



# 主鏡制御関係進捗状況

下農 淳司

# アジェンダ



## 1. その他

- a. ナスミス焦点面機構
- b. 望遠鏡・観測装置用ライブラリ

## 2. 分割主鏡シミュレータ

- a. シミュレータの概略
- b. 3D対応の概要と理由・利点
- c. シミュレータ動作試験
- d. ギャップセンサー配置と特異値の関係
- e. ギャップセンサー取り付け方向の影響
- f. セグメント横ずれの効果

## 3. 今後

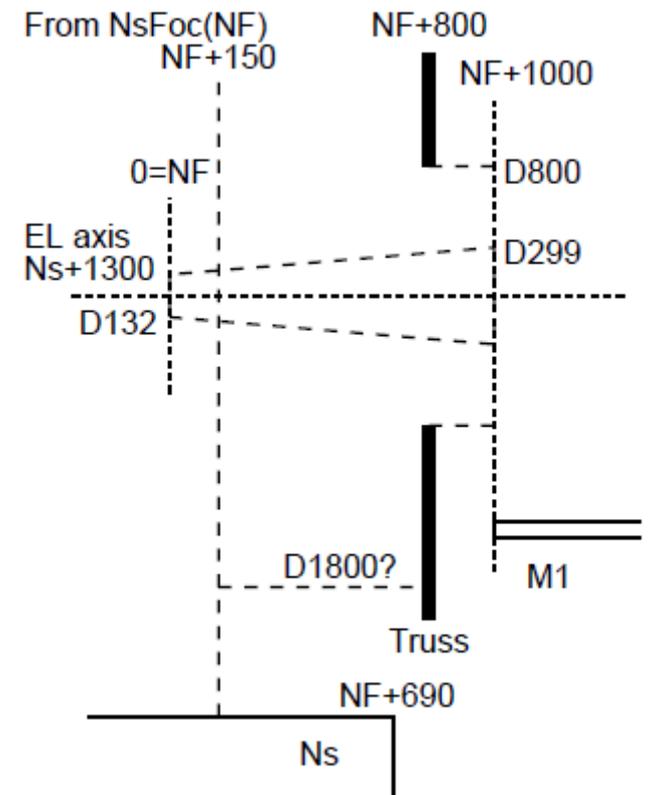
# ナスミス焦点面機構



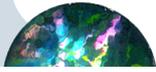
<http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/~shimono/Kyoto3m/ns/restricted/ns-imrot-design01-20101125.pdf>

## 配置されるべき構造物

- 装置回転機構
- それに付随した装置用汎用インターフェース
- 退避可能なADC
- AG/SH/PCS 機構
- GRB 面分光装置用IFS ユニット
- PCS 用レーザー射出機構
- 装置用Cal ソース



# ナスミス焦点面機構



## 配置案 (例)

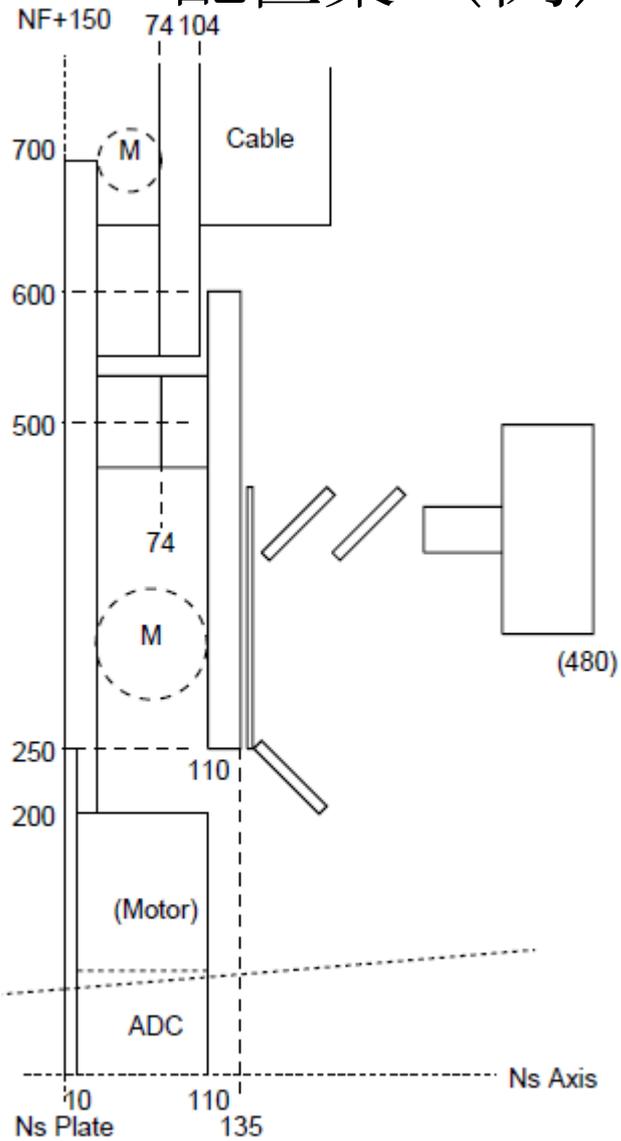


図 2: ナスミス焦点機構 - 光軸方向配置案 I

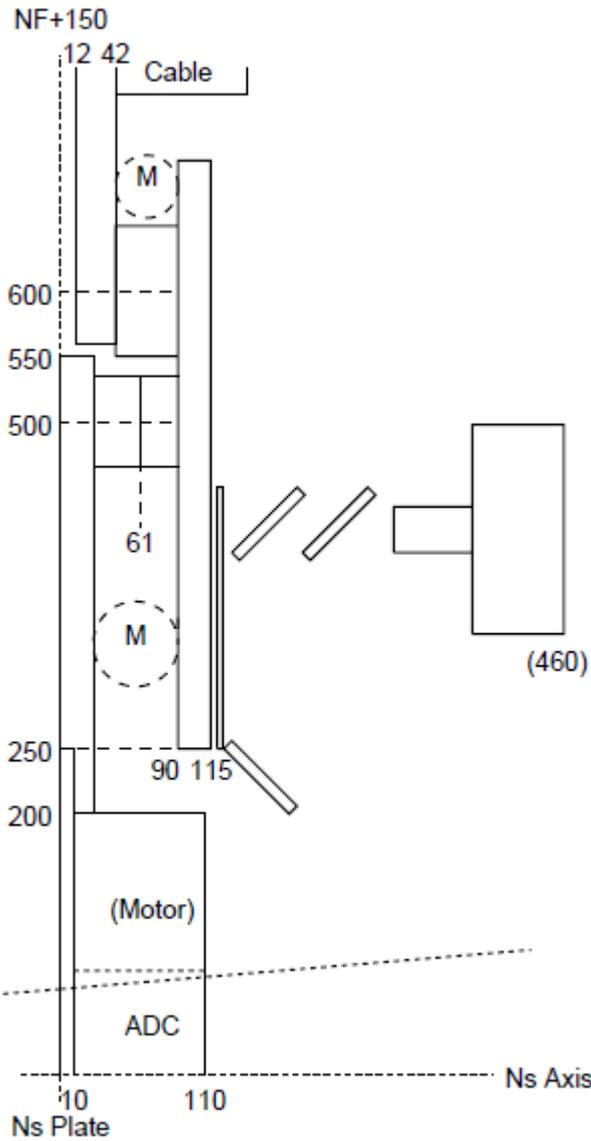
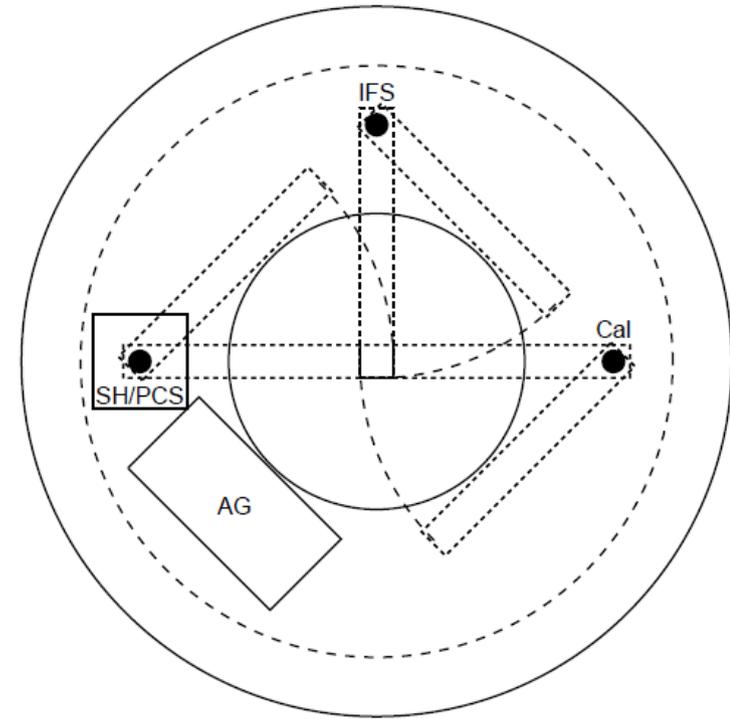


図 3: ナスミス焦点機構 - 光軸方向配置案 II



# 望遠鏡・観測装置用ライブラリ



## 目的

- ・ 望遠鏡・観測装置制御用の汎用ライブラリ  
開発段階でのテストコード用  
望遠鏡制御に必要な通信系など
- ・ 実験・開発段階で必要となった機能を実装
- ・ シンプルな利用しやすいライブラリとして実装

## 現状

- ・ 望遠鏡で必要と思われる機能は新規実装中
- ・ 開発段階での汎用に利用可能なものも統合  
分割主鏡シミュレータの汎用部分など
- ・ 昔作成した観測装置用のライブラリを統合  
Kyoto3DII用とか、、、

# 望遠鏡・観測装置用ライブラリ



libastro-inst ver 1.3.0 2010/12/15 リリース  
分割主鏡シミュレータはver 1.3.0に依存  
1.3.0で総行数約14500行のコンパクトさ

namespace/class	last updated	spec fixed (from)	brief summary
astro::fits	1.2.0	yes	FITS file manipulator
constants::math	1.0.0	yes	Mathematics constants
constants::physics	1.0.0	yes	Physical constants
gsl::Random	1.0.0	yes	Random routines wrapper
math::fft	1.2.0	yes	FFT related routines
math::lomb_scargle	1.3.0	yes	Lomb and Scargle unevently sampled FFT
math::nlls	1.3.0	yes	Non-Linear Least Squared module
network::rshm	1.2.0	yes	Remote SHared Memory
network::socket	1.1.0	yes	Network socket wrapper
system::cui::VT100	1.1.0	yes (1.1.0)	VT100 (CUI term) handler class
system::ipc::MEQ (class)	1.0.0	yes	IPC/Message Que
system::ipc::SHM (class)	1.0.0	yes	IPC/SHared Memory
system::signal::Signal (class)	1.0.0	yes	POSIX signal handler
system::stream::copystream	1.0.0	yes	Copy stream buffer
system::stream::utils	1.0.0	yes	Misc utilities for stream in/out
system::thread::Thread	1.1.0	yes (1.1.0)	Thread wrappers
utils::config	1.2.0	yes	Config file manipulator
utils::datetime::DateTime	1.2.0	yes	DateTime manipulator (UTC/TAI)
utils::stack::GlobalManip	1.1.0	yes	Stack manipulator (global static)

Table 1.1: Library components' version list

# 分割主鏡シミュレータ



## 目的

### 開発段階での利用

- ・ 分割主鏡の位相あわせ時の振る舞いを把握
- ・ ギャップセンサー配置などへのフィードバック
- ・ 制御アルゴリズム開発用データ収集

### 運用段階での利用

- ・ ソフトウェア更新時の実運用前試験ベンチ

# 分割主鏡シミュレータ - シミュレータの概略



アクチュエータ制御量  $\Rightarrow$  ギャップセンサー測定値

この変換は主鏡の位置を計算すると導出される  
かつある程度線形な関係であるはず

つまり、、、

制御量・測定値は線形な行列変換で近似可能！

逆変換は？

測定値数のほうが多いはずなので逆行列はない  
 $\Rightarrow$  SVDで解いてやることで逆変換する

# 分割主鏡シミュレータ - 3D対応の概要と理由・利点



前回、2D近似のシミュレータを発表しました

いろいろ弄ったり、分割主鏡制御実験などの結果からの要請を考慮すると問題点がいくつか。

- ・ 鏡材横ずれ時の出力が正しくでない
- ・ ギャップセンサー取り付け角度を定義不能

ということで、すべてを3Dで取り扱うように変更

=> 2D近似で無視されていた部分が判別された！

# 分割主鏡シミュレータ - 3D対応の概要と理由・利点



## ギャップセンサー読み出し値の導出方法

### 5.5.1 ギャップセンサー読み出し値

鏡材が背面に平行な面上で並進・回転移動したときのギャップセンサーの読みへの影響を考える。この場合、関係する鏡材は2枚存在し、この二つの相対位置関係を求める必要がある。いま、センシング面側は中心点の3次元座標が、対向板側は対向板上の点<sup>8</sup>と対向板に対する垂線ベクトルの二つがあればよい。

ここで、計算を簡単にするために、センシング面側の中心点の3次元座標を座標変換を行うことで、理想状態にある対向板側セグメントに対する位置を導出し、2つのベクトルの内積を求める<sup>9</sup>ことにする。

このための操作は次のようになる。

- センシング面中心点の座標をセンシング面側セグメントの並進・回転で変換
- センシング面側セグメントの座標系をセグメント系からグローバル系に変換
- グローバル系上で対向板側のセグメントに移す (セグメント ID のみ変更)
- 対向板側セグメントをグローバル系からセグメント系に座標変換
- 対向板側セグメントの並進・回転を戻す変換を行う
- 対向板の基準点・垂線ベクトル (不変) から距離を導出

この最後の距離の導出の際、センシング面中心点座標は、移動前の対向板側セグメントの座標系まで変換されてきているので、対向板側セグメントがセグメント内での回転角を持っているかどうかに関係なく、垂線ベクトルを変換せずに適用できる。

# 分割主鏡シミュレータ - シミュレータ動作試験



動作試験として以下の点を確認しすべて問題なし

- ・内部の座標変換の確認
- ・ギャップセンサー定義から3制御量への変換  
(センサー一面中心点、対向板上点、対向板垂線)
- ・アクチュエータ1つを駆動したときの読み出し値

## 変換行列の線形性確認

1 $\mu$ m駆動に対する反応で変換行列を作成

1mm駆動に対して以下の二つの差を求めた

- ・変換行列で変換した読み出し値
- ・座標変換を追うことで求めた読み出し値

=> 読み出し値のエラー絶対値平均 :  $1e-10$  mm

# 分割主鏡シミュレータ - 配置と特異値の関係



変換行列をSVDすると特異値・特異ベクトルが出る

ギャップセンサー配置に1対1対応の組が得られる

- ・特異ベクトル

アクチュエーターの57次元空間での制御量の分布の単位直交ベクトルによる系での表式

対応して読み出し値のほうにも単位直交ベクトルが定義される

- ・特異値

対応する特異ベクトルの制御のしやすさの指標  
特異値が1に近づくような配置が望ましい

# 分割主鏡シミュレータ - 配置と特異値の関係



特異値が小さなモード = 変化が滑らかなモード

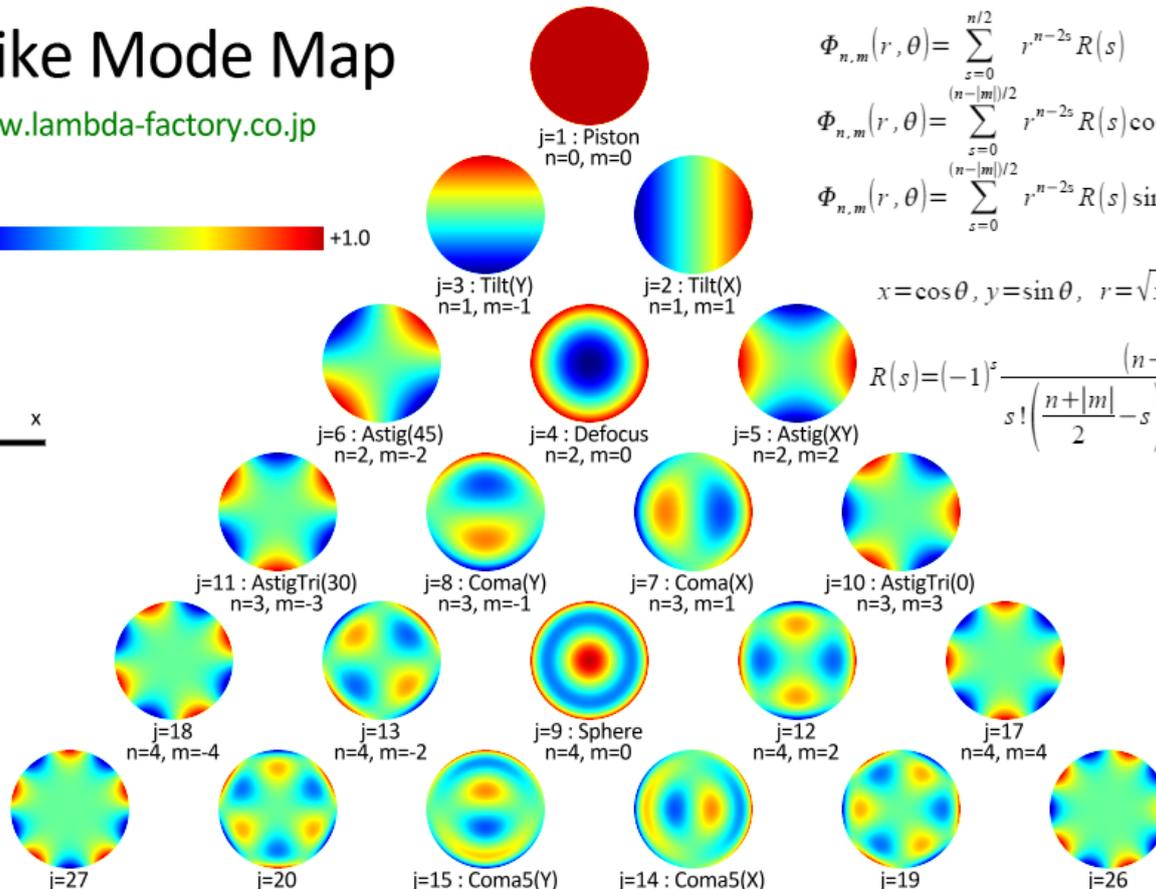
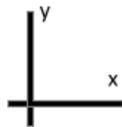
Zernike多項式の形状に似ている

=> Zernike多項式のモードの呼び名で呼ぶ

## Zernike Mode Map

[www.lambda-factory.co.jp](http://www.lambda-factory.co.jp)

-1.0 +1.0



$$\Phi_{n,m}(r, \theta) = \sum_{s=0}^{n/2} r^{n-2s} R(s) \quad m=0$$

$$\Phi_{n,m}(r, \theta) = \sum_{s=0}^{(n-|m|)/2} r^{n-2s} R(s) \cos(m\theta) \quad m>0$$

$$\Phi_{n,m}(r, \theta) = \sum_{s=0}^{(n-|m|)/2} r^{n-2s} R(s) \sin(m\theta) \quad m<0$$

$$x = \cos \theta, y = \sin \theta, r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (r < 1)$$

$$R(s) = (-1)^s \frac{(n-s)!}{s! \left(\frac{n+|m|}{2} - s\right)! \left(\frac{n-|m|}{2} - s\right)!}$$

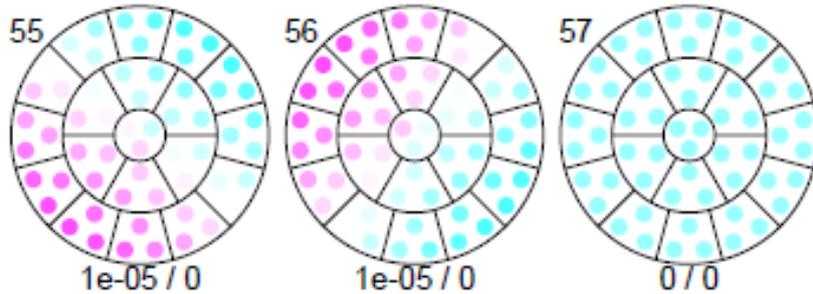
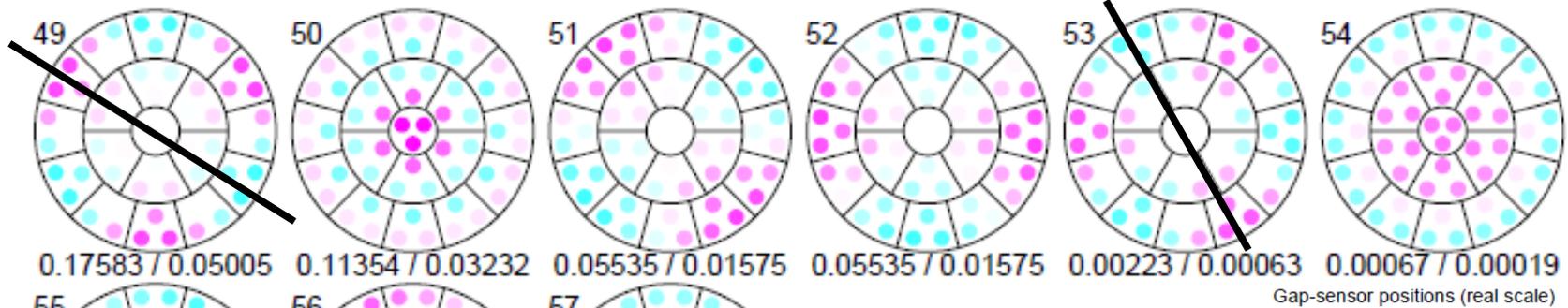
# 分割主鏡シミュレータ - 配置と特異値の関係



特異値が小さなモード = 変化が滑らかなモード

対称な形との兼ね合いで曲率・6次は2種類に分裂

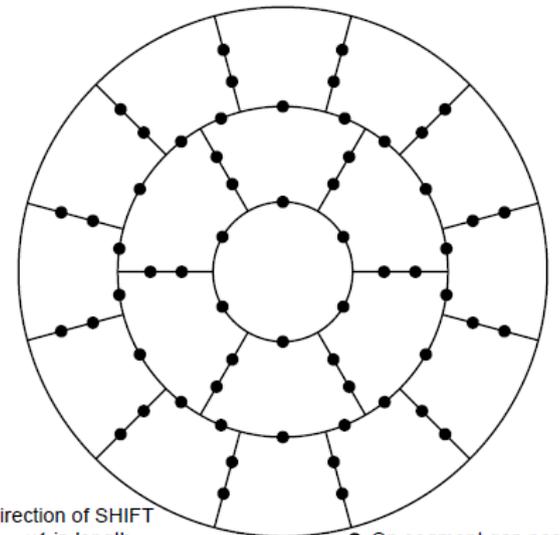
6次A 曲率A 4次 4次 6次B 曲率B



傾き

傾き

並進



Direction of SHIFT  
 — x1 in length  
 - - - x10 in length  
 ● On segment gap pos  
 ○ Shift from segment gap

# 分割主鏡シミュレータ - 配置と特異値の関係



センサー配置の対称性を崩す

=> 対応する特異ベクトルの特異値が向上する

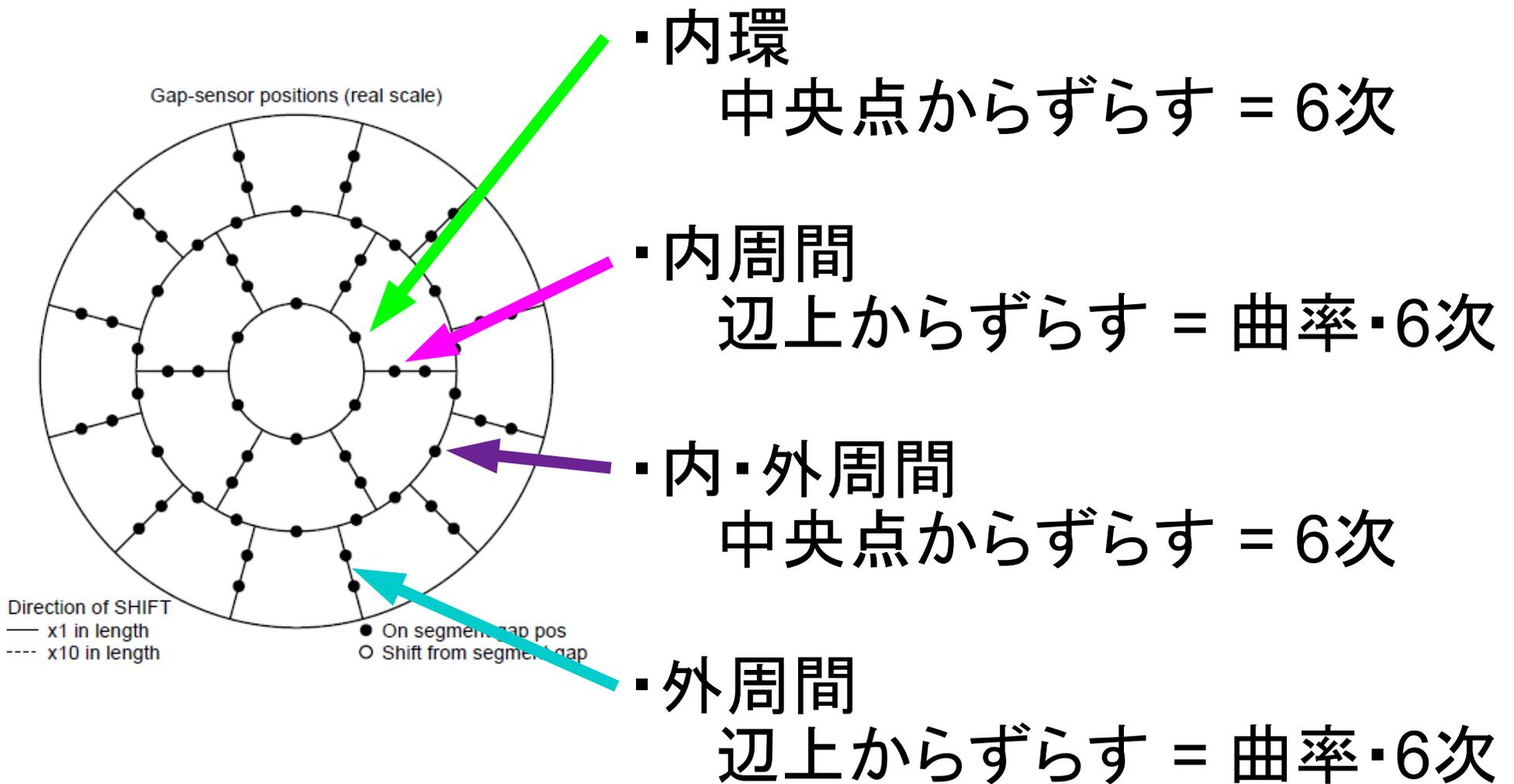




图 2: exec01/test2000.dat.eigen.l.eps

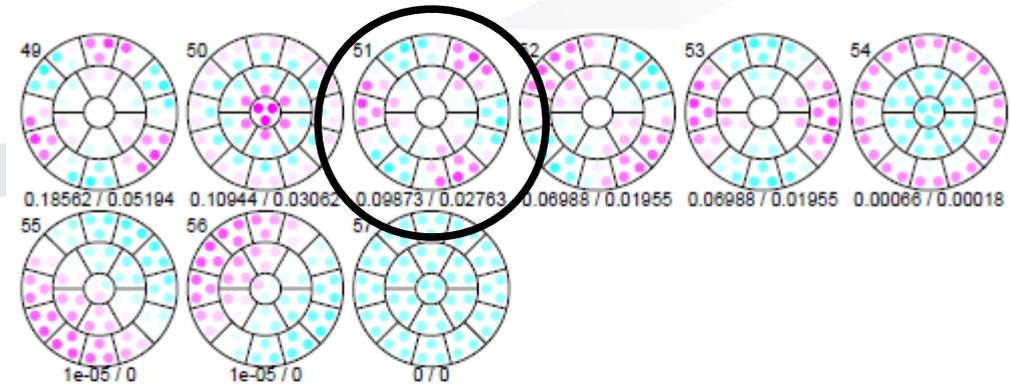


图 4: exec01/test0000.dat.eigen.l.eps

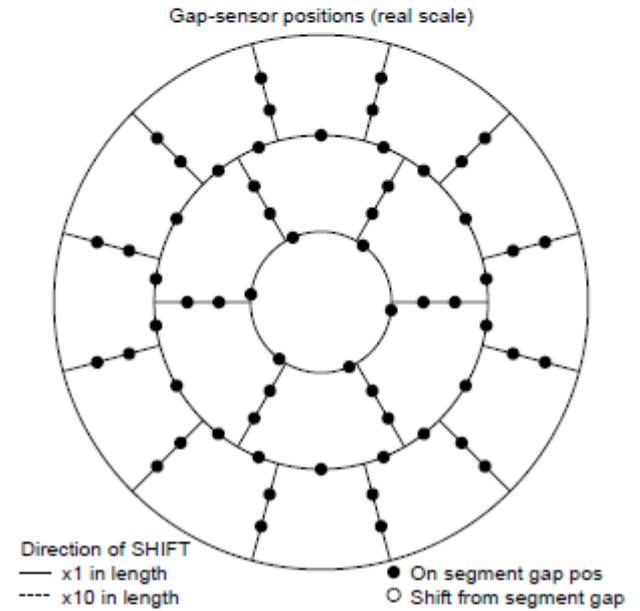
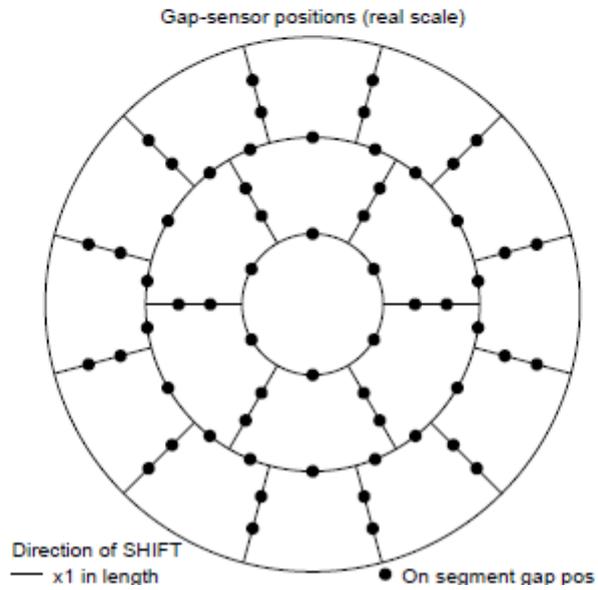
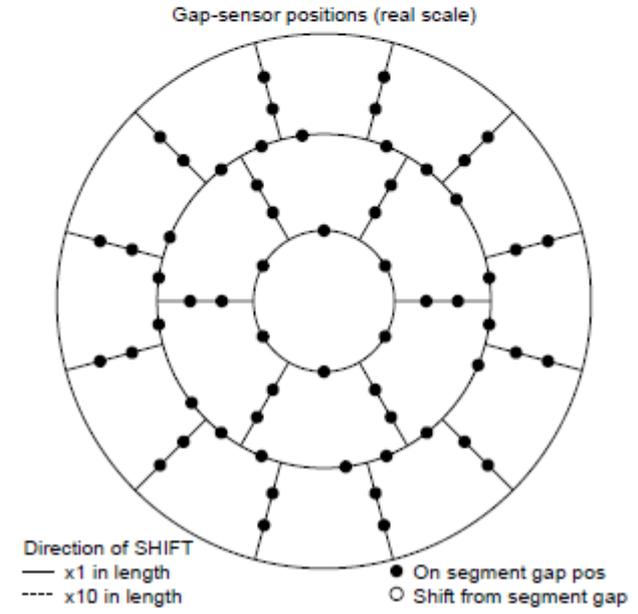
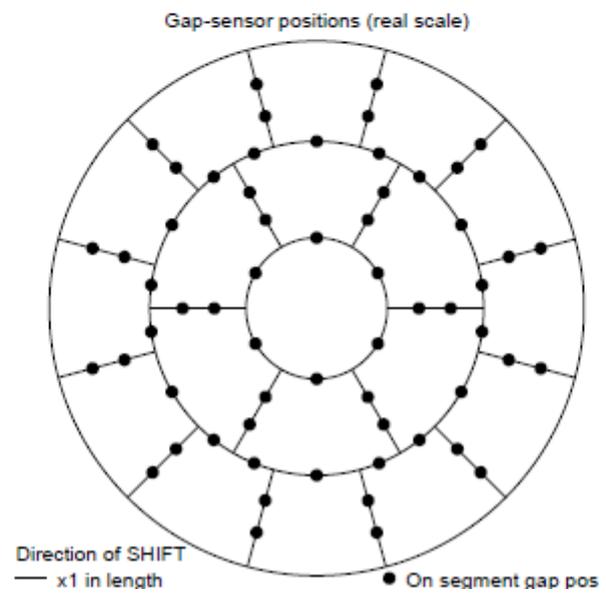




图 2: exec01/test2000.dat.eigen.1.eps



图 10: exec01/test2001.dat.eigen.1.eps



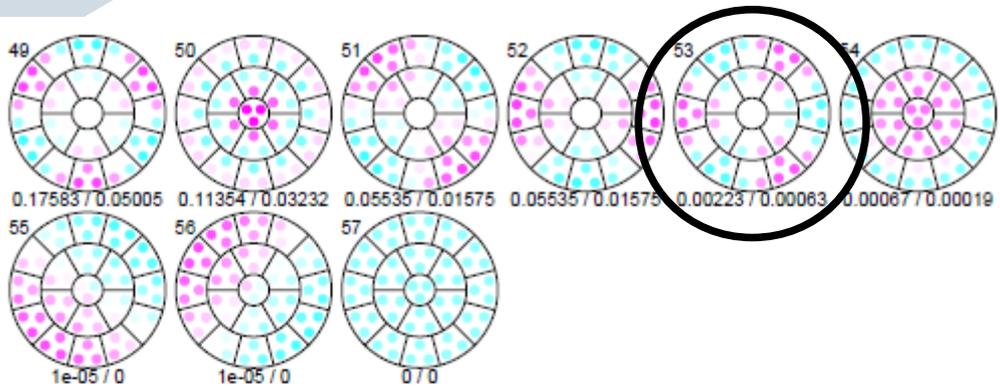


图 2: exec01/test2000.dat.eigen.1.eps

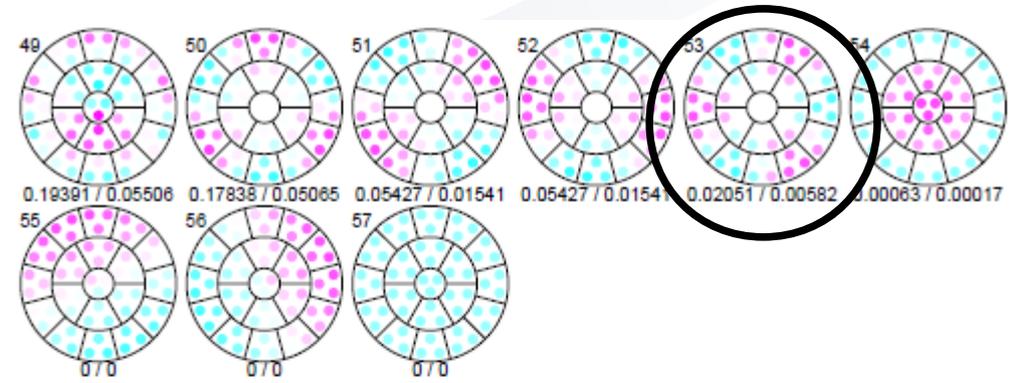
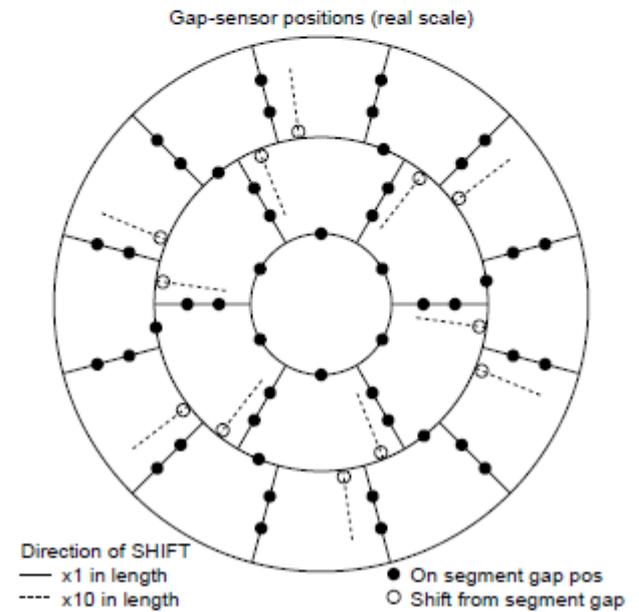
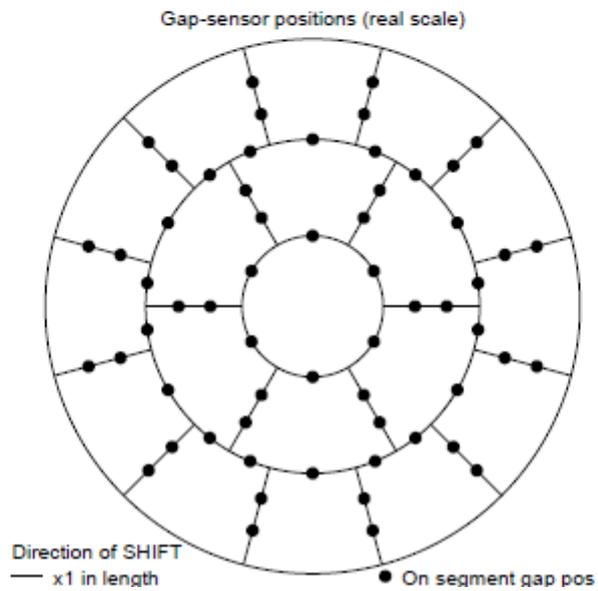


图 24: exec01/test200b.dat.eigen.1.eps



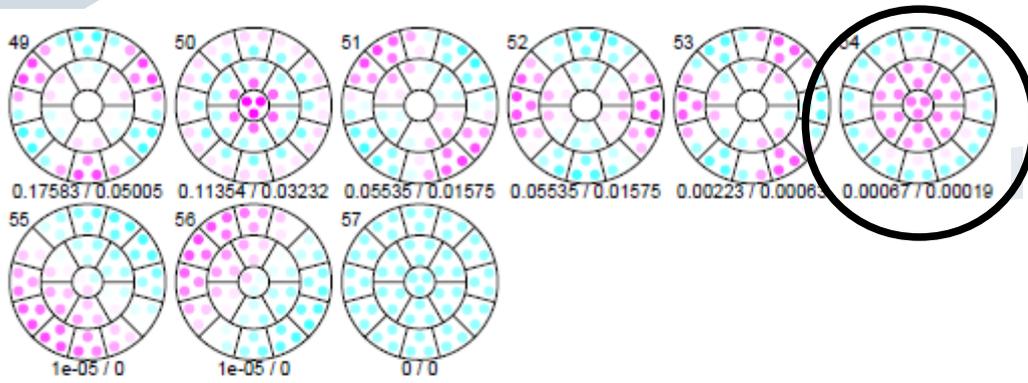
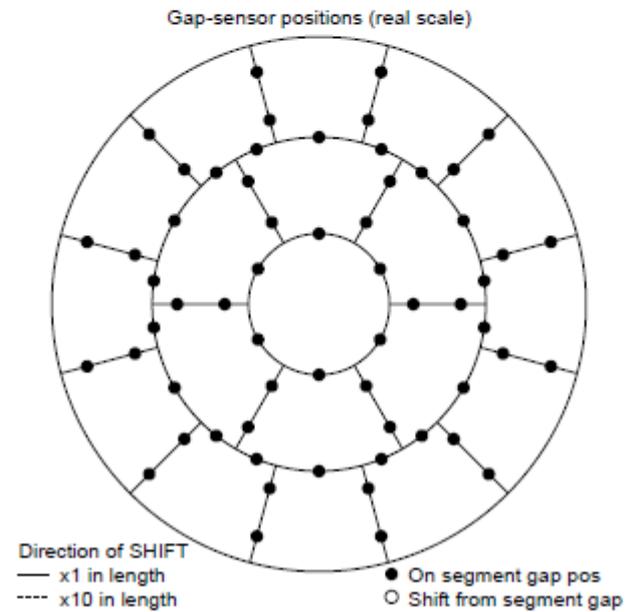
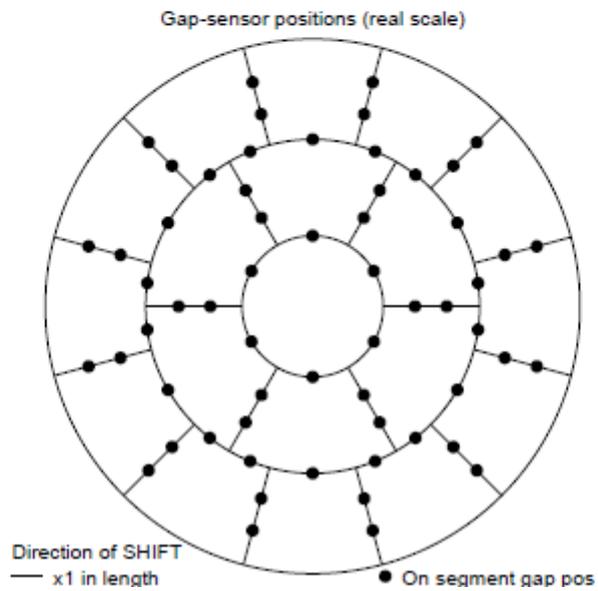


Figure 2: exec01/test2000.dat.eigen.l.eps



Figure 14: exec01/test2110.dat.eigen.l.eps



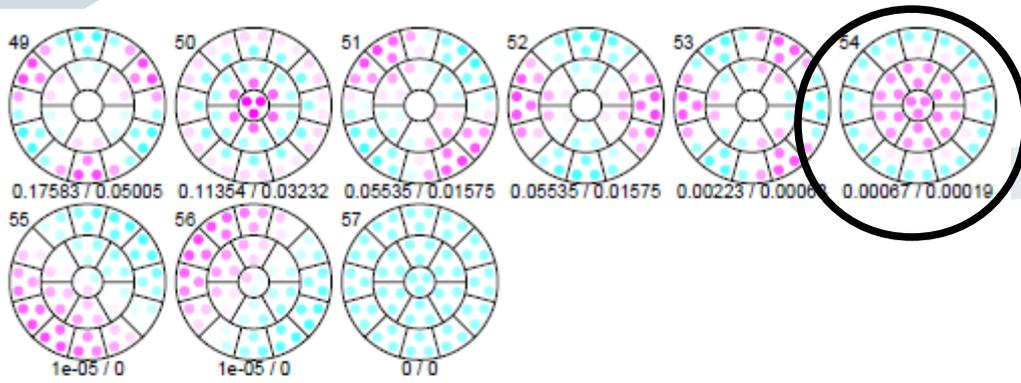


图 2: exec01/test2000.dat.eigen.l.eps

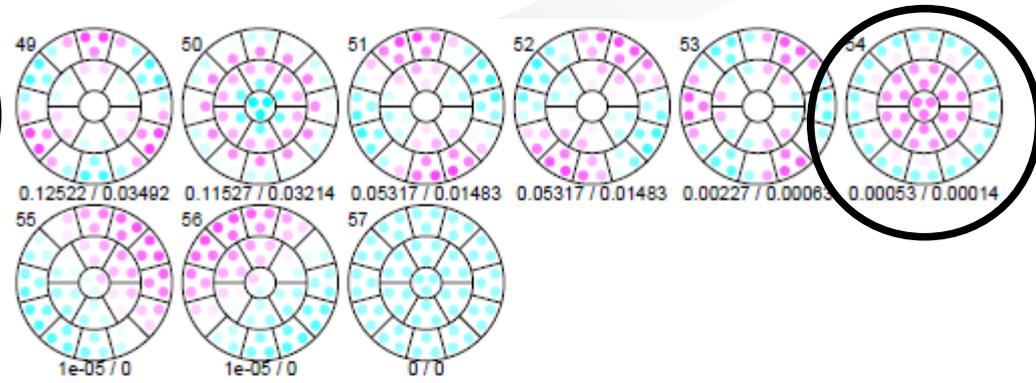
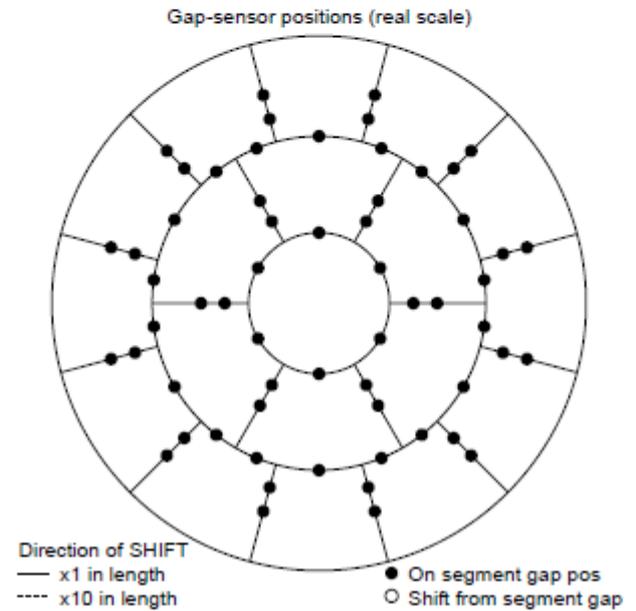
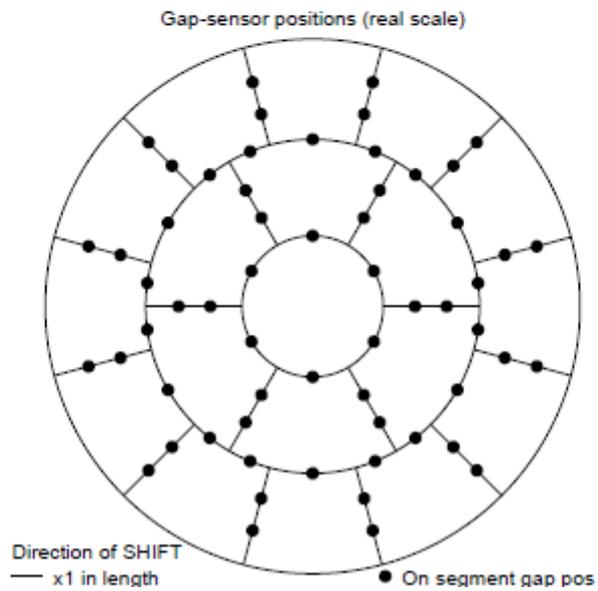


图 16: exec01/test2220.dat.eigen.l.eps



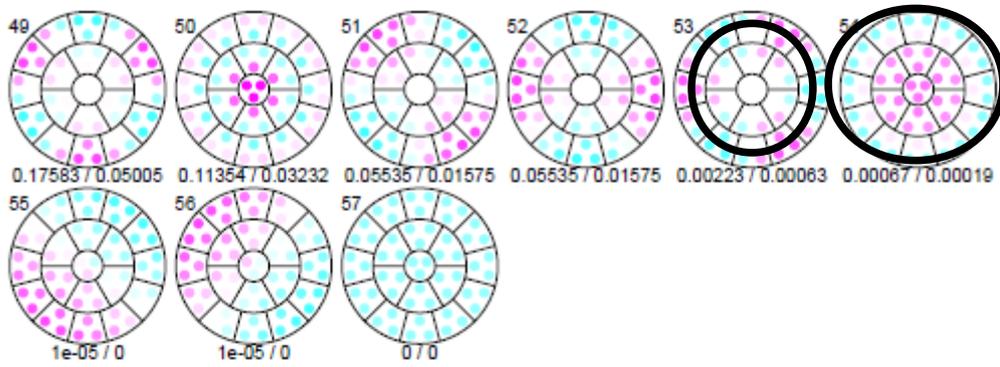


Figure 2: exec01/test2000.dat.eigen.l.eps

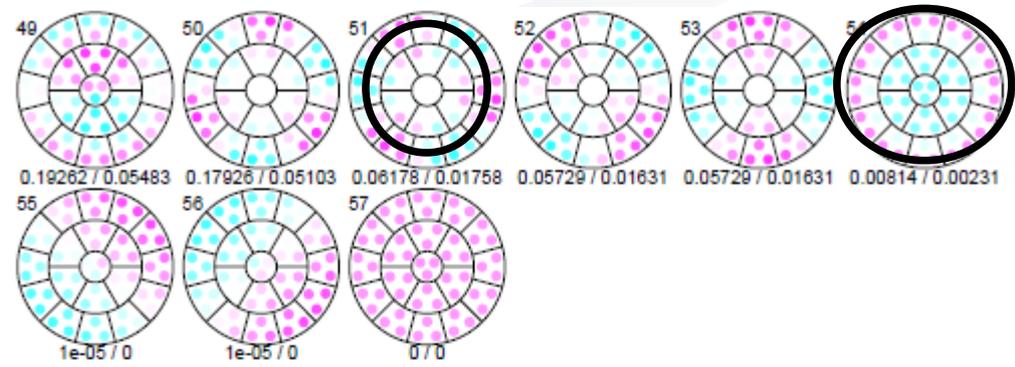
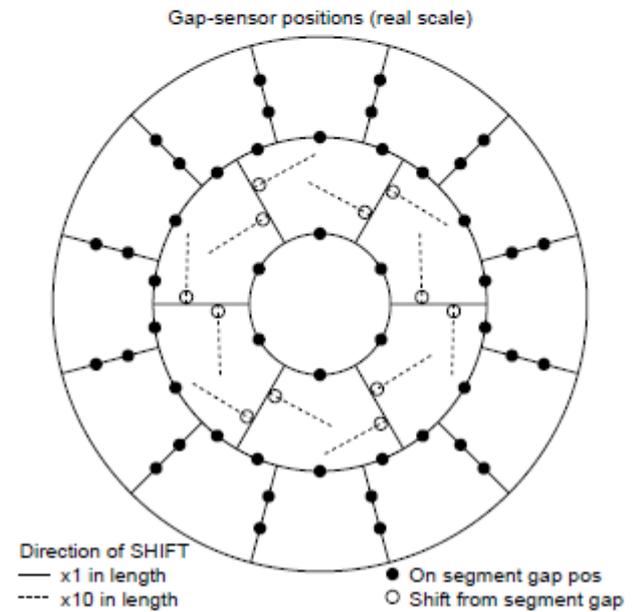
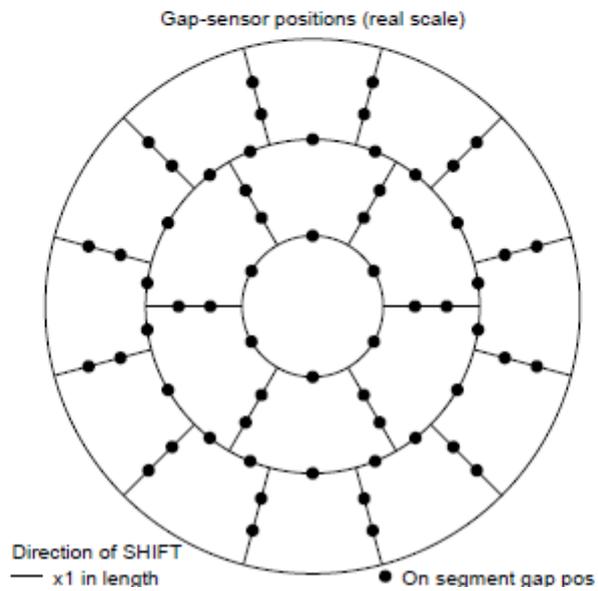


Figure 32: exec01/test2700.dat.eigen.l.eps



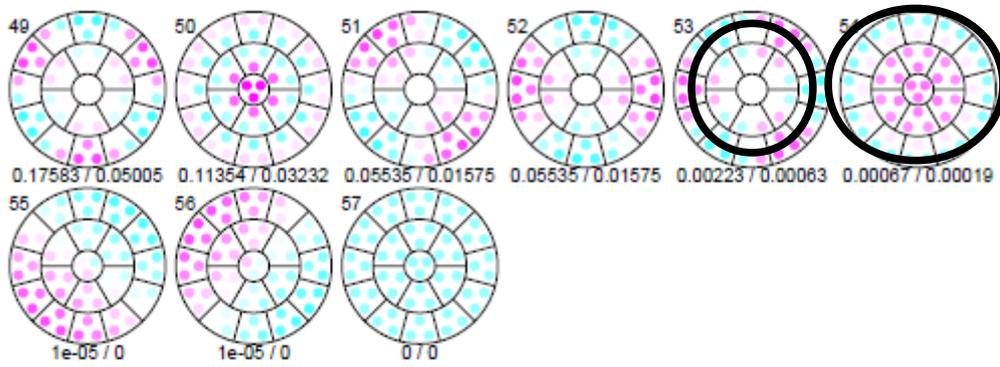


图 2: exec01/test2000.dat.eigen.l.eps

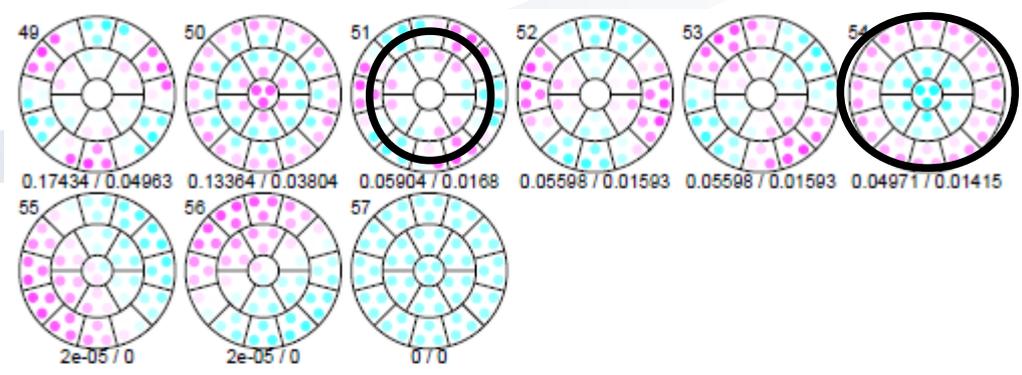
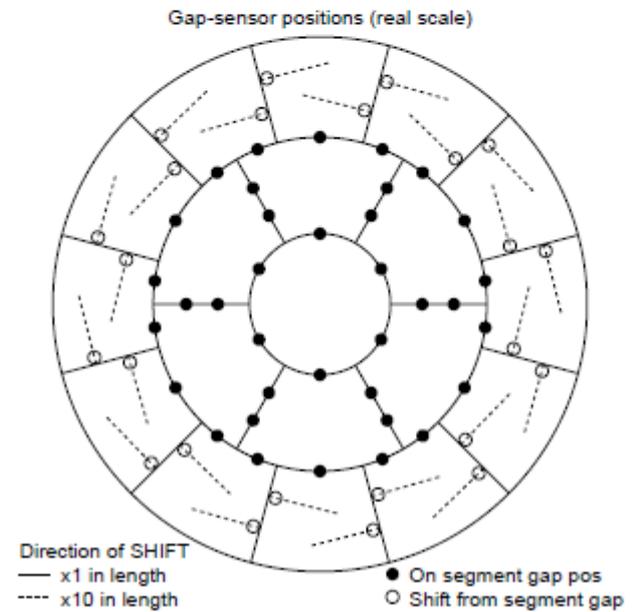
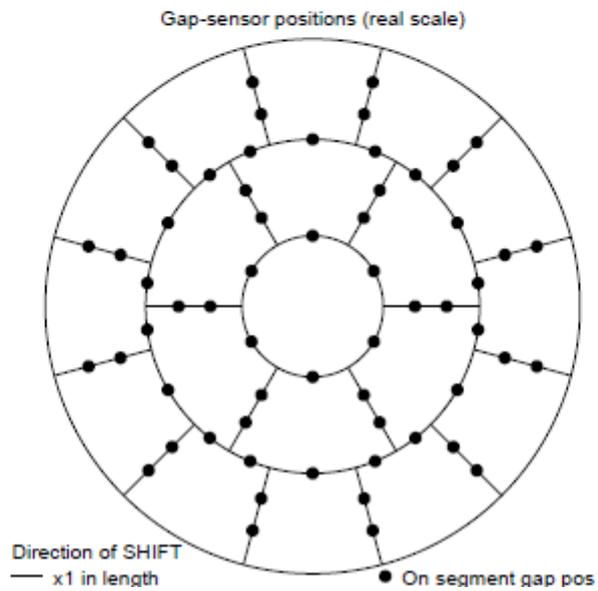


图 34: exec01/test2070.dat.eigen.l.eps



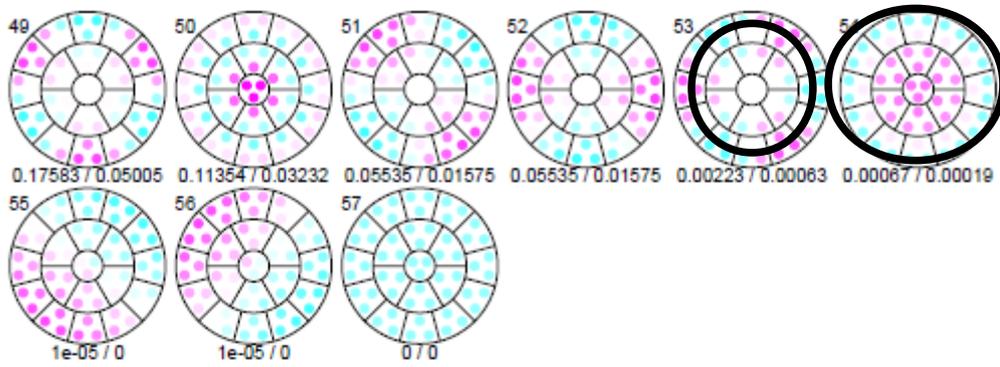


图 2: exec01/test2000.dat.eigen.1.eps

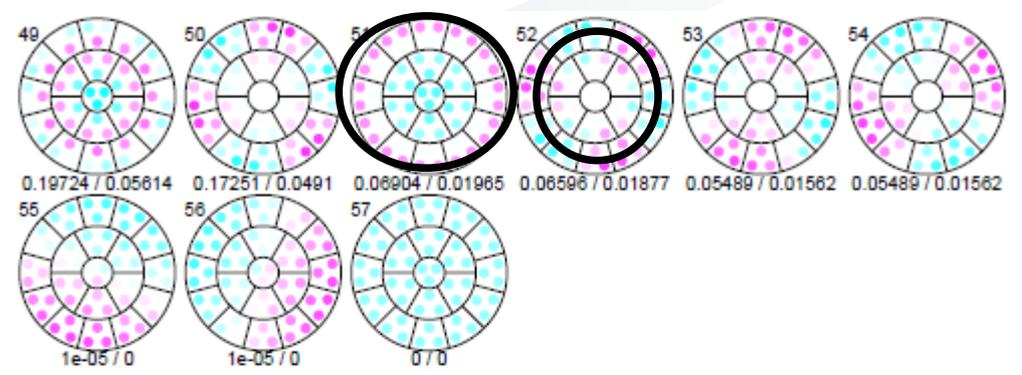
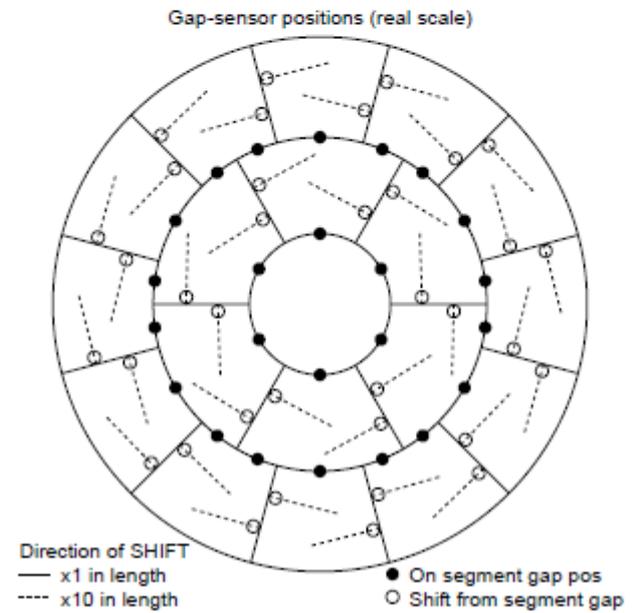
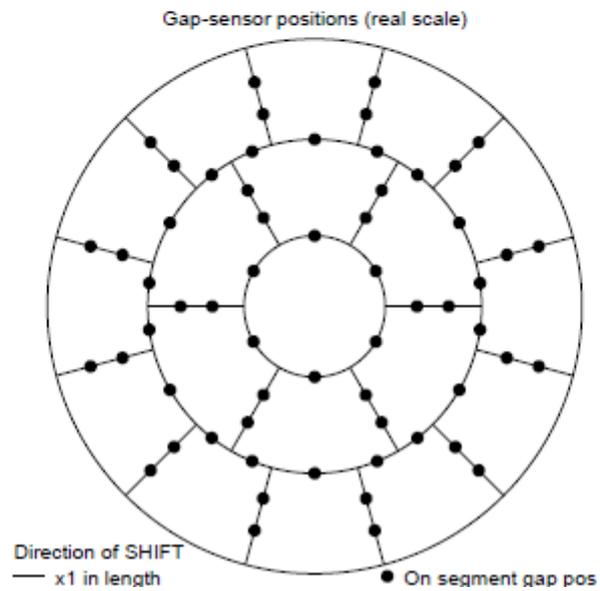


图 36: exec01/test2770.dat.eigen.1.eps



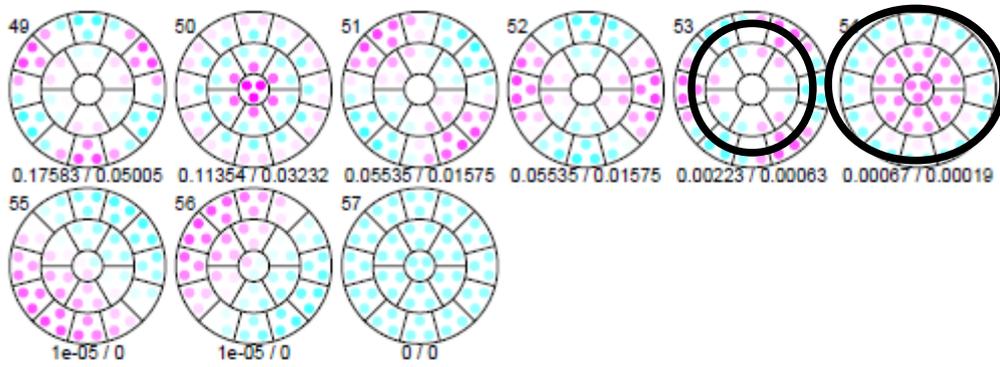


图 2: exec01/test2000.dat.eigen.l.eps

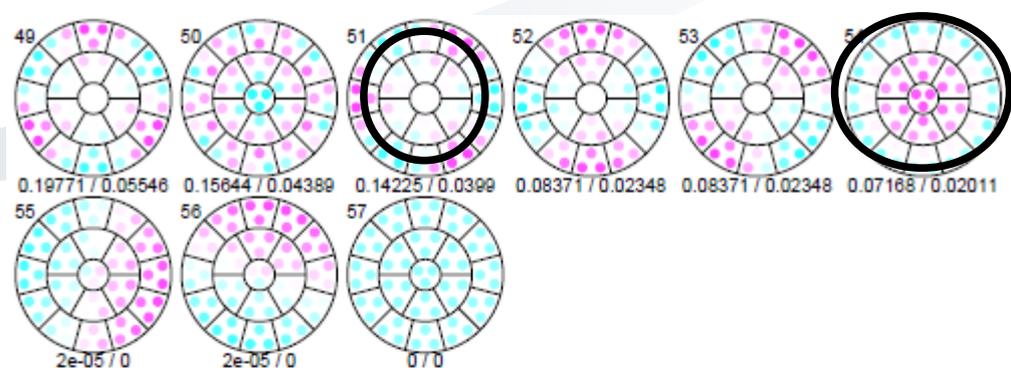
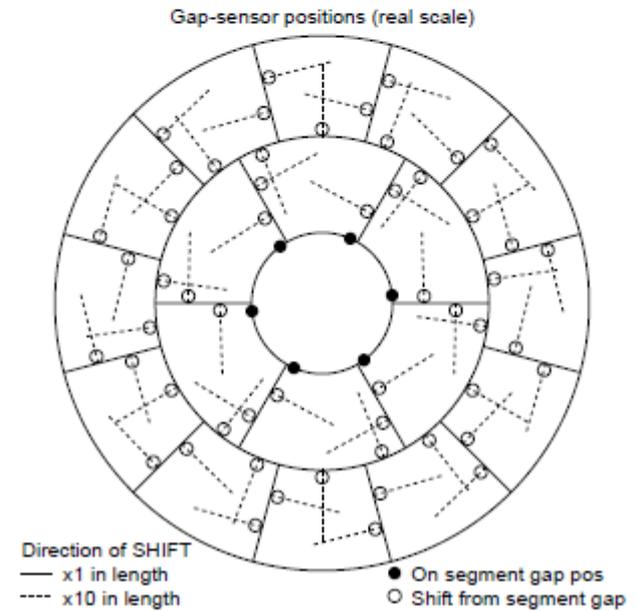
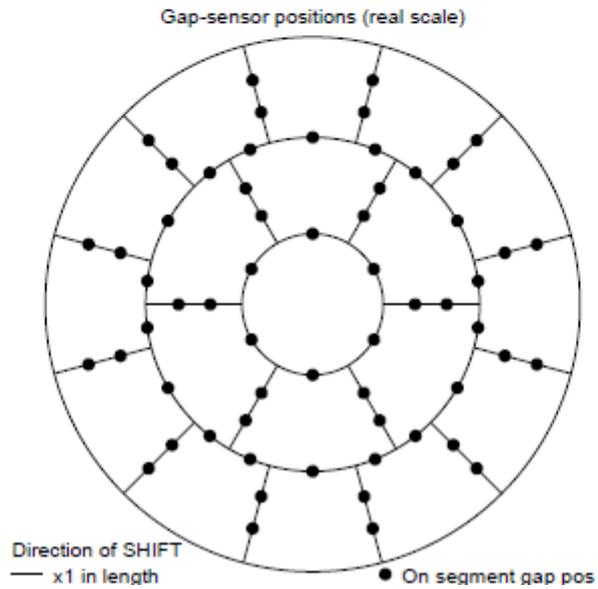


图 38: exec01/test4777.dat.eigen.l.eps



# 分割主鏡シミュレータ - 取り付け方向の影響



ギャップセンサー取り付け方向は、測定方向とも言い換えられる。

たとえば以下のような方向がありえる

- ・ セグメント中心点背面に垂直
- ・ 取り付け点の鏡面に垂直
- ・ 主軸に平行

鏡面に垂直に取り付けた場合、鏡材横ずれの影響を検出できる

- ・ 横ずれで値が変化することは確認
- ・ 逆変換で位相差がどう変化するかは未調査

# 分割主鏡シミュレータ - セグメント横ずれの効果



横ずれの影響は2種類ある

- SVD行列そのものが変化する影響
- 横ずれ量が変わったときの行列変換の線形性

現在試験を始めたところですが、初期結果

- SVD行列は特異値で1-0.1%変化する  
が、同じ横ずれ量での線形性は問題ない
- 異なる横ずれ量での行列を適用する場合  
1e-5程度のエラーが発生する  
(1mm駆動で10nmのギャップセンサー誤差)

# 今後 (の実現できればいいなあという目標)



## a. ~1月中

### M1制御用HW

- ギャップセンサー用ボックス設計
  - Interfaceバスエクステンダボックス購入・試験
- ### シミュレータ
- SH出力値・位相差・PSF出力機能の実装
  - ノイズの制御への影響試験機能実装

## b. ~年度中

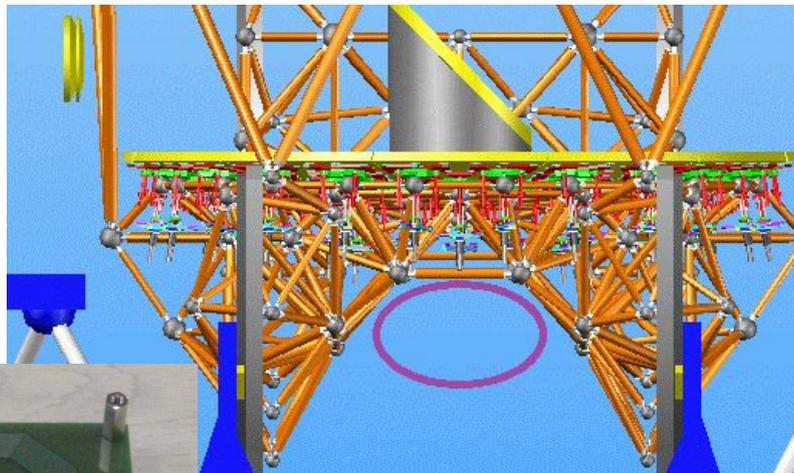
### M1制御用HW

- アクチュエータ制御ボックス・ライブラリ構築
- ### シミュレータ
- ギャップセンサー最適配置検討
  - ノイズ安定性試験

# 分割主鏡制御系 - アクチュエータ



アクチュエーター制御系は試験合格  
制御ボード経由で動作した



↑ 紫部分に  
制御箱を配置

ドライバ18個格納の制御箱 ↑

← 制御ボード(モーター4つ分)の分割

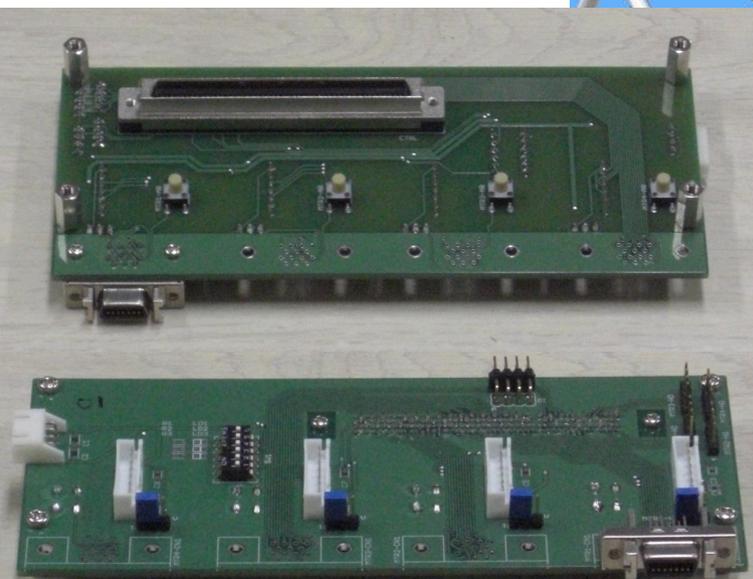
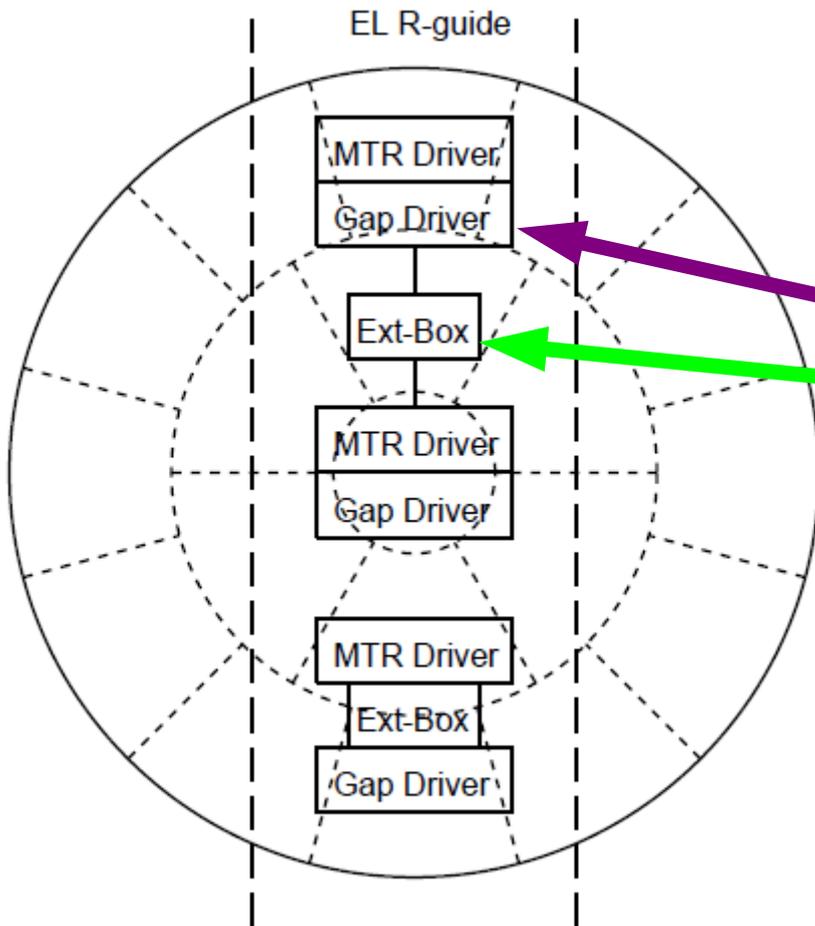
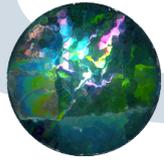


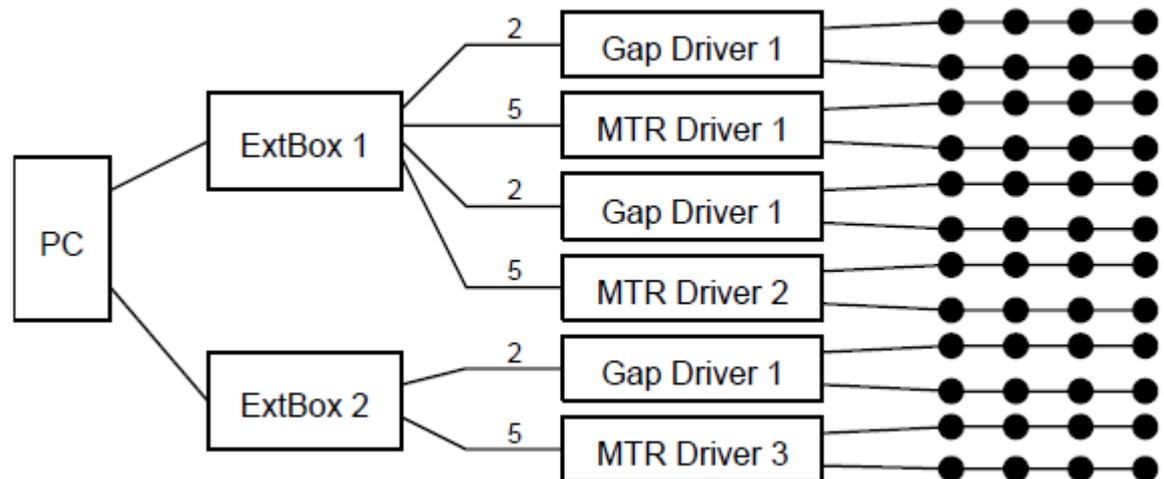
表 1: 構成案 IIb

型番	員数	単価	備考
CPZ-7415V	15	65100	56点 (余裕 2)
CPZ-420116Q	3	81300	RS-232-C 48, DIO 144
TMZ-420108	6	37800	
WRZ-5612	6	9100	1.2m は仮
PCI-CPZ13(OP)	2	170800	あまりスロット 9
合計		1843400	

# 分割主鏡制御系



ギャップセンサー用ボックス  
Interfaceバスエクステンダボックス





# Any Questions?

開発段階のレポートはこちら

<http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/~shimono/Kyoto3m/>

図面など一部の資料以外は随時公開しています