

分割主鏡シミュレータ II

分割鏡動作パラメータの把握 I — Result I

岡山新技術望遠鏡グループ

平成 22 年 5 月 27 日

目次

1	概要	1
2	固有値の評価	1
3	ギャップセンサー配置 I	2
3.1	導出結果	2
4	ギャップセンサー配置 II	4
4.1	導出結果	4
5	ギャップセンサー配置 III	6
5.1	導出結果	6
6	考察	8

1 概要

分割主鏡の制御系を構成するギャップセンサーについて、どういう配置が効率的で、かつ配置数を含めてどういう配置にしないと制御系が不安定になるのかを検討する必要がある。すでに、ギャップセンサーの配置が決まれば基本的な制御系を構成するためのパラメータ、つまりギャップセンサーの読みの値からアクチュエーター制御量を導出するフィードバックを行うパラメータが決定できることが判明している。このフィードバック制御で利用されるフィードバック変換行列は、ギャップセンサーの配置 (とアクチュエーター位置、セグメント位置) のみで決定できることがわかっている。

ここでは、単純なギャップセンサー配置に対して、そこから生成した変換行列の固有値を評価することで制御系の安定性をどのようにすれば担保できるかについて議論する。

2 固有値の評価

まず、固有値の評価について考える。通常の制御系では、最大固有値に対してある固有値の比を取り、その比が小さければフィードバックに及ぼす影響が小さくなるため、フィードバック制御系の中では退化していると判断する¹。この退化の敷居値を決定する必要があるが、最も小さな敷居値は計算誤差の影響のレベルである $1e-15$ 程度以下である。しかしながら、これより大きな値であってもフィードバックの中でほとんど影響を及ぼさない固有値は実質的には無視されるのと同様となるため、退化していると判断すべきである。

ここでは典型的な値として、1% (0.01) を採用する。

¹数学的には、固有値を求めた行列で行退化していることに相当する。

3 ギャップセンサー配置 I

まず、最も単純な位置にギャップセンサーを配置する。配置は図 1 のようになる。

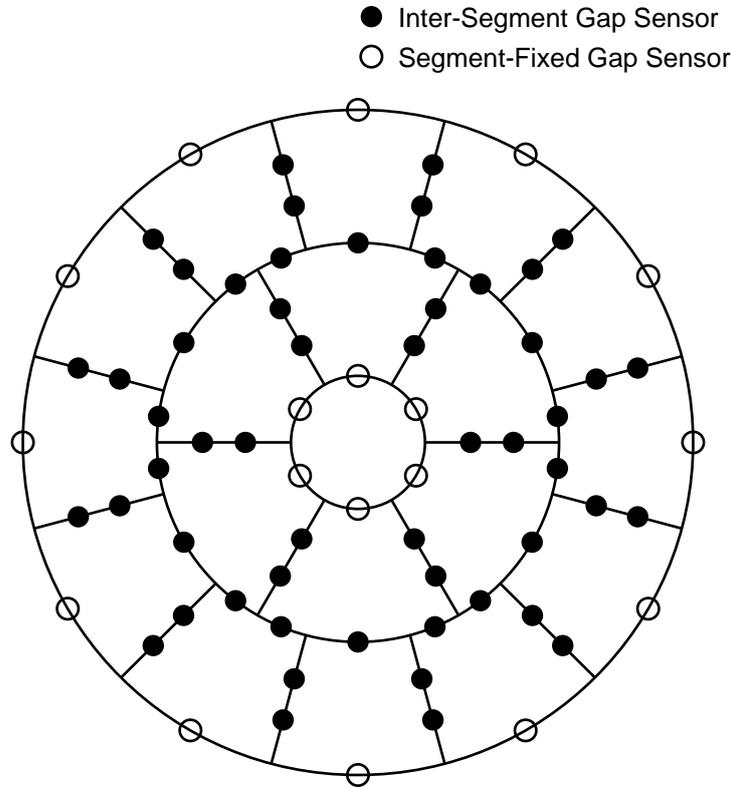


図 1: ギャップセンサー配置場所

内周のセグメント同士・外周のセグメント同士が接している辺では、辺を 3 等分した点に配置する。内周・外周のセグメント間では、セグメントが接している円弧の中央点とする。この中央点は、ある一つの内周セグメントとある一つの外周セグメントが接している円弧における中央点であり、内周セグメントにおいては $1/8, 1/2, 7/8$ の 3 点にギャップセンサーが配置されることになる。

これ以外に固定点として、内周セグメントの内側および外周セグメントの外側に、セグメントと固定点の間を測定するギャップセンサーを定義する。位置は各セグメントの中央点である。

値としては、内周セグメントの辺について $x = 363.833, 477.667$ 、外周セグメントの辺について $x = 367.52, 428.86$ 、内周セグメントと外周セグメントの境界について、内周セグメント外側の円弧の $x = -442.625, 0, 442.625$ となる。

3.1 導出結果

次の各パターンに対して固有値を求めた。固有値は表 1 となる。(注: 有効桁数は考慮していない) 退化数は、上述の条件で行退化していると考えられる固有値の数、そのカッコ内は計算誤差のレベルで退化している固有値の数である。

1. 54 個のセグメント間ギャップセンサーのみ
2. 54 個のセグメント間ギャップセンサー、内周内側のギャップセンサー 3 個
3. 54 個のセグメント間ギャップセンサー、内周内側のギャップセンサー 6 個全部
4. 54 個のセグメント間ギャップセンサー、内周内側・外周外側のギャップセンサー各 3 個ずつ

表 1: 導出された固有値

	ID 1-1	ID 1-2	ID 1-3	ID 1-4
Eigen	3.52081	3.52081	3.52081	3.52081
退化数	7 (5)	4 (2)	2	3 (1)
1	1	1	1	1
2	0.975512	0.980399	0.983916	0.987242
3	0.975512	0.980399	0.983916	0.987242
4	0.923299	0.929748	0.937749	0.940447
5	0.923299	0.929748	0.937749	0.940447
6	0.899004	0.899004	0.899004	0.913205
7	0.881762	0.881762	0.881762	0.899004
8	0.877945	0.879412	0.881706	0.881096
9	0.877945	0.879412	0.880885	0.881096
10	0.868096	0.877672	0.880885	0.879729
11	0.81799	0.82238	0.836979	0.826834
12	0.81799	0.82238	0.826219	0.826834
13	0.808911	0.810636	0.826219	0.817989
14	0.808911	0.810636	0.813244	0.817989
15	0.777993	0.802225	0.813244	0.803383
16	0.749607	0.764692	0.768532	0.764838
17	0.736391	0.756109	0.768532	0.758819
18	0.736391	0.756109	0.767034	0.758819
19	0.701873	0.707599	0.719472	0.709328
20	0.701873	0.707599	0.719472	0.709328
21	0.692332	0.696612	0.705812	0.698503
22	0.670922	0.672293	0.673734	0.673615
23	0.670922	0.672293	0.673734	0.673615
24	0.656585	0.656585	0.656585	0.670955
25	0.577452	0.599627	0.610877	0.599689
26	0.533131	0.557372	0.570882	0.583024
27	0.533131	0.557372	0.570882	0.583024
28	0.409065	0.418952	0.440978	0.458257
29	0.409065	0.418952	0.440978	0.458257
30	0.36146	0.379701	0.384241	0.422753
31	0.350059	0.379701	0.384241	0.386122
32	0.350059	0.362312	0.370485	0.386122
33	0.342281	0.347615	0.367754	0.347727
34	0.244453	0.295792	0.367754	0.295871
35	0.244453	0.295792	0.347785	0.295871
36	0.161454	0.229732	0.343074	0.261035
37	0.117693	0.161454	0.161454	0.240743
38	0.117693	0.129063	0.136255	0.240743
39	0.115711	0.129063	0.136255	0.226806
40	0.0628034	0.115711	0.115711	0.115711

表 1: 導出された固有値

	ID 1-1	ID 1-2	ID 1-3	ID 1-4
41	0.0628034	0.0946956	0.113909	0.114892
42	0.0573366	0.0946956	0.113909	0.114892
43	0.0573366	0.0597651	0.0663248	0.106593
44	0.0545957	0.0597651	0.0663248	0.0861737
45	0.0545957	0.0550182	0.0596645	0.0861737
46	0.045895	0.0550182	0.0596645	0.0559563
47	0.0396505	0.0458578	0.0510881	0.0559563
48	0.00354072	0.0177207	0.0178713	0.0458395
49	0.00354072	0.0121525	0.0156668	0.0355925
50	2.09923e-16	0.0121525	0.0156668	0.0355925
51	1.6416e-16	0.00272714	0.0107223	0.0152556
52	8.34811e-17	0.00272714	0.0107223	0.00855841
53	4.70679e-17	1.53006e-16	1.69755e-16	0.00855841
54	3.23166e-17	6.48109e-17	1.11922e-16	1.40952e-16

4 ギャップセンサー配置 II

I から内周のセグメント同士・外周のセグメント同士が接している辺につけたギャップセンサーをずらしてみる。

内周のセグメント同士・外周のセグメント同士が接している辺では、辺を 4 等分した点の、 $1/4$ と $3/4$ に配置する。内周・外周のセグメント間については、I と同じくセグメントが接している円弧の中央点とする。この中央点は、ある一つの内周セグメントとある一つの外周セグメントが接している円弧における中央点であり、内周セグメントにおいては $1/8, 1/2, 7/8$ の 3 点にギャップセンサーが配置されることになる。

これ以外に固定点として、内周セグメントの内側および外周セグメントの外側に、セグメントと固定点の間を測定するギャップセンサーを定義する。位置は各セグメントの中央点である。

値としては、内周セグメントの辺について $x = 335.375, 506.125$ 、外周セグメントの辺について $x = 352.185, 444.195$ 、内周セグメントと外周セグメントの境界について、内周セグメント外側の円弧の $x = -442.625, 0, 442.625$ となる。

4.1 導出結果

次の各パターンに対して固有値を求めた。固有値は表 2 となる。(注: 有効桁数は考慮していない) 退化数は、上述の条件で行退化していると考えられる固有値の数、そのカッコ内は計算誤差のレベルで退化している固有値の数である。

1. 54 個のセグメント間ギャップセンサーのみ
2. 54 個のセグメント間ギャップセンサー、内周内側のギャップセンサー 3 個
3. 54 個のセグメント間ギャップセンサー、内周内側のギャップセンサー 6 個全部
4. 54 個のセグメント間ギャップセンサー、内周内側・外周外側のギャップセンサー各 3 個ずつ

表 2: 導出された固有値

	ID 2-1	ID 2-2	ID 2-3	ID 2-4
Eigen	3.54872	3.54872	3.54872	3.54872

表 2: 導出された固有値

	ID 2-1	ID 2-2	ID 2-3	ID 2-4
退化数	7 (5)	4 (2)	2	1
1	1	1	1	1
2	0.977451	0.981908	0.984771	0.992866
3	0.977451	0.981908	0.984771	0.992866
4	0.934143	0.940663	0.949255	0.952592
5	0.934143	0.940663	0.949255	0.952592
6	0.897621	0.904052	0.90536	0.939778
7	0.89615	0.89615	0.89615	0.899551
8	0.895906	0.895906	0.895906	0.895906
9	0.879207	0.880383	0.89018	0.883835
10	0.879207	0.880383	0.881395	0.883835
11	0.827686	0.856843	0.881395	0.857889
12	0.827686	0.828941	0.832593	0.838095
13	0.821828	0.828941	0.832593	0.838095
14	0.820176	0.823762	0.828628	0.824731
15	0.820176	0.823762	0.828628	0.824731
16	0.781383	0.802492	0.809732	0.805507
17	0.781383	0.802492	0.809732	0.805507
18	0.760483	0.763388	0.767925	0.763423
19	0.744851	0.751761	0.767925	0.752271
20	0.744851	0.751761	0.763887	0.752271
21	0.733575	0.739496	0.752117	0.739766
22	0.669881	0.672072	0.674212	0.681922
23	0.669881	0.672072	0.674212	0.673639
24	0.668576	0.668576	0.668576	0.673639
25	0.59163	0.612902	0.624759	0.61296
26	0.560279	0.577887	0.588722	0.599334
27	0.560279	0.577887	0.588722	0.599334
28	0.449602	0.469723	0.472383	0.487938
29	0.449602	0.469723	0.472383	0.487938
30	0.446417	0.449405	0.45919	0.462051
31	0.446417	0.449405	0.45919	0.462051
32	0.427136	0.42745	0.427523	0.445725
33	0.407153	0.407181	0.419018	0.427443
34	0.290892	0.347832	0.419018	0.349749
35	0.290892	0.347832	0.407328	0.349749
36	0.228541	0.235467	0.351023	0.297563
37	0.167517	0.228541	0.228541	0.256528
38	0.167517	0.17408	0.182676	0.256528
39	0.115082	0.17408	0.182676	0.234982
40	0.0843749	0.115082	0.124994	0.14194
41	0.0843749	0.110898	0.124994	0.14194
42	0.0820451	0.110898	0.115082	0.139413

表 2: 導出された固有値

	ID 2-1	ID 2-2	ID 2-3	ID 2-4
43	0.0820451	0.0822755	0.0822772	0.115082
44	0.0733541	0.0822755	0.0822772	0.104993
45	0.0733541	0.0740402	0.0799386	0.104993
46	0.0628357	0.0740402	0.0799386	0.0755723
47	0.046695	0.0627891	0.0650186	0.0755723
48	0.00404062	0.0207394	0.0209357	0.0627759
49	0.00404062	0.0162338	0.0190924	0.0495419
50	1.40605e-16	0.0162338	0.0190924	0.0495419
51	1.27694e-16	0.00314549	0.0149049	0.0177276
52	6.72492e-17	0.00314549	0.0149049	0.0113847
53	5.17043e-17	1.66023e-16	1.5591e-16	0.0113847
54	3.38005e-18	9.01616e-17	1.18948e-16	1.24067e-16

5 ギャップセンサー配置 III

II から内周のセグメント同士・外周のセグメント同士が接している辺につけたギャップセンサーをずらしてみる。

内周のセグメント同士・外周のセグメント同士が接している辺では、辺を 4 等分した点の、セグメント ID が $3n + 1$ の場合は $1/4, 1/2$ に、セグメント ID が $3n + 2$ の場合は $1/4, 3/4$ に、セグメント ID が $3n$ の場合は $1/2, 3/4$ にそれぞれ配置する。

内周・外周のセグメント間については、I, II と同じくセグメントが接している円弧の中央点とする。この中央点は、ある一つの内周セグメントとある一つの外周セグメントが接している円弧における中央点であり、内周セグメントにおいては $1/8, 1/2, 7/8$ の 3 点にギャップセンサーが配置されることになる。

これ以外に固定点として、内周セグメントの内側および外周セグメントの外側に、セグメントと固定点の間を測定するギャップセンサーを定義する。位置は各セグメントの中央点である。

値としては、内周セグメントの辺について $x = 335.375, 420.75, 506.125$ 、外周セグメントの辺について $x = 352.185, 398.19, 444.195$ 、内周セグメントと外周セグメントの境界について、内周セグメント外側の円弧の $x = -442.625, 0, 442.625$ となる。

5.1 導出結果

次の各パターンに対して固有値を求めた。固有値は表 3 となる。(注: 有効桁数は考慮していない) 退化数は、上述の条件で行退化していると考えられる固有値の数、そのカッコ内は計算誤差のレベルで退化している固有値の数である。

1. 54 個のセグメント間ギャップセンサーのみ
2. 54 個のセグメント間ギャップセンサー、内周内側のギャップセンサー 3 個
3. 54 個のセグメント間ギャップセンサー、内周内側のギャップセンサー 6 個全部
4. 54 個のセグメント間ギャップセンサー、内周内側・外周外側のギャップセンサー各 3 個ずつ

固有値の最大との比は、比が小さいものでは少し減少している。つまり、II よりも行退化の度合いが少し大きいといえる。

表 3: 導出された固有値

	ID 3-1	ID 3-2	ID 3-3	ID 3-4
Eigen	3.54872	3.54872	3.54872	3.54872
退化数	7 (5)	5 (2)	3 (2)	3 (1)
1	1	1	1	1
2	0.997951	0.997364	0.997546	0.993133
3	0.949898	0.956307	0.960476	0.965098
4	0.944024	0.948311	0.954097	0.949042
5	0.940796	0.939139	0.939648	0.944507
6	0.928066	0.925609	0.923494	0.927517
7	0.888932	0.893349	0.896538	0.903003
8	0.879333	0.878374	0.877995	0.874997
9	0.872621	0.872685	0.872702	0.872046
10	0.870609	0.868493	0.867371	0.870607
11	0.821306	0.825212	0.82565	0.825614
12	0.817972	0.822426	0.82512	0.822479
13	0.789827	0.805961	0.817797	0.803463
14	0.789267	0.791225	0.809202	0.788805
15	0.765802	0.782651	0.782722	0.782608
16	0.755566	0.764516	0.781911	0.76238
17	0.732311	0.742919	0.751919	0.741093
18	0.704597	0.713369	0.715257	0.712213
19	0.695299	0.701622	0.710581	0.705392
20	0.684354	0.684362	0.686321	0.682111
21	0.660372	0.663514	0.667172	0.660884
22	0.655646	0.656595	0.660325	0.655299
23	0.641379	0.641261	0.640953	0.639453
24	0.63371	0.634313	0.635757	0.63681
25	0.573387	0.585122	0.593198	0.597818
26	0.567845	0.57991	0.583507	0.581607
27	0.471359	0.515727	0.534364	0.533735
28	0.424652	0.431782	0.45449	0.460051
29	0.411725	0.42198	0.429787	0.450517
30	0.408636	0.415855	0.427653	0.427116
31	0.338701	0.350538	0.381301	0.391398
32	0.310051	0.335805	0.355497	0.336732
33	0.290385	0.303287	0.352314	0.326749
34	0.253759	0.295221	0.337885	0.294233
35	0.219017	0.272122	0.312641	0.279297
36	0.147878	0.220147	0.296456	0.261662
37	0.125808	0.155225	0.158441	0.229149
38	0.113324	0.134717	0.14645	0.219075
39	0.0963026	0.113179	0.112921	0.211486
40	0.0765637	0.11086	0.112331	0.123513

表 3: 導出された固有値

	ID 3-1	ID 3-2	ID 3-3	ID 3-4
41	0.0659432	0.0927518	0.110176	0.112447
42	0.0562139	0.085745	0.101895	0.107453
43	0.0511861	0.0676194	0.0733013	0.0967469
44	0.0480499	0.0634674	0.0682586	0.0838038
45	0.0405513	0.0497148	0.0553096	0.075516
46	0.0359349	0.0432625	0.0505743	0.0645062
47	0.0356812	0.0370019	0.041111	0.0481651
48	0.00351346	0.0161977	0.0171494	0.0432606
49	0.00309221	0.0121482	0.0159964	0.0316409
50	1.42649e-16	0.00973487	0.0128941	0.0282381
51	1.10702e-16	0.00272209	0.011862	0.0138562
52	9.75883e-17	0.00235421	0.00846742	0.0086921
53	4.66358e-17	2.12132e-16	2.24988e-16	0.00684255
54	2.73621e-17	3.51423e-17	1.35506e-16	1.34252e-16

6 考察

対固定点のギャップセンサーなしでは退化数が3以上となり、主鏡全体の傾きなどの軸数以上に退化している。計算誤差のレベルでの退化数でも3を超えており、これは多少ギャップセンサーを同じ位置につけないなどの方法で動かしたのでは退化が解けない可能性が高い。

対固定点のギャップセンサーを取り付けることは、有効な影響を及ぼしているといえる。しかしながら、すべての固有値が計算誤差のレベル以上で有効な値を出すには、対固定点のギャップセンサーが6個では足りないともいえる。

ギャップセンサーの取り付け位置を、1/3の点と1/4の点の2種類試したI, IIの結果比較では、計算誤差レベルの行退化している固有値には改善が見られなかったが、有効な固有値の退化度合い(?)は改善した。また、1/4を基本に配置を多少ばらしたIIIとIIを比較すると、IIIの方が退化度合いが大きくなった。この結果からは、ギャップセンサーの取り付け位置は辺の端にするほうが効率的であるといえる。また同じくI, IIの比較から、対固定点のギャップセンサーを追加する効果は、主に計算誤差レベルの行退化に影響を及ぼすといえる。

この次の検討すべき点としては以下のようなことになるといえる。

- ギャップセンサーの取り付け位置をランダムに少しずつしたときの影響
- ギャップセンサーの取り付け位置を全体的に動かすことによる最適化
- 対固定点のギャップセンサーの取り付け数との関係
- 制御可能なアクチュエーターの点数を減らしたときの影響