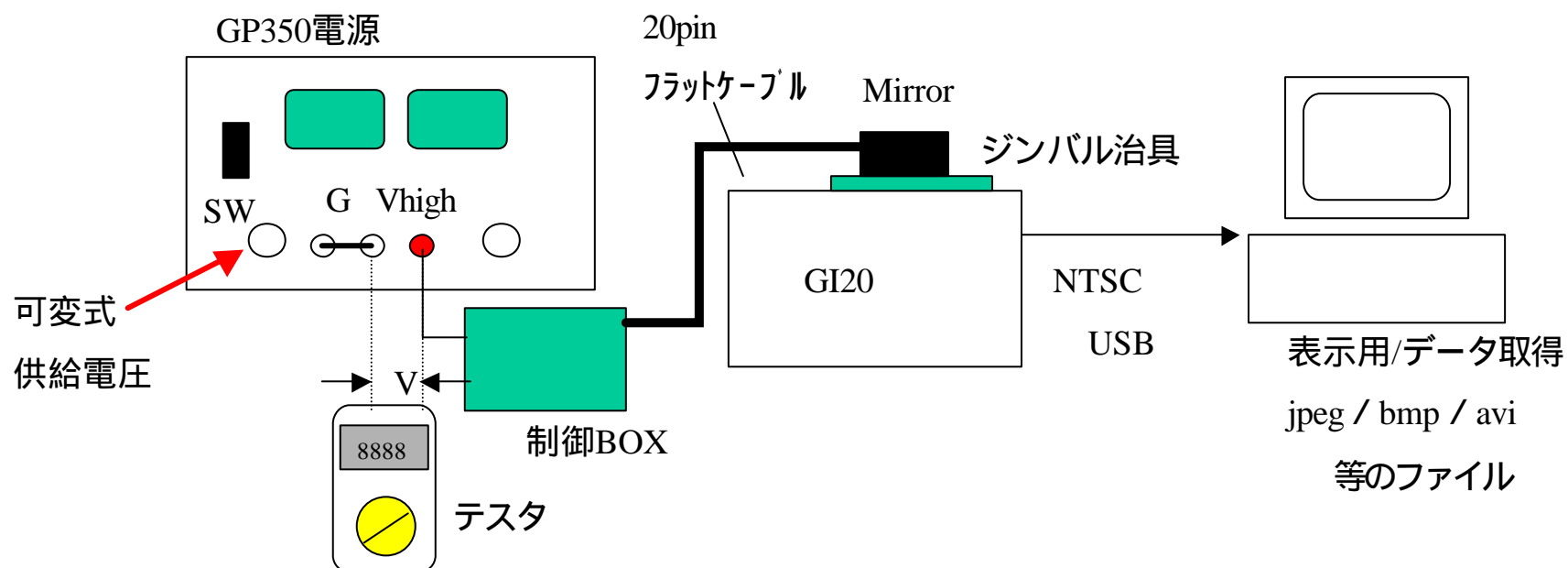
全電極に最大電圧を与えた場合のGI20画面



全極 (01 ~ 59ch) 電圧250V  
(制御指令値)



# 電圧-ミラー変位測定



## 実験電圧供給手順

供給電圧は最大電圧 (ソフト250V) に初期設定

Dミラー制御用PCにて、**全電極に最大電圧** (ソフト上250V) を供給、電圧印加

高電圧回路の供給電圧 (可変ボリューム) にて供給電圧を変化させる

250V 0V 250V 0V 250V (電圧値はテスタにて高電圧電源の出力を測定)

光貿易制御BOXの出力は、ソケット背面にて約90%であった

ソフト上250Vの指令時において、ソケット背面223V

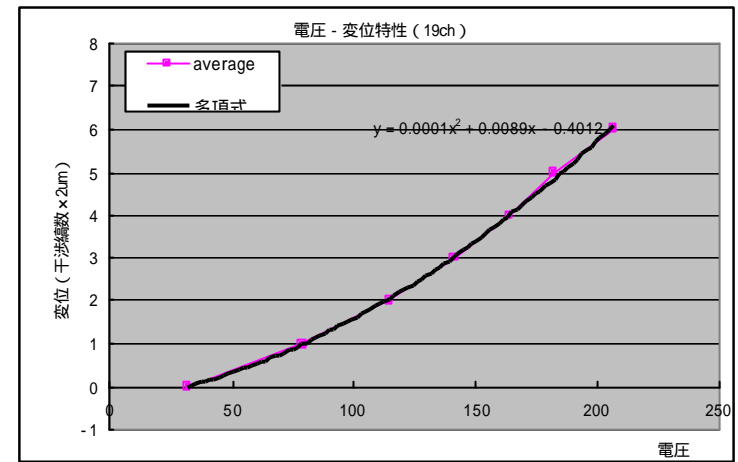
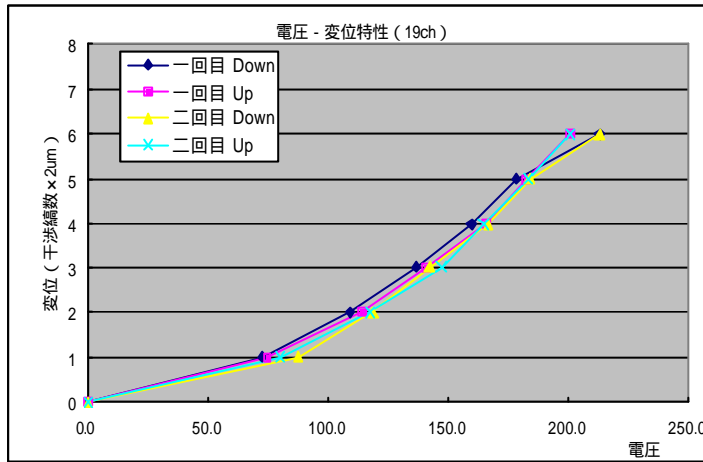


# 電圧-ミラー変位測定 (全極電圧)

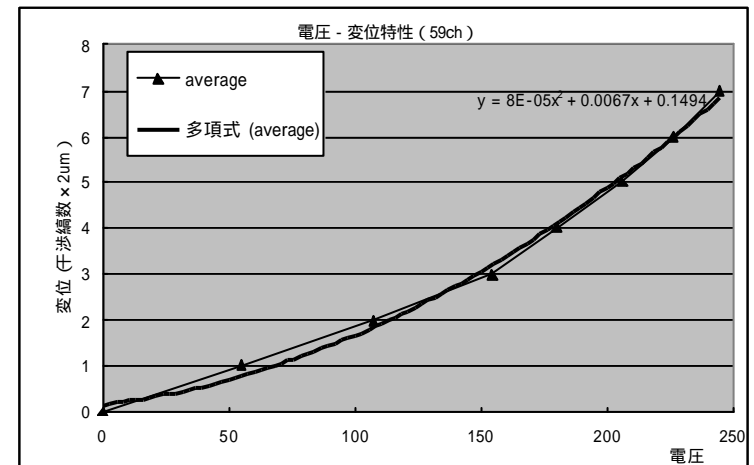
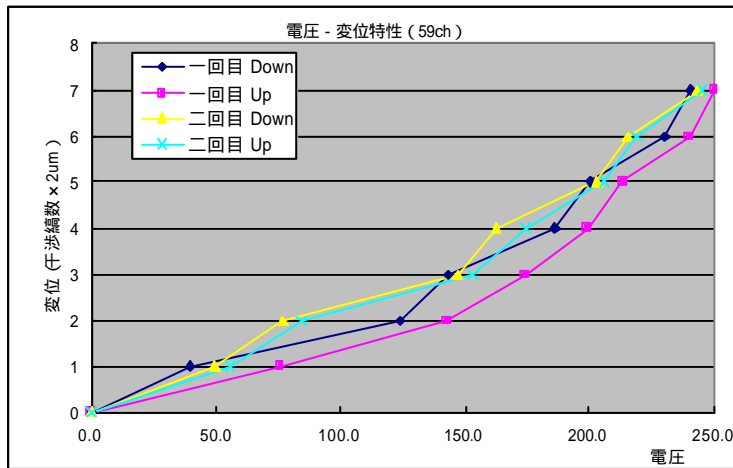
ミラー 1 (19ch型)

4回測定

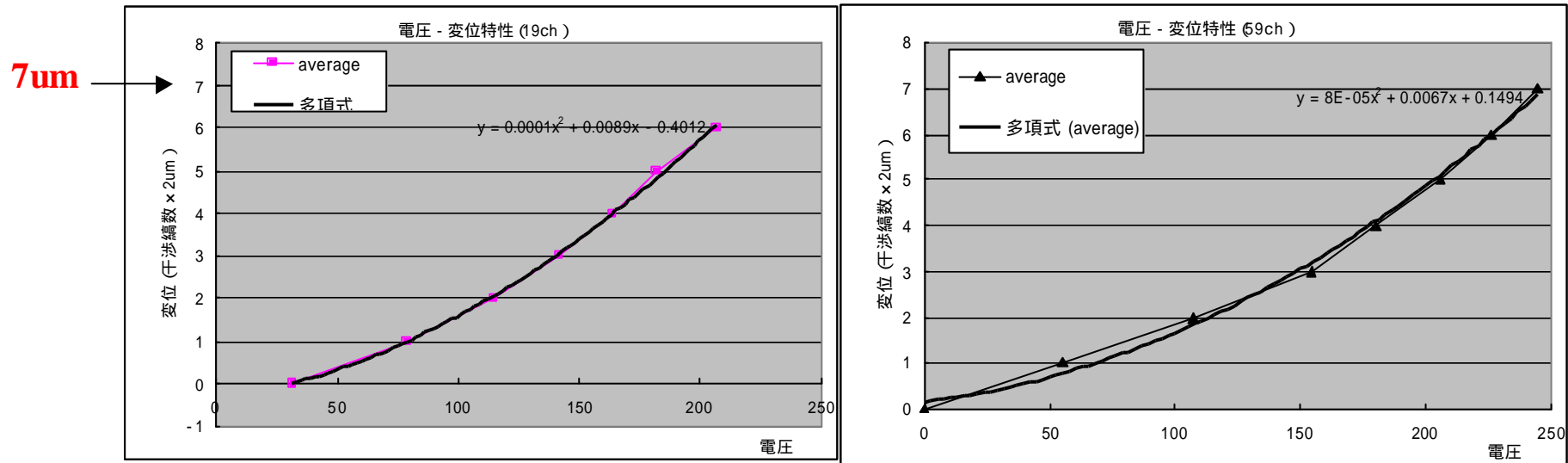
平均値



ミラー 2 (59ch型)



# 基礎特性 (全極に電圧印加)

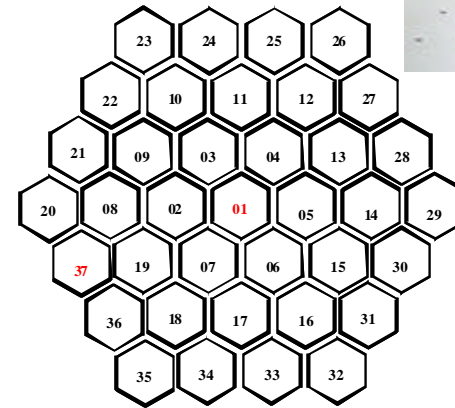


- 変位Dと電圧Vの関係 ;  $D = A \cdot V^2$  、 A:const
- 最大変位量 約7ミクロン(ミラー2)、但し精度は2ミクロン以下
- 応答性 約1秒(ミラー1、産総研19ch) 約4秒(ミラー2, 59ch)
- 干渉縞数 電圧30~50V程度で確認不可能(低電圧時)
- DOWN / UP時のヒステリシス等は確認不可能(誤差大)

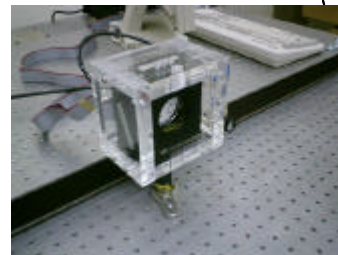
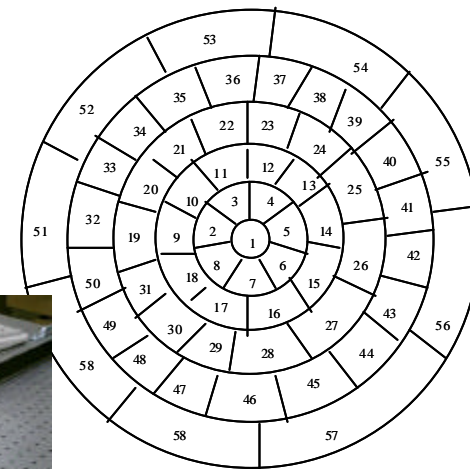
# 変位量評価 (形状測定)



使用可変形ミラー  
インテルライト 37ch型  
(ハニカム電極)



OKOテック 59ch型  
(同軸電極)



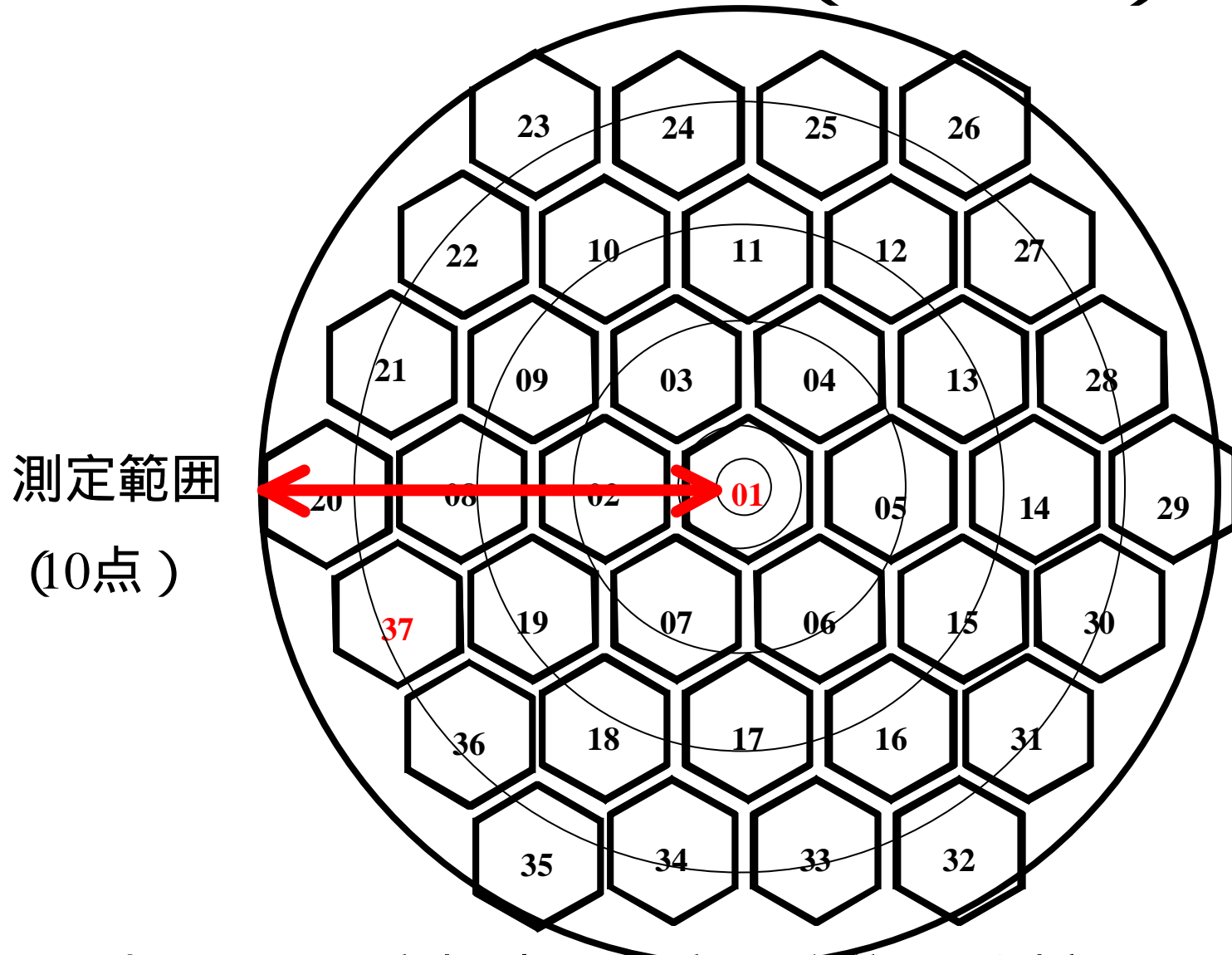
# 三次元形状測定装置による測定



## 実験に用いた主な機能

- 三鷹光器社製NH-3SP ; He-Neレーザー使用AF焦点式距離測定方式  
分解能 (Z軸) 1nm 再現性10nm (但し100倍対物レンズ使用時)
- ・面勾配補正機能 ; ミラー面の傾き補正に使用
  - ・エッジ検出機能 ; ミラー周辺エッジ検出に使用
  - ・中心部検出機能 ; ミラーエッジから中心検出に使用

# 測定部分 (37ch型)

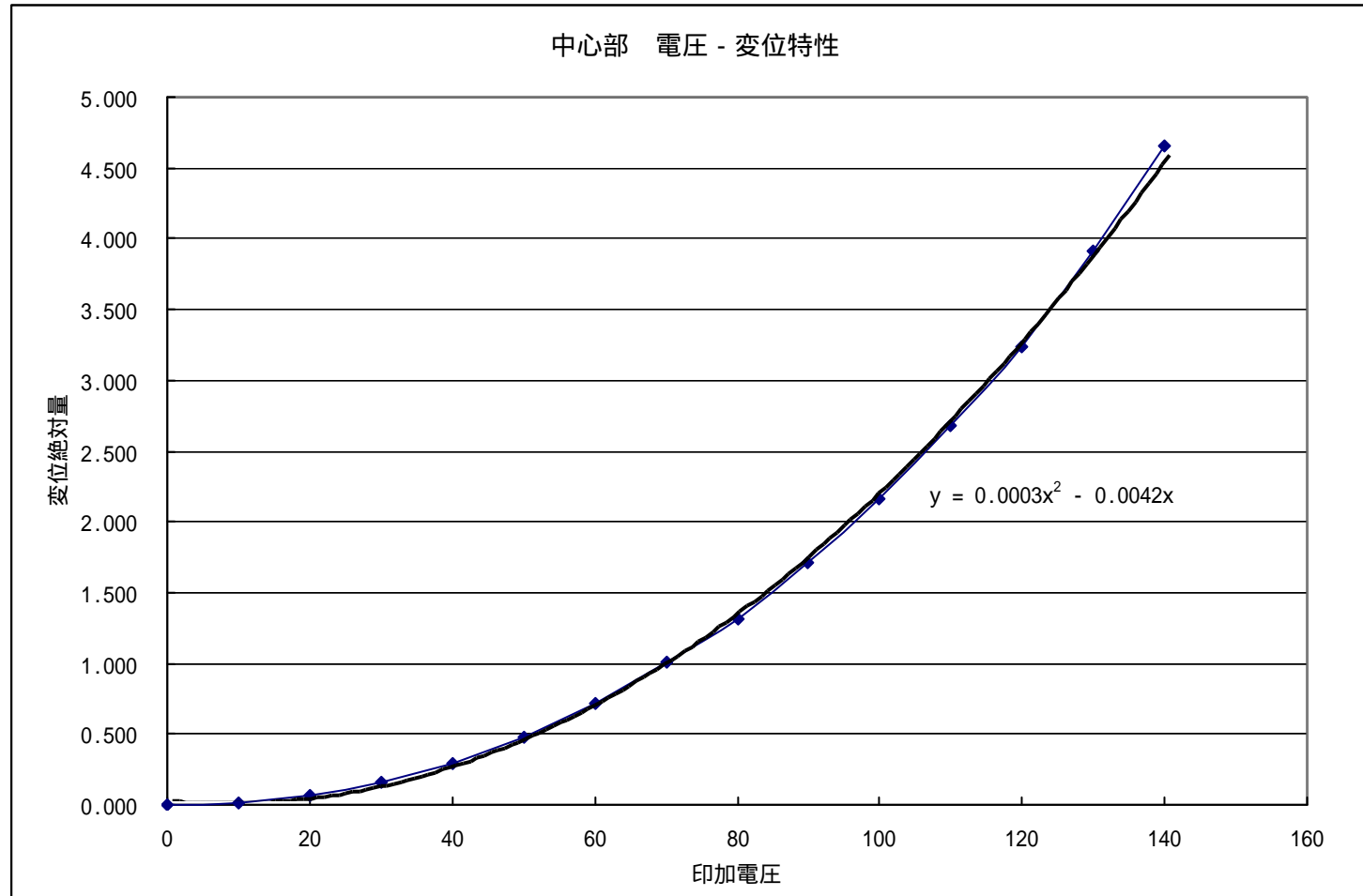


最大電圧140V印加時の、各部の変位量を測定

# ミラー 3 (37ch) 中心部測定

5  $\mu\text{m}$

0  $\mu\text{m}$

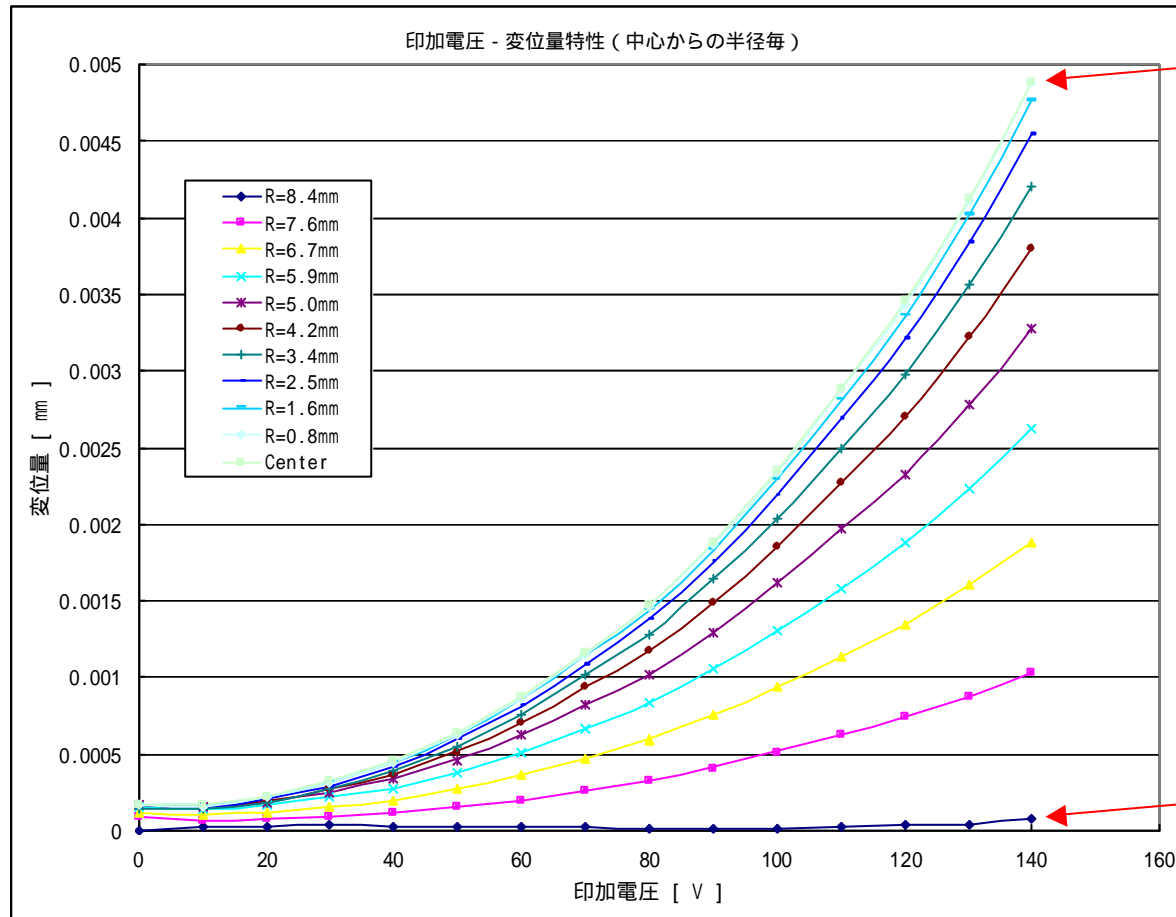


$$D = A \cdot V^2 \quad 、 \quad A:\text{const}$$

# 測定点毎の電圧－変位特性

5  $\mu\text{m}$

0  $\mu\text{m}$



中心部分

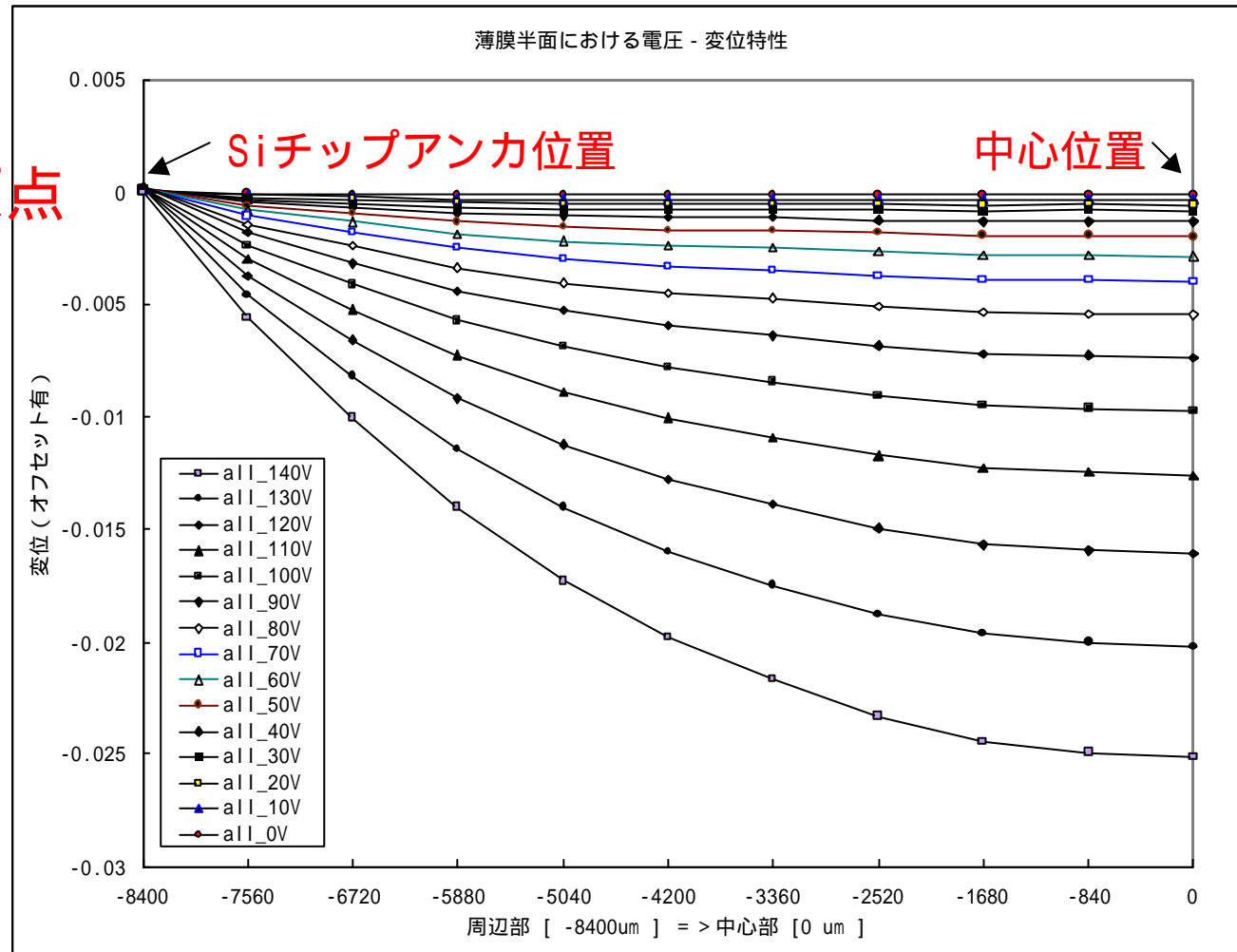
周辺部分

何れの測定点でもほぼ二乗則

中心からの位置と電圧から変位量計算

# ミラー半面で表現

アンカ位置原点

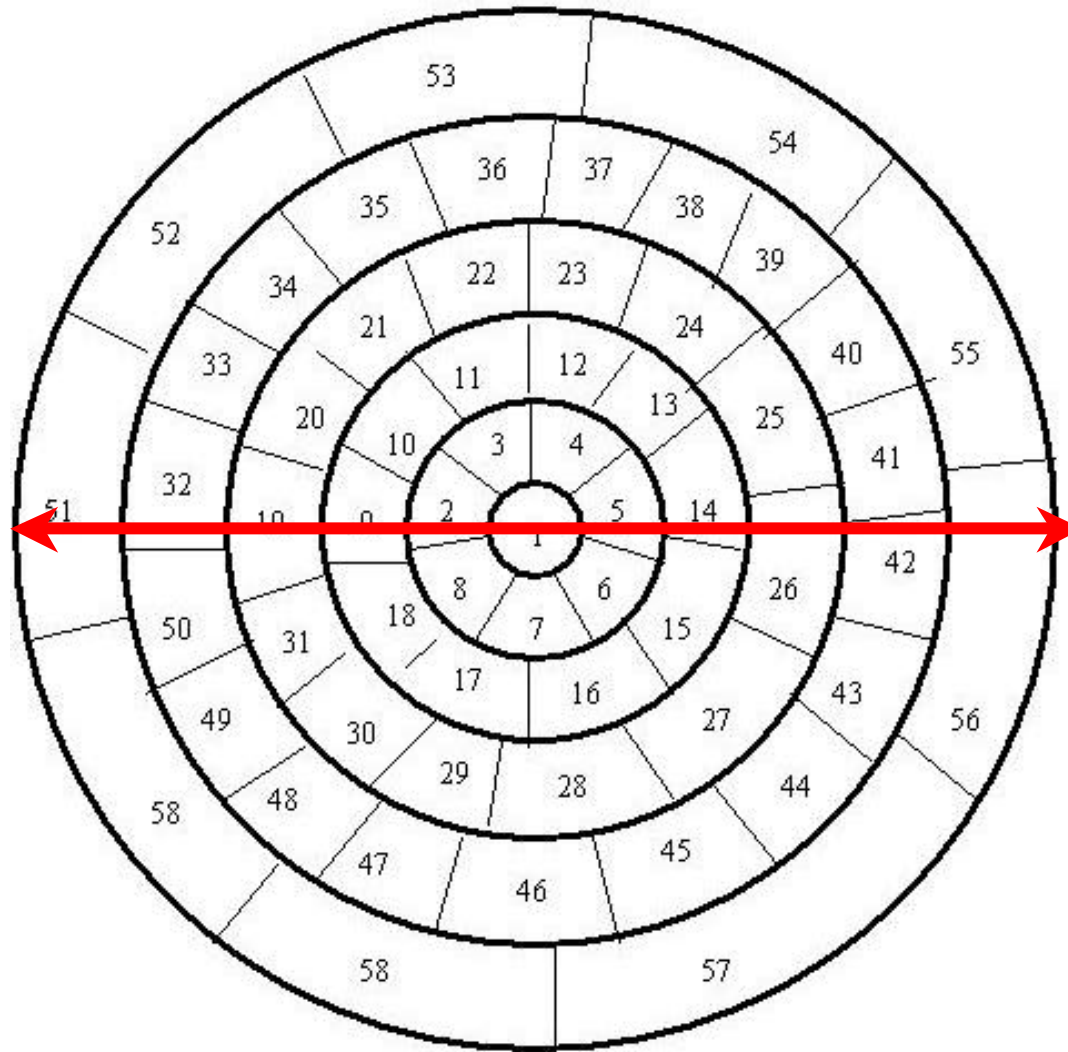


中心部と周辺部での可動量の差 (アンカー位置オフセット)

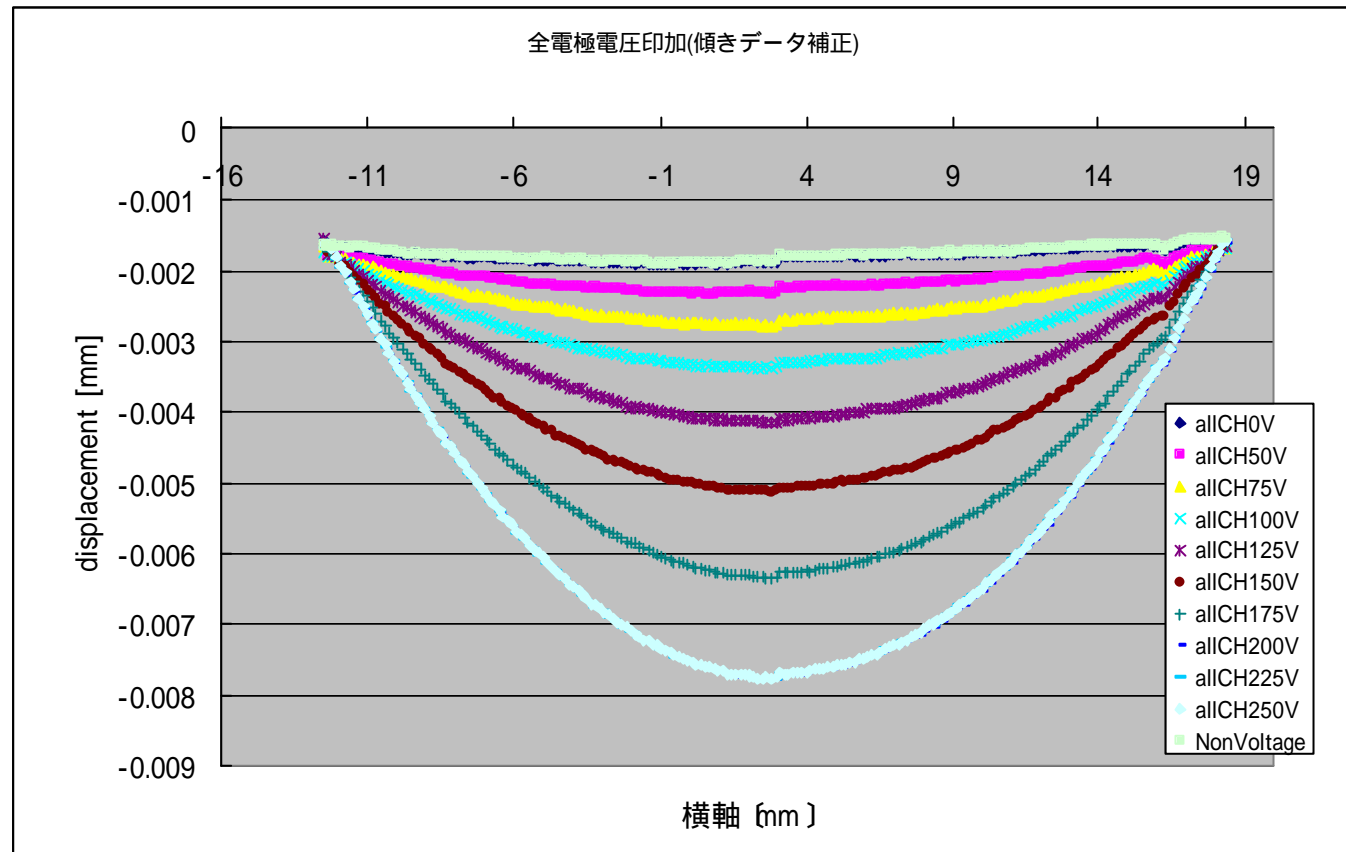
全電極に均等に電圧を印加したとき、凹面鏡の働き



# 測定部分 (59ch型)



# 全電極電圧印加 (59ch)

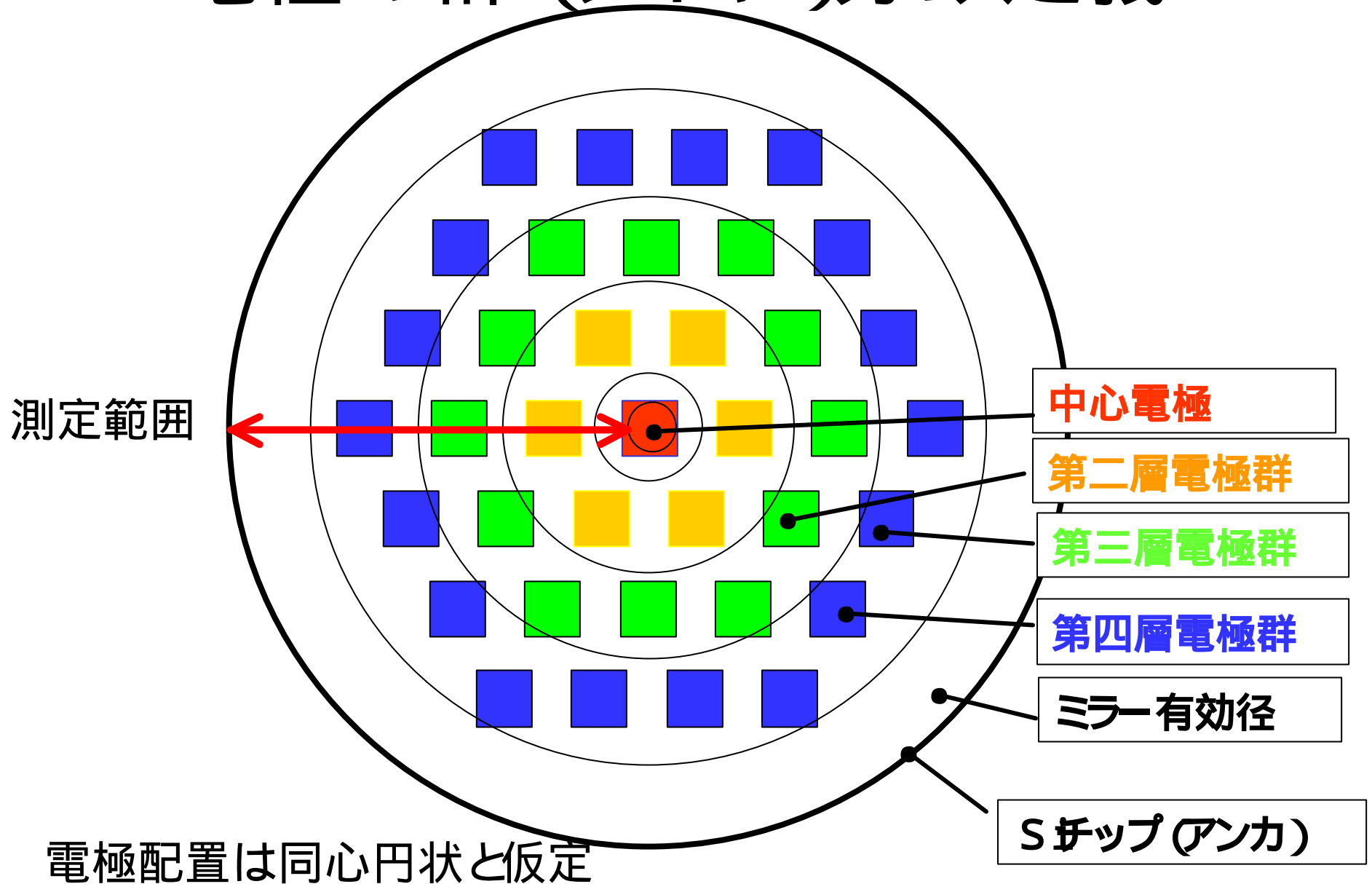


OKOのミラーの場合、電圧無印加で結果は全極0Vと重複

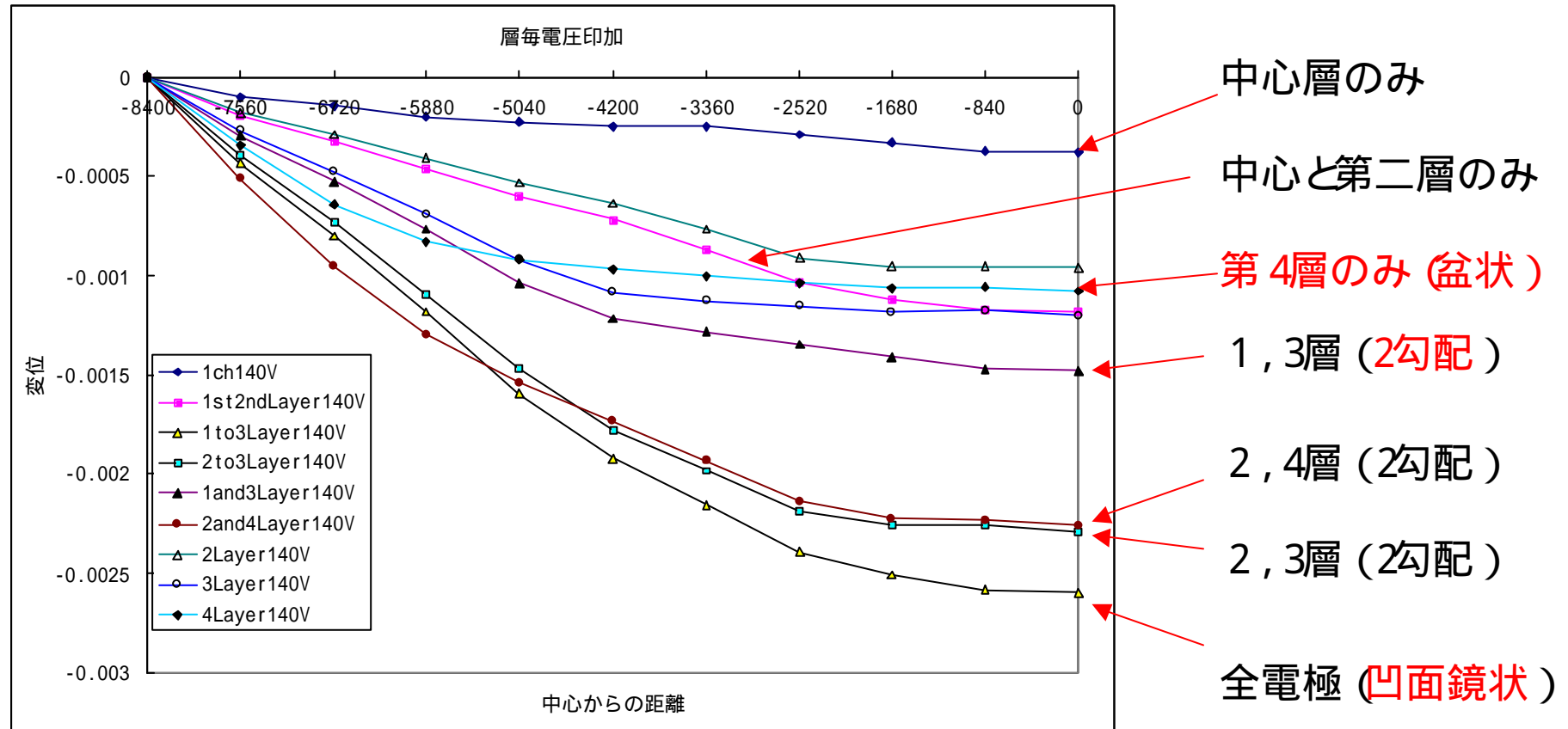
225Vと250Vの曲線が重なっていることから、変位量の飽和が見られた

最大変位は、全極250Vで、約8.4ミクロン(1m)

# 電極の群 (レイヤ) 分け定義



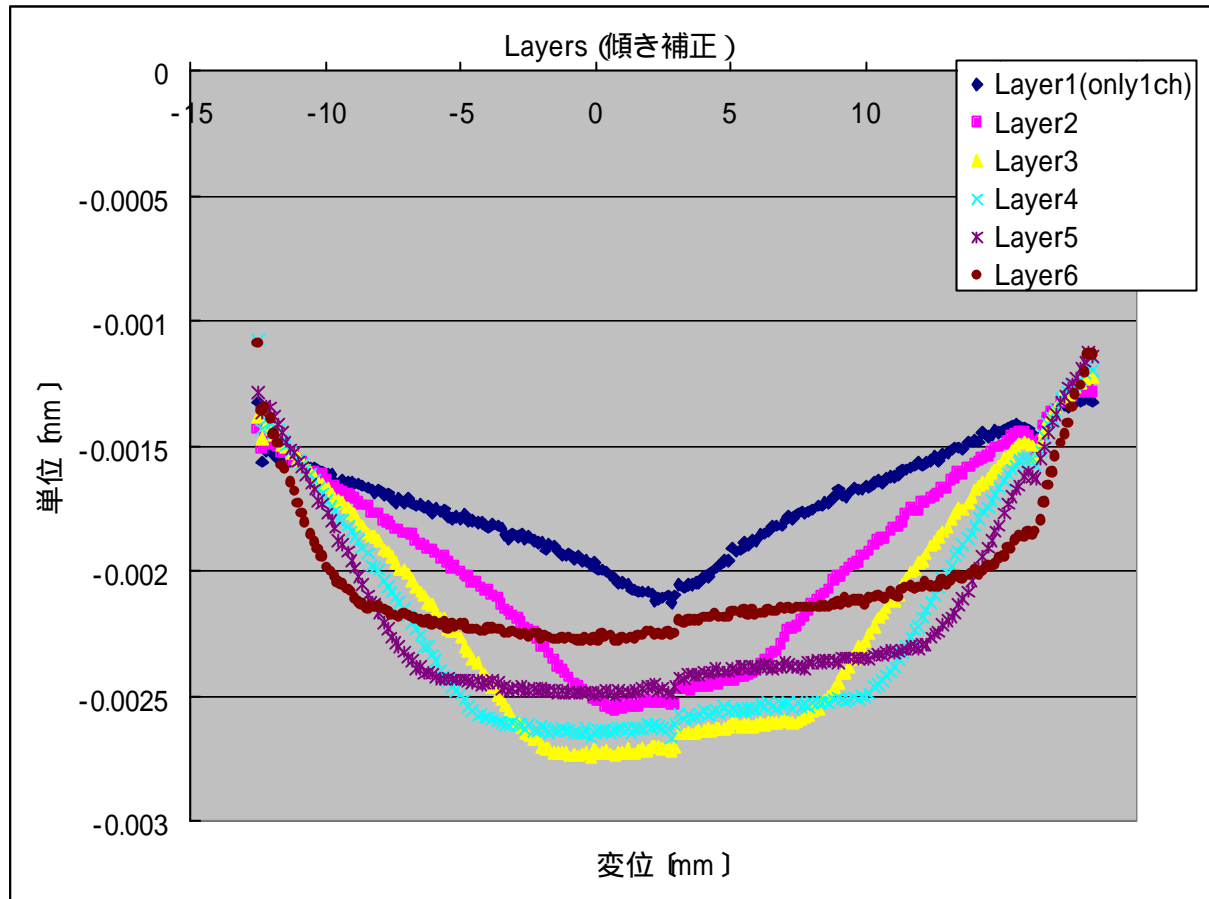
# 電極群に電圧印加 (37ch)



周辺近傍の第四層に電圧印加の場合、盆状に凹となる

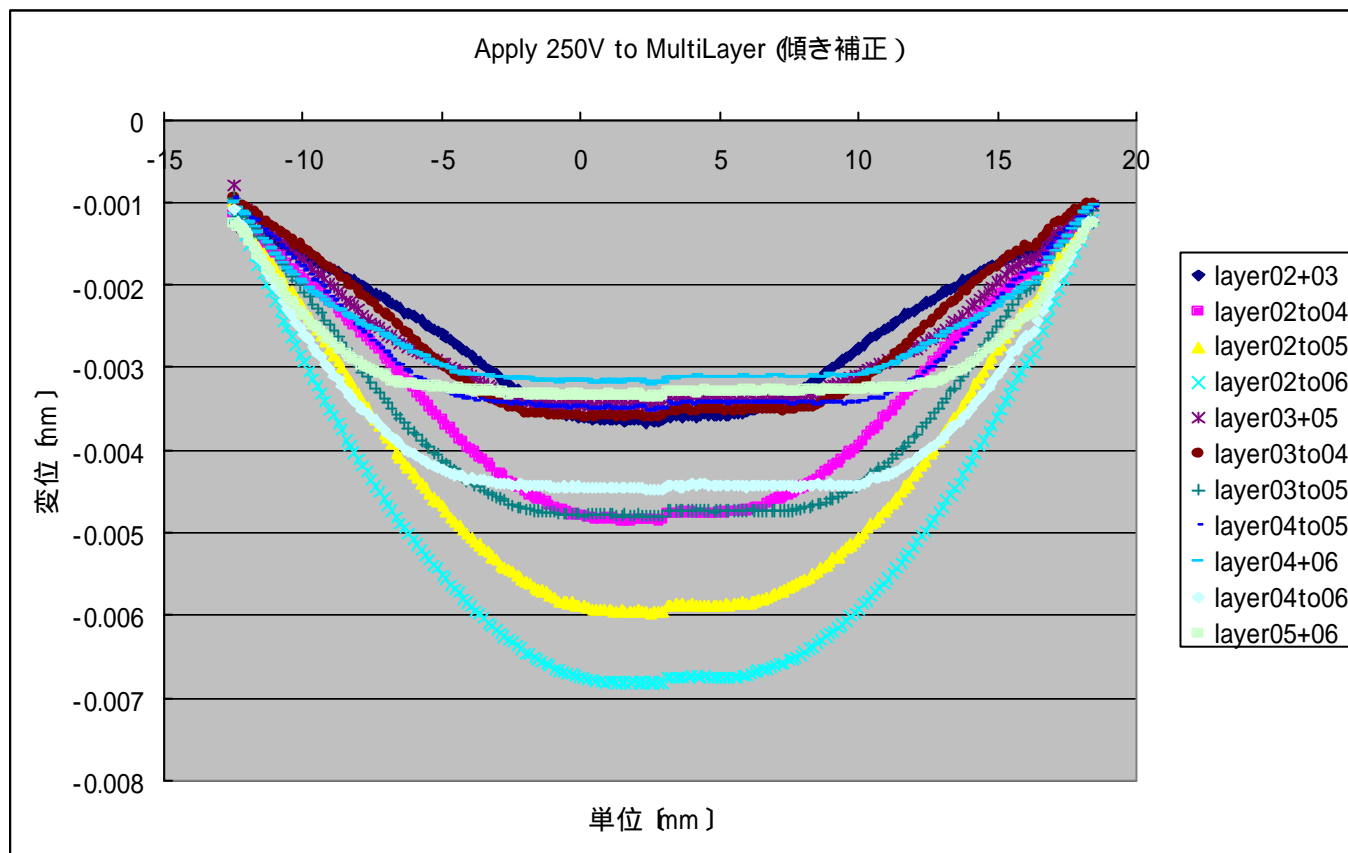
中心部分は凸にならない

# 単レイヤー電圧印加 (59ch)



第一層 (中心電極 = 1ch) から、第六レイヤーまで、単レイヤーのみに電圧を最大電圧 (250V) 印加した状態です。変位量は、全極全レイヤー印加に比して少ない。

# マルチレイヤー電圧印加の場合



マルチレイヤー印加の場合

例) Layer03to05 印加レイヤ :03,04,05

Layer03 + 05 印加レイヤ :03,05

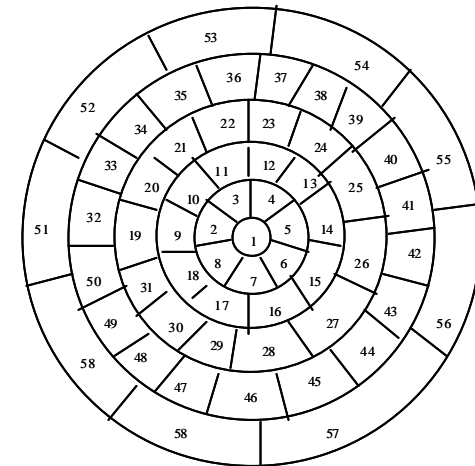
変位量は、単レイヤー印加に比して大

# ビーム形状変化

## 1. ビーム変形状態

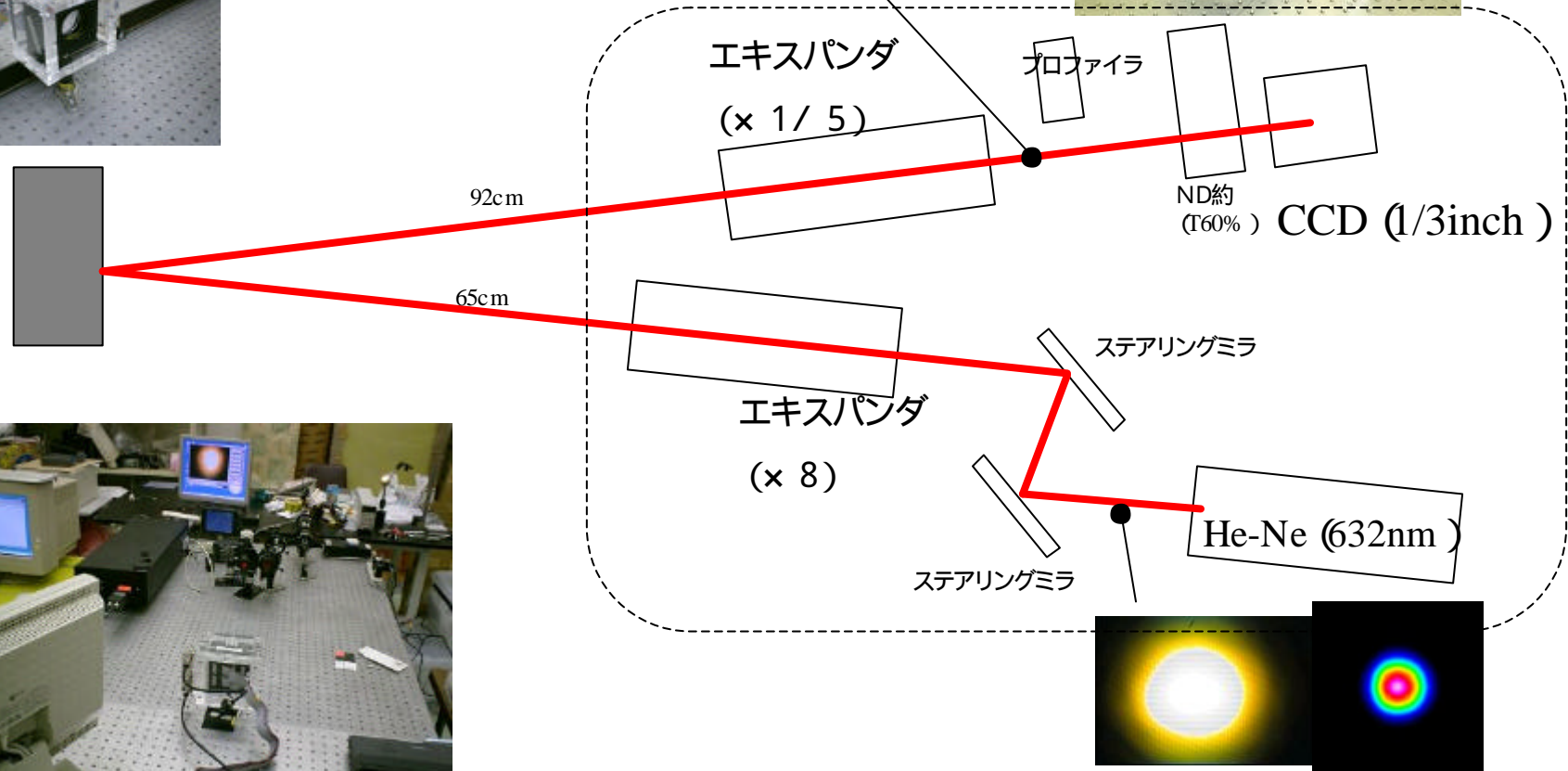
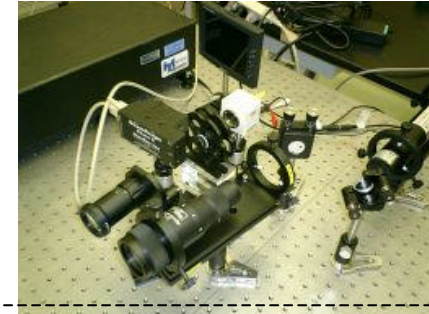
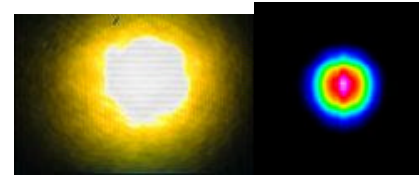
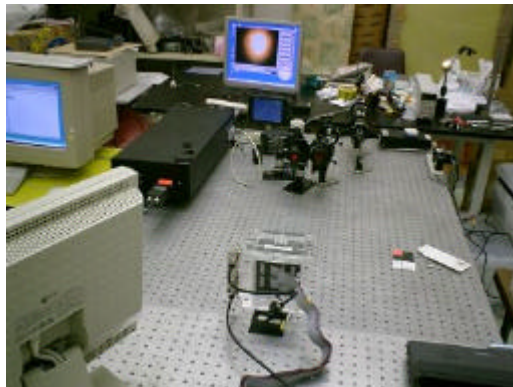
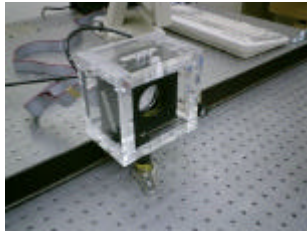
実験に用いた可変形ミラー

OKOテック 59ch型 (同軸電極)



# 実験系 (光路)

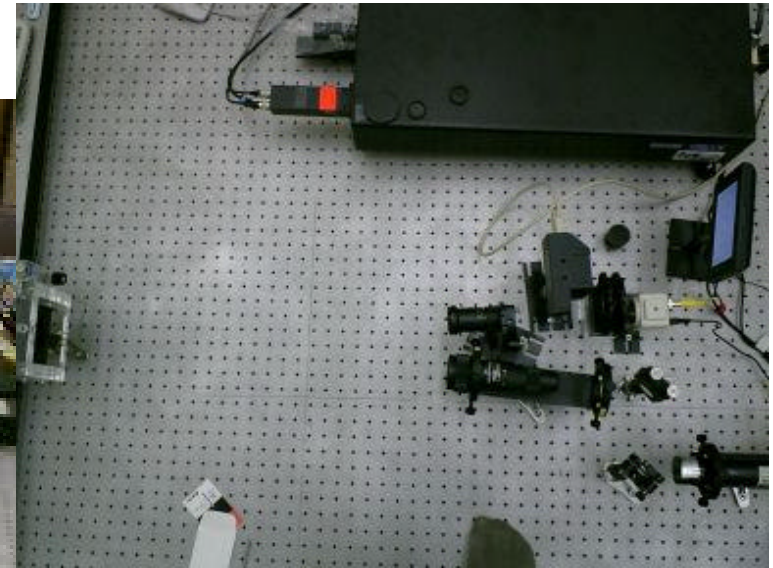
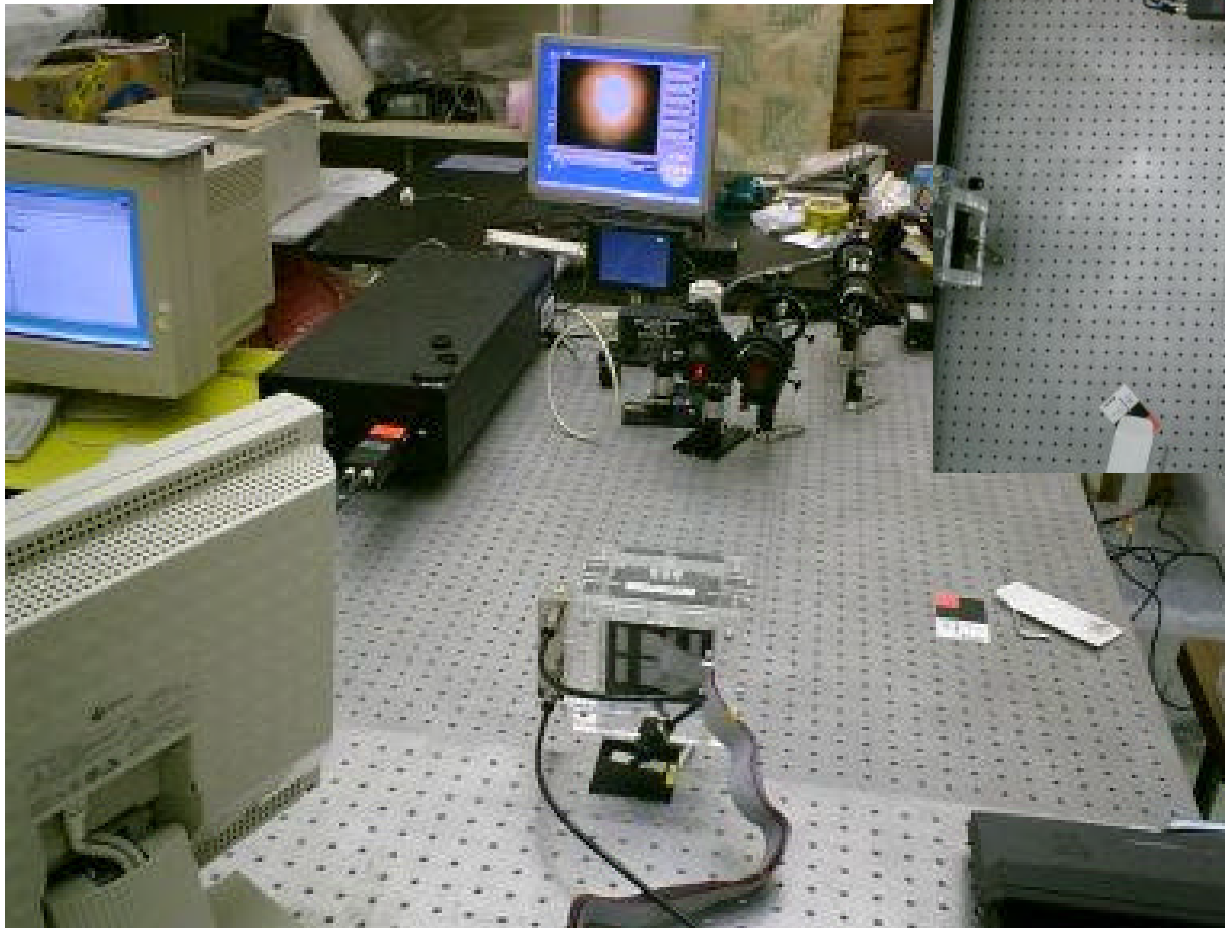
可変形ミラー  
(59ch型)



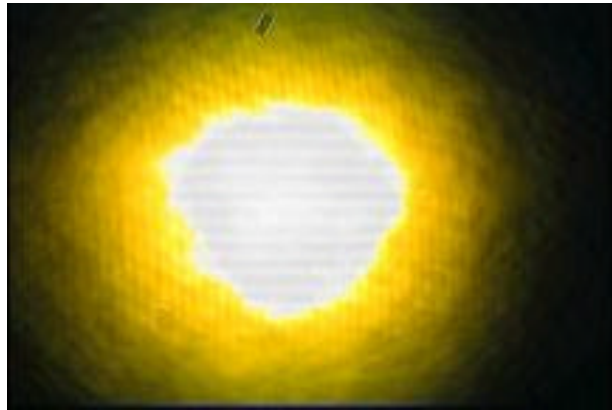


# 実験系写真

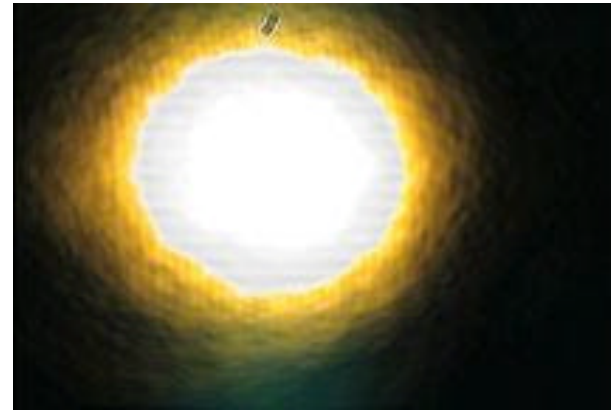
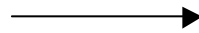
He-Ne レーザ光をDミラーで制御



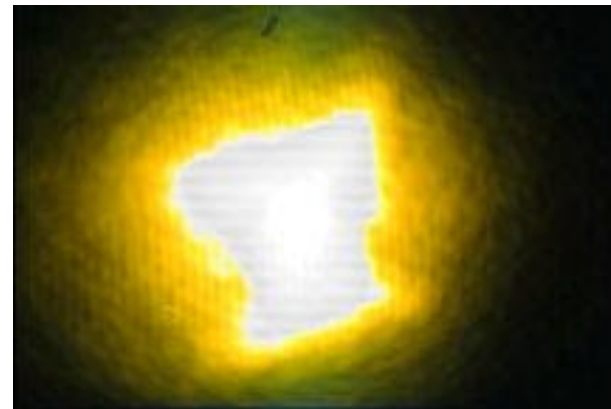
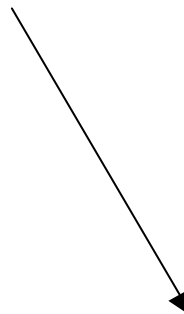
# ビーム変形状況



e8r1/5



all250V



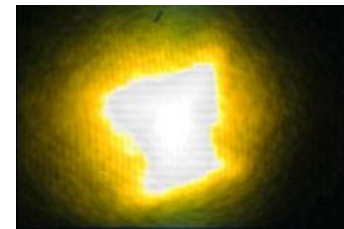
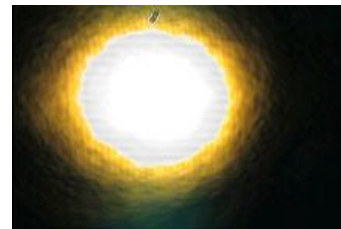
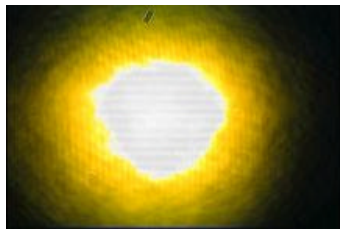
modified

# ビーム変形 (動画)

- 全極に最大電圧 (250V) を印加した場合の変化

- 単極に順次最大電圧 (250V) を印加した場合の変化

- 断面形状変形の例



要プロファイルの詳細測定

# 評価まとめ

印加電圧 - 変位量の関係は二次曲線 ( $D = A \cdot V^2$ )

可変形ミラー中心部と周辺部には同電圧印加で変位量の差 ( $D$ )が発生  
アンカ (固定錨) の影響

全電極に電圧印加時と、単極電圧印加時の変位量の差 ( $D$ )が発生  
周辺薄膜の張力や静電容量の影響

可変形ミラー各部変位量は中心からの半径と印加電圧 ( $r V$ ) に関係  
各ポイントでの数値計算 今後トライ

薄膜変位量が最大で数ミクロン  
多重反射等の検討

周辺部のみの電極群に電圧印加の場合、中心層も盆状に窪み、中心部のみの突起は現在の構造では困難。薄膜一部の突起が出来ない

強度分布の整形、波面の整形とともに、他の光学的素子との併用  
レーザー光の変形はある程度は出来る

ミラー面の変位量は少ない。短波長光に適。

# 自動化について

パラメータ設定

真円度、肩立ち上がり、平坦度

CCDカメラと制御機器の連動

クローズドループの系

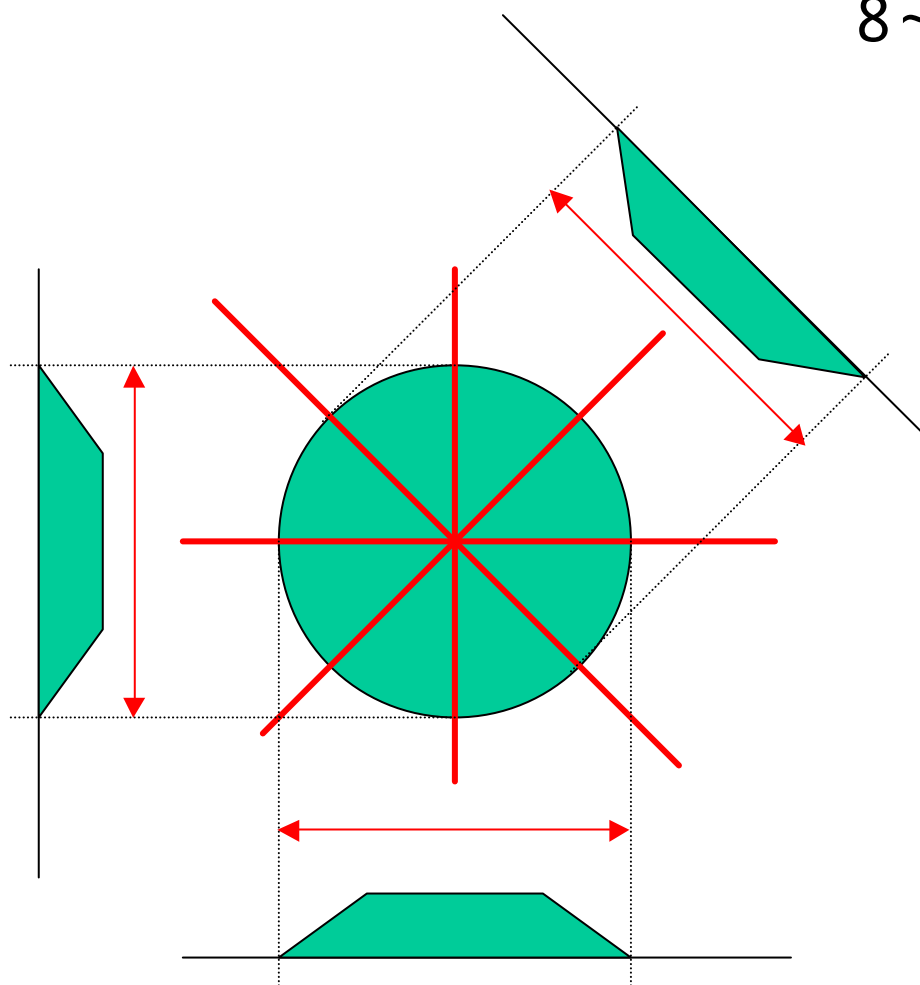
パラメータ重み付け

中心部、周辺部の重みにより

可変形ミラー動作変動範囲の限定

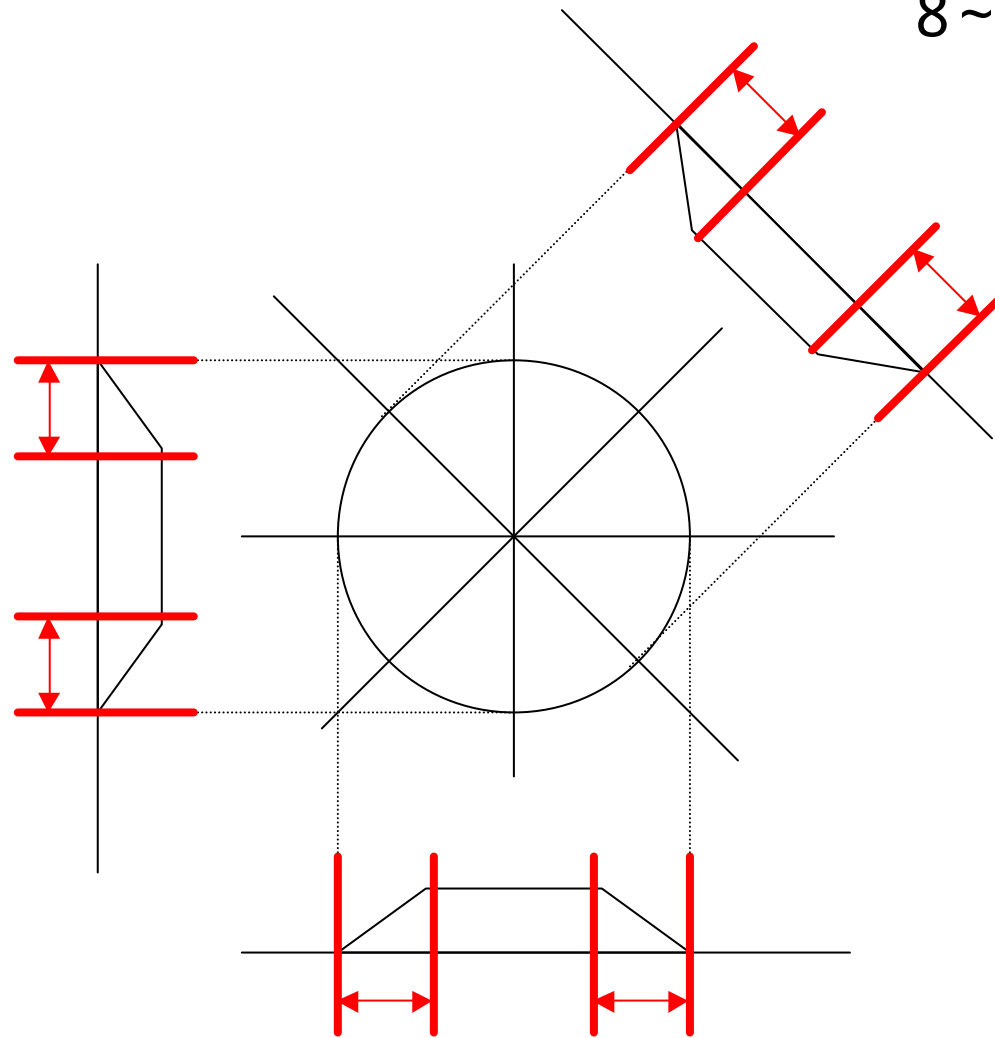
# (1)真円度

8~16方向



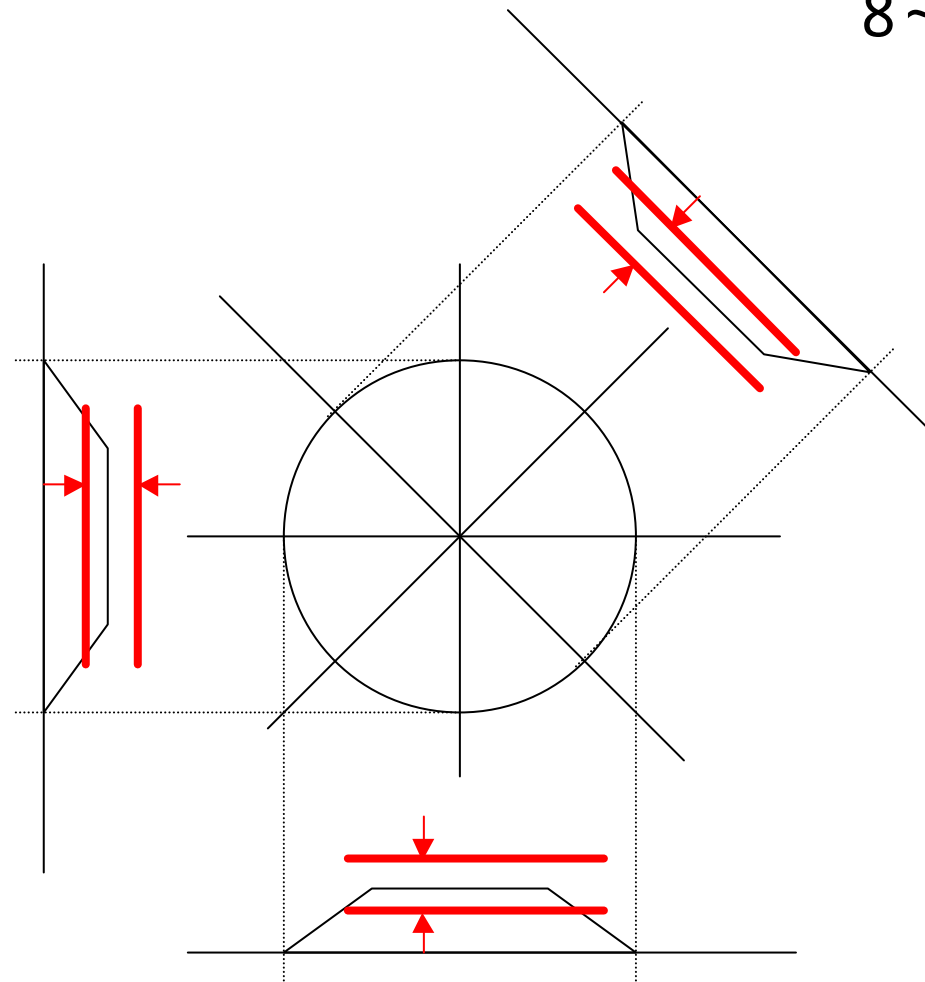
# (2)肩の立ち上がり

8~16方向



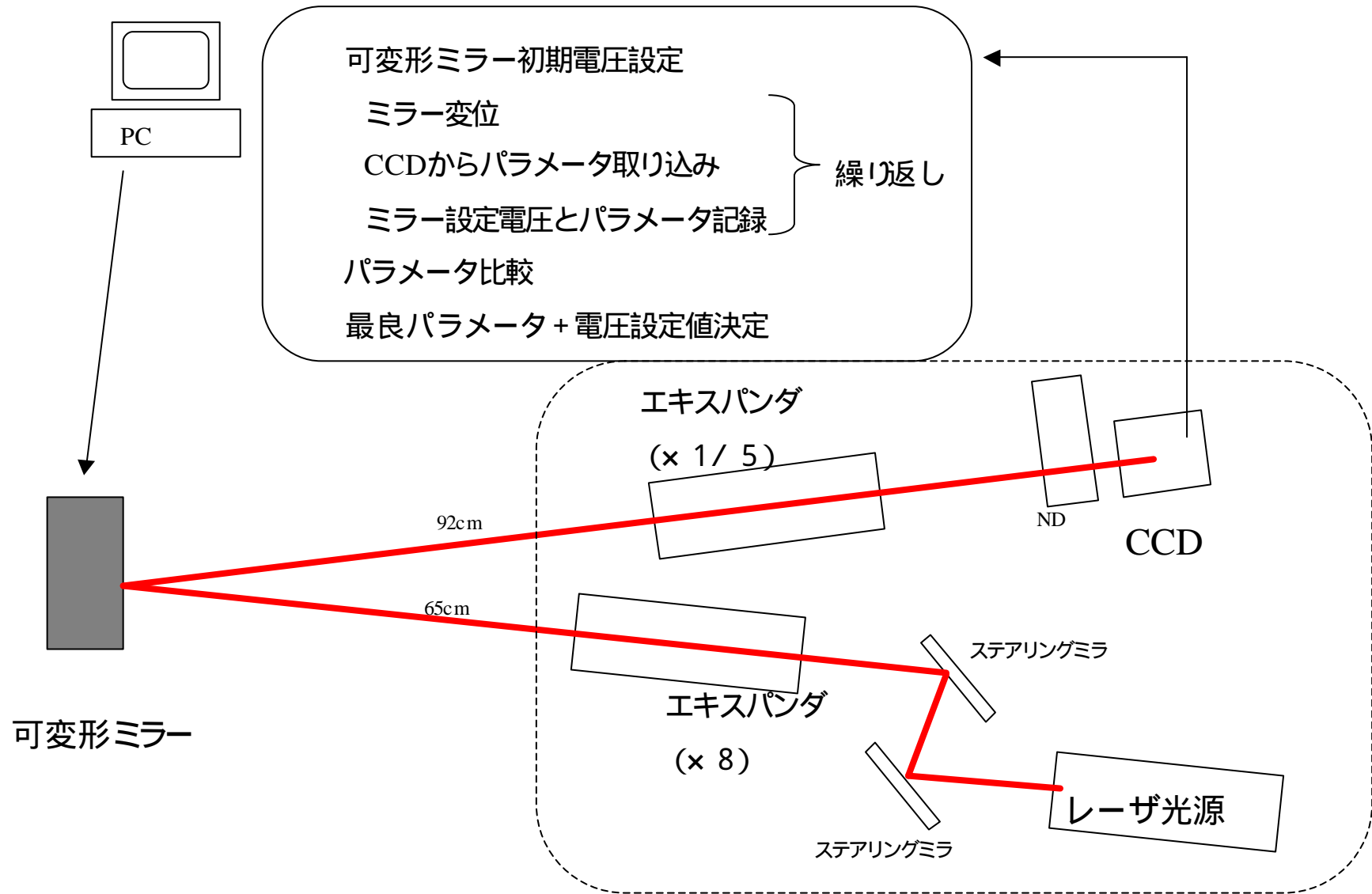
# (3) トップ部分の平坦度

8 ~ 16方向





# クローズドの制御系



# 課題

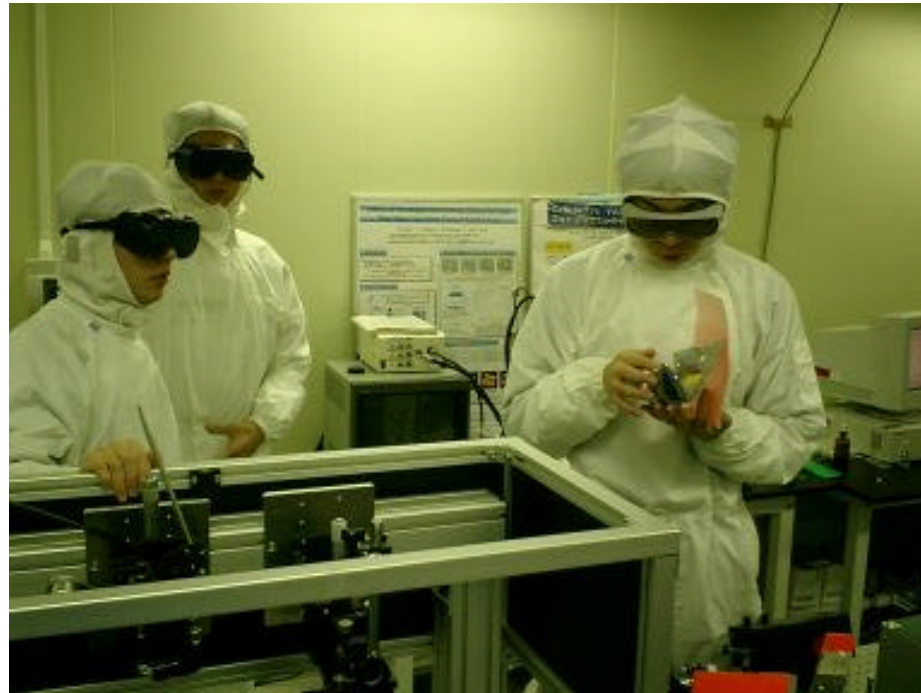
変位量 : 十分な強度等の補正が出来るか？  
多重反射？

ミラー形状 : 凹凸が出来ない  
ビーム広がり角 + 可変形ミラー？

自動制御 : 電圧設定の振り方  
検討中  
(山登り方法 + 複数初期条件によるチカラわざ)

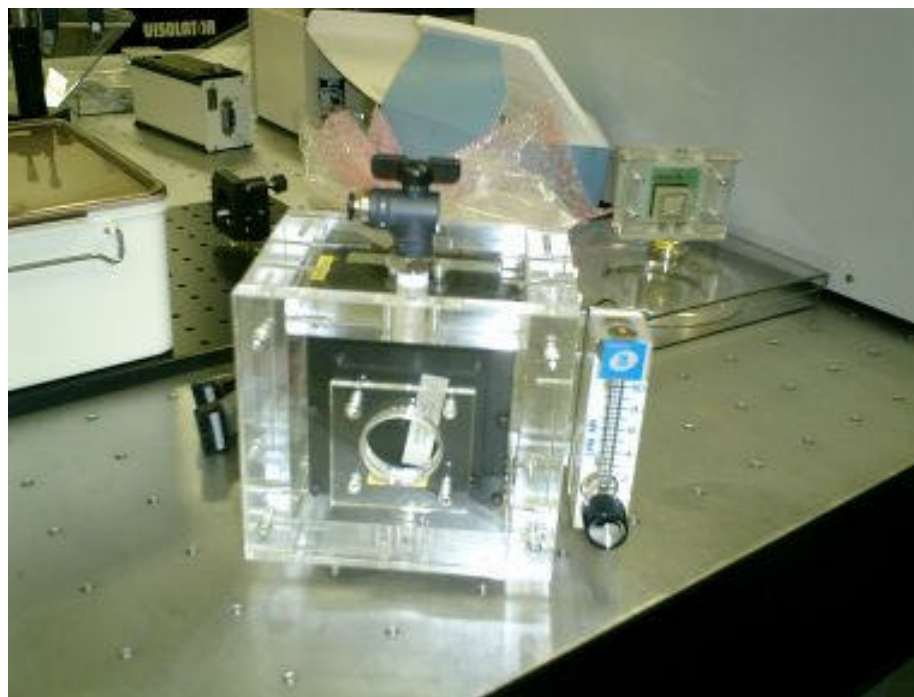
測定系 : 連動させるCCDプロファイラ  
試作予定 (制御連動のため)

# 付録



# 59chミラー用保護治具

産総研テクニカルセンターに依頼し、DM保護治具を製作しました。



目的

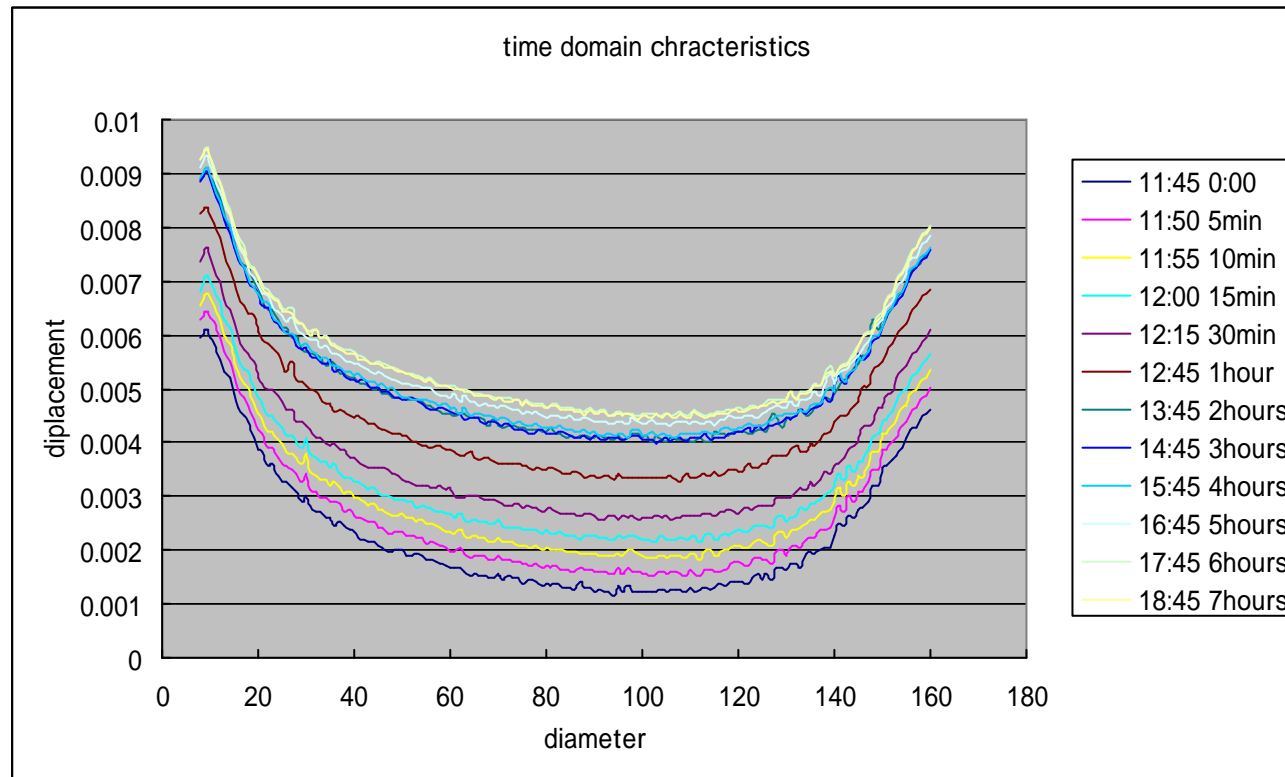
保護 (CaF<sub>2</sub>蓋付き)

乾燥窒素パージ (インレット、アウトレット、流量計付き)

図面等の詳細は 「N2P保護治具.ppt」参照かた

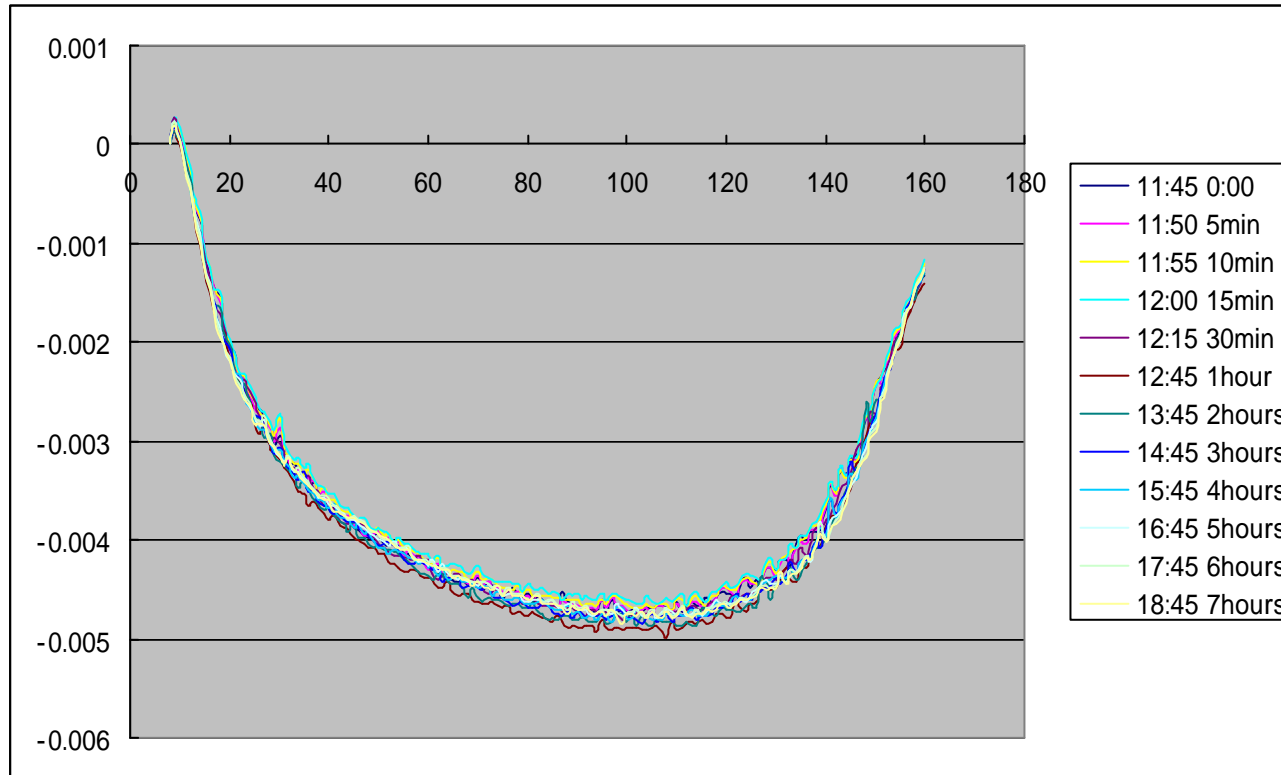
(産総研テクニカルセンターの多大なるご協力に感謝します)

# 再現性検討



37ch型

# 再現性検討



37ch型