

Bore aperture measurement of QEA magnets

Y.Honda

2007/7/20

概要

Pole-tips of Q-magnets will be used as a reference of BPM alignment. In order to compensate the systematic alignment error due to the gap between alignment-jig and pole-tips, the bore aperture was measured. It turned out to be $\phi 32.15\text{mm}$ as an average of many magnets, and it spreaded $\pm 150\mu\text{m}$ range.

1 はじめに

ATF2 では全ての Q-マグネットに空洞 BPM(Q-BPM) を取り付け、 $2\mu\text{m}$ の安定性、 100nm の分解能でビームをモニターする。以前行ったビームテストの結果によると、Q-BPM が 100nm の分解能を実現できるのはエレキがリニアに応答する範囲で、これは空洞中心から $\pm 150\mu\text{m}$ 程度までと見積られる。それより外側になると次第に分解能が悪くなって行き、中心から $\sim \pm 200\mu\text{m}$ 程度で分解能 $1\mu\text{m}$ 程度になる。ここからさらに外側になってもこれ以上急激に分解能が落ちることは無く、中心から $\sim \pm 1.5\text{mm}$ の範囲まではなんとか数 μm の分解能を維持出来ると考えられている。BPM をマグネットに取り付ける際には、磁場中心に対して $\pm 50\mu\text{m}$ の範囲にアライメントすることを目標とする。($\pm 150\mu\text{m}$ までは一応許せる。)

マグネットの磁場中心は 4 つのポール先端の機械的な中心であると信じて、Q-BPM をマグネット上に取り付ける。手順としては、後述するようにマグネットの $\phi 32$ のアパチャーにぴったりはまるような治具を取り付け、これを基準として BPM の外径を合わせる。ぴったりはまる治具といっても、隙間と重力があるせいで、実際には下の 2 つのポール先端が基準になることになる。アパチャー (あるいは治具との隙間) が分かっているならば、治具の中心と磁場の中心のずれを計算できるのでそれを補正して BPM を取り付けることができる。設計値 $\phi 32$ のアパチャーが実際はどれだけの交差になっているか、個々のばらつきはどのくらいか、アセンブリホールに置いてある QEA マグネットを測定して調べた。

2 セットアップ

日光実験棟で増澤さんが使っていたロッドを借りてきて使用した。 $\phi 32 (-50\mu\text{m})$ と $\phi 32 (-100\mu\text{m})$ の 2 種類あり、ノギスで測る限りは書いてあるとおり直径 31.95mm , 31.9mm であったので、ひとまずこれを信じることにした。これを図 1 のようにマグネットのアパチャーに挿入して、その上面にリニアゲージをあてて位置を測定する。

単に挿入して手を離れた状態では、ロッドは下の 2 つのポールの上に平行に乗っている状態である (図 2 の state 0)。ここでリニアゲージをゼロリセットしておく。手でロッドの手前を押し上げると state 1 のような状態に、押し下げると state 2 のような状態になるはずである。簡単な計算から、これらの 2 つの状態の時のリニアゲージの読み値の平均がロッドとアパチャーの隙間の大きさに相当することが分かる。ロッドの直径が分かっているので、これを加えてアパチャーの直径が導出される。

測定の再現性を調べるため、1 つのマグネットについて 1 回毎にセットアップを組み直して複数回測定を繰り返してみたが、結果は $10\mu\text{m}$ 程度で再現した。

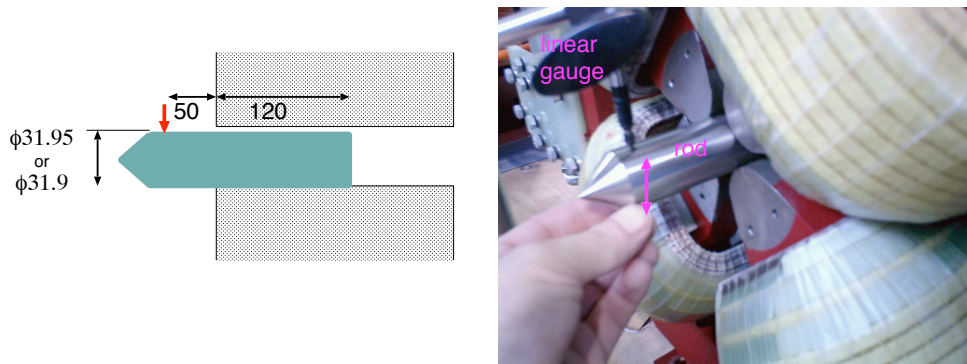


図 1: セットアップ

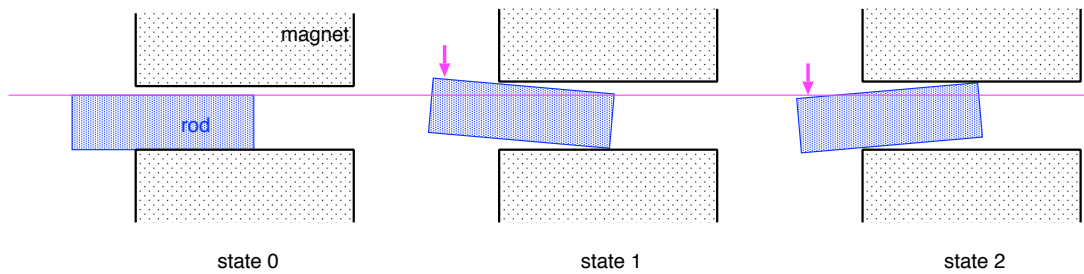


図 2: 測定方法

3 結果

アセンブリホールリング天井に置いてある QEA マグネットで測定装置が組めるものについて、全数測定を行った。確認の為 2 種類のロッド両方で測定した。マグネットの面は水路側と水路無し側があるが、BPM はいくつかの例外を除いて通常は水路無し側に取り付くことになっている。測れるものについては両側を測定した。No.01, 15, 28, 29 はたまたま反対側が測定出来ないように置かれているので今回は片面だけの測定になっている。No.12 はロッドが入らず測定出来ない程アパチャーが小さかった (どちらのロッドも入らない)。表 1 に水路側の結果を、表 2 に水路無し側の結果をまとめる。

図 3,4 にこれらの結果をプロットした。平均的にはマグネットのアパチャーは $\phi 32.15\text{mm}$ である。また、マグネットによって $\pm 150\mu\text{m}$ 程度のばらつきがあることが分かる。システムティックなずれがあるものの、2 種類のロッドでの測定結果は良く一致している。 $20\mu\text{m}$ 程度のシステムティックなずれはロッドの直径の誤差であろう。

図 5 に水路側と水路無し側の結果の相関をプロットする。ある程度相関があるものの、両側での結果が無関係に $\pm 50\mu\text{m}$ 程度ずれている。

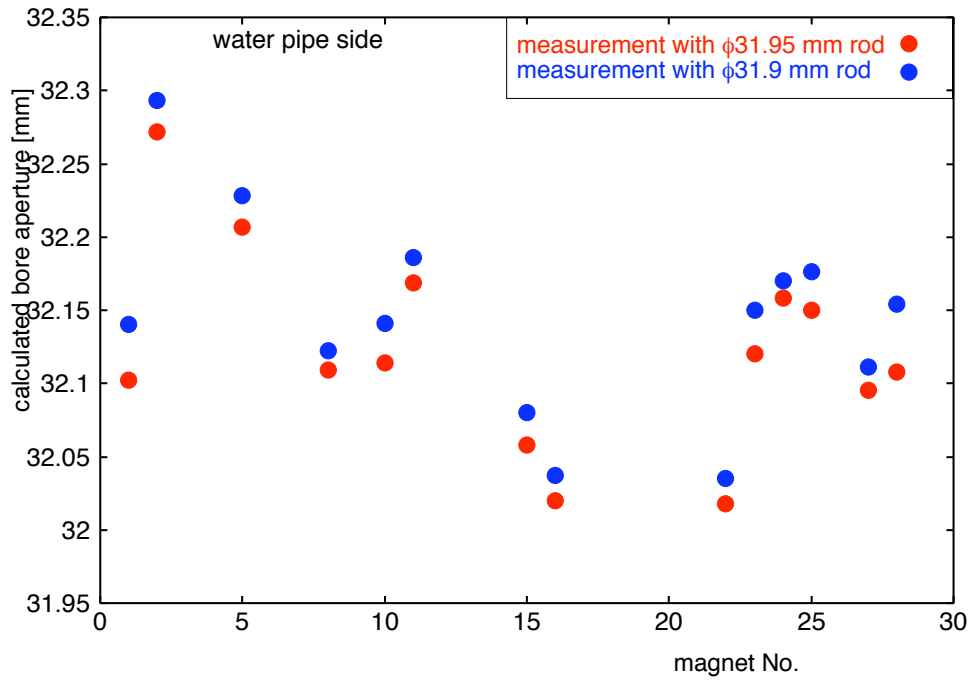


图 3: 水路側

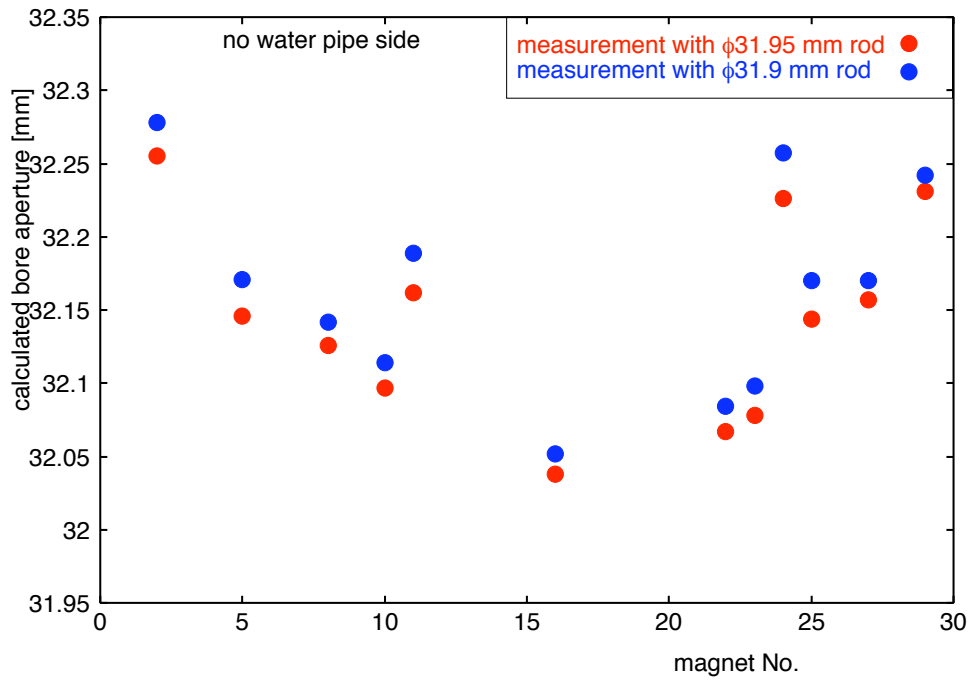


图 4: 水路無し側

表 1: 水路側の結果

No.	$\phi 31.95\text{mm}$ ロッドを用いた測定			$\phi 31.9\text{mm}$ ロッドを用いた測定		
	state 1 (μm)	state 2 (μm)	直径 (mm)	state 1 (μm)	state 2 (μm)	直径 (mm)
01	230	-78	32.102	336	-96	32.140
02	445	-123	32.272	540	-147	32.293
05	341	-84	32.207	446	-118	32.228
08	215	-56	32.109	305	-83	32.122
10	212	-48	32.114	317	-76	32.141
11	287	-68	32.169	389	-103	32.186
15	146	-38	32.058	248	-68	32.080
16	100	-30	32.020	205	-68	32.037
22	156	-88	32.018	245	-110	32.035
23	224	-54	32.120	324	-74	32.150
24	278	-70	32.158	375	-105	32.170
25	300	-100	32.150	396	-120	32.176
27	190	-45	32.095	286	-75	32.111
28	178	-20	32.108	302	-48	32.154

表 2: 水路無し側の結果

No.	$\phi 31.95\text{mm}$ ロッドを用いた測定			$\phi 31.9\text{mm}$ ロッドを用いた測定		
	state 1 (μm)	state 2 (μm)	直径 (mm)	state 1 (μm)	state 2 (μm)	直径 (mm)
02	410	-105	32.255	513	-135	32.278
05	290	-94	32.146	387	-116	32.171
08	233	-57	32.126	332	-90	32.142
10	188	-41	32.097	292	-78	32.114
11	263	-51	32.162	365	-76	32.189
16	122	-34	32.038	222	-70	32.052
22	208	-91	32.067	306	-122	32.084
23	194	-66	32.078	296	-98	32.098
24	349	-73	32.226	455	-98	32.257
25	283	-89	32.144	390	-120	32.170
27	251	-44	32.157	340	-70	32.170
29	375	-94	32.231	467	-125	32.242

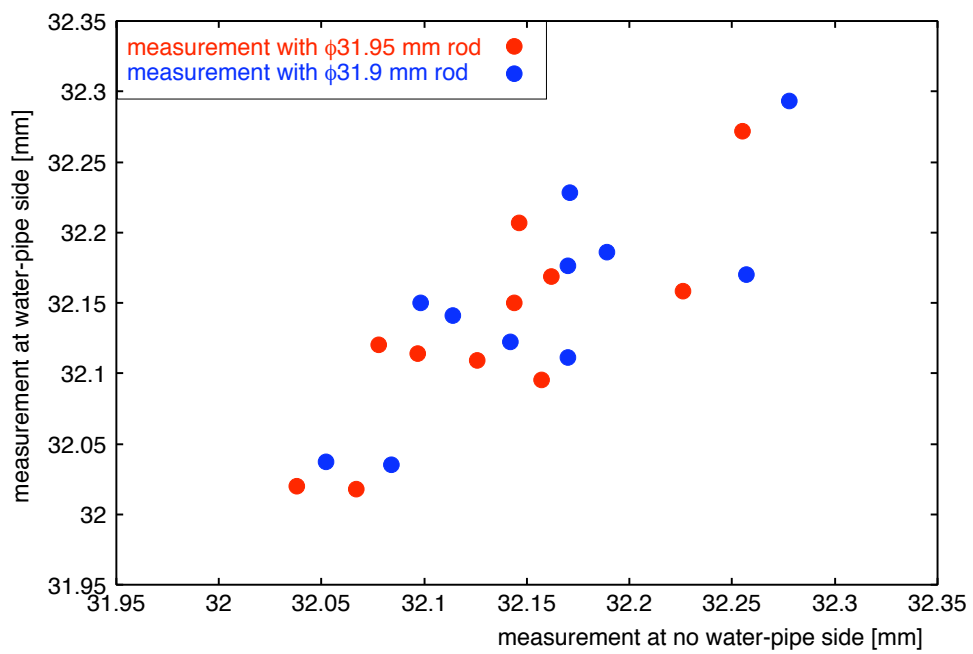


図 5: 水路無し側と水路側の相関

4 BPMの取り付け方法

図6にBPMを取り付ける手順をまとめる。マグネットの(下側2つの)ボール先端の位置をアダプターのBPMと接する面に関係づける為のアライメント治具を用意し、これに合うようにBPMアダプターを固定する。マグネットを半割りしてBPMを挟んだ後、アダプターにBPMを取り付ける。

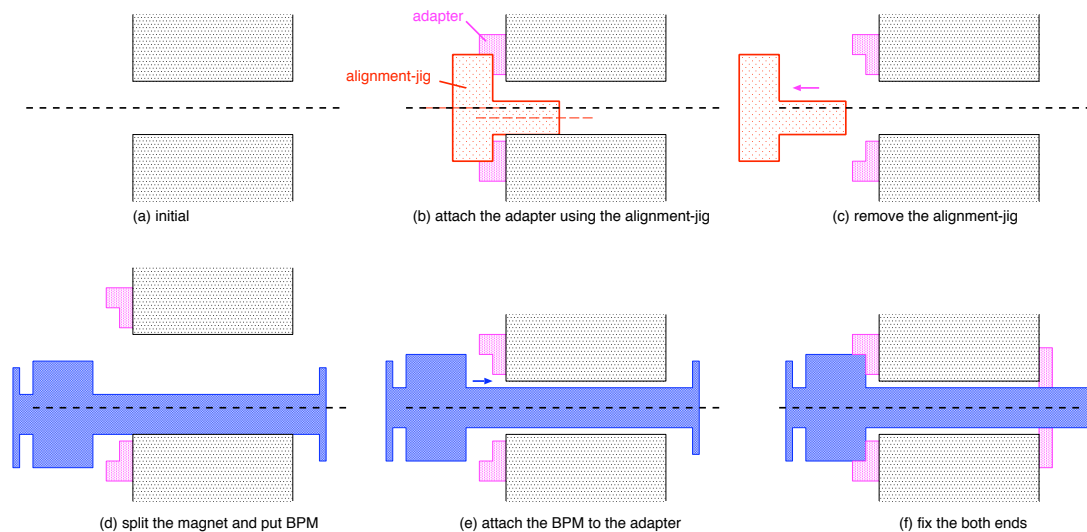


図 6: BPM 設置の手順

以前行ったテストによると、この手法で rms で $20\mu\text{m}$ 程度の設置の再現性があることが分かっている。このときのテスト結果のまとめを図7に示す。BPMの代わりにBPMと同じ外径に作ったレーザー測量器(SMART)のターゲットホルダーを実際のマグネットに上記の手順で取り付けて、その位置を測定した。測定の度にアダプターを取り外し、設置手順を最初からやり直して5回の再現性を調べた。確認の為にSMARTの他にKEYENCEのレーザー変位計でも位置を測定している。(設置中はこれらのモニターの結果を見ずに、治具のみに頼って作業した。)

マグネットのアパチャーは測定結果の平均値で代表し $\phi 32.15\text{mm}$ とする。BPMの外直径は設計値 91.00mm で、 $10\mu\text{m}$ の精度で作られている。アライメント治具をBPM側 $\phi 91.05\text{mm}$ 、マグネットボール側 $\phi 31.95\text{mm}$ で作るとすると、図8のように、治具のBPM側の中心と磁場中心との間には $100\mu\text{m}$ のずれが生じてしまう。さらに、BPMとアライメント治具の交差分で $50/2 = 25\mu\text{m}$ が加わるので、特に工夫をしなければ、BPMと磁場中心の誤差として合計 $125\mu\text{m}$ のシステムティックなずれが生じることになる。解決策として、このシステムティックな誤差を吸収するように治具のBPM側を $125\mu\text{m}$ 偏心させて製作しておくことが考えられる。

マグネットのアパチャーは $\pm 150\mu\text{m}$ 程度のばらつきがあるという結果であったので、 $\pm 150/2 = \pm 75\mu\text{m}$ 程度のばらつきが残る。偏心量を変えた治具を数種類用意しておいてマグネットによって使い分けることであと半分位は精度を改善できる可能性はある。

但し、設置の再現性が $20\mu\text{m}$ 程度、マグネットアパチャーの両側で測定的一致が $50\mu\text{m}$ 程度であること、などを考慮すると $\sim 30\mu\text{m}$ より細かい精度を狙っても意味は無いだろう。

5 まとめ

BPMを取り付ける際に使用する治具の設計に取り込む為、ATF2用Q-マグネットのアパチャーを測定した。平均で $\phi 32.150\text{mm}$ 、ものによって $\pm 150\mu\text{m}$ の範囲でばらつきがある。同じマグネットの両サイドからの測定結果は、一応相関があるものの $\pm 50\mu\text{m}$ 程度の不一致が見られた。

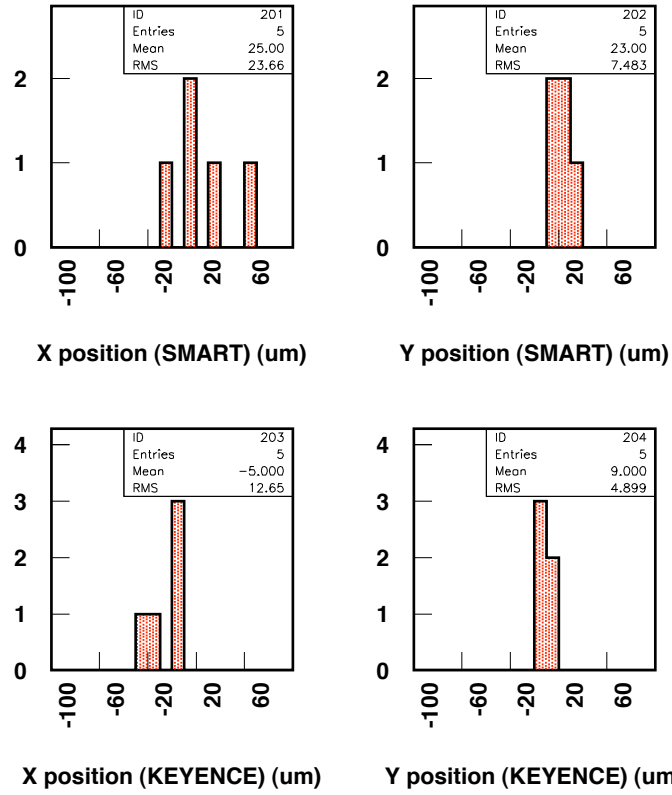


図 7: BPM 設置の再現性

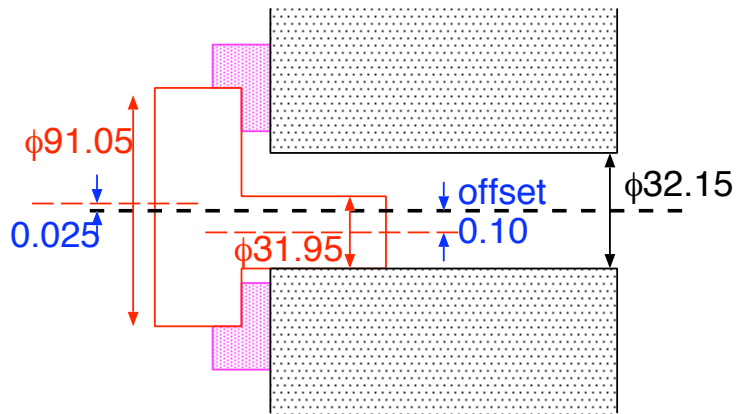


図 8: アライメント治具