

SPRING-8 蓄積リング棟の収納部内と光学ハッチ内床面の相対位置関係調査

INVESTIGATION FOR RELATIVE POSITIONS OF COMPONENTS INSTALLED INSIDE AND OUTSIDE THE STORAGE RING TUNNEL AT SPRING-8

木村洋昭^{#, A, B)}, 岡安雄一^{A)}, 青柳秀樹^{A)}, 玉作賢治^{B)}, 鈴木基寛^{A)}, 寺田靖子^{A)}

Hiroaki Kimura^{#, A, B)}, Yuichi Okayasu^{A)}, Hideki Aoyagi^{A)}, Kenji Tamasaku^{B)}, Motohiro Suzuki^{A)}, Yasuko Terada^{A)}

^{A)} Japan Synchrotron Radiation Institute

^{B)} RIKEN SPRING-8 Center

Abstract

We have investigated relative positions of components installed inside and outside the storage ring tunnel at the SPRING-8, which is almost 20 years old. Most of the levels marked on upstream walls in optical hatches are in good agreement with SR light source levels for each beamline within the range of 1.5 mm. In addition, each actual beam position from the light source observed at the Be window assembly in the hatch matches reference positions marked on the optical hatch floor within the range of 1.2 mm.

1. はじめに

SPRING-8(周長:約 1.5km)のような大きな放射光施設建屋では、加速器が設置された収納部コンクリート躯体と実験ホール床コンクリート部は、一般的にイクスパンションジョイントで縁切りされている。我々はこれまで収納部内に設置された加速器機器の位置を定期的に測定し、その変位を計測してきた[1, 2]。これは、収納部床面の変位を測定してきた事になる。一方、SPRING-8 の実験ホール床コンクリート部の厚さは 40cm であり、厚さ 1m のコンクリート遮蔽壁に囲まれた収納部とは独立した変位になることが考えられる。収納部と同様に、実験ホール部も最初のビームライン(BL)建設から約 20 年が経過している事から、可能な範囲で収納部内と実験ホールの相対位置関係を調査することになった。

SPRING-8 蓄積リング棟では、加速器収納部と実験ホールの間にある測定で利用できる開口は、幅 1m 程度の扉が全周で 4 か所だけである。このような場合、上下方向の計測に関しては収納部とホールの間をつなぐことができる。しかし、水平方向に関してはネットワーク解析を使用した測定を十分な精度で行うことはできない。そこで光学ハッチ内での SR ビーム位置を実際に計測し、BL 建設時に設置したビーム方向床基準点と比較する事とした。

行った計測は、(1)光学ハッチ内の収納壁面ビーム取出部に張られた高さ基準シールの計測(約 40BL)、(2)BL 建設時に光学ハッチ最上流に設置されたフロントエンド(FE)架台基準レールの高さと同様に Rolling 角の計測(約 40BL)、(3)実験ホール床コンクリート床下隙間調査、(4)光学ハッチ内 Be 窓部の SR ビーム軸と、設置時のビーム軸方向基準点との相対位置計測(3BL)である。

2. 収納部と実験ホール境界部の地下構造

Figure 1 に収納部と実験ホール境界部の地下構造を示す。当初、収納部と実験ホールはイクスパンションジョイントのところで、完全に別れていると考えていたが、調査の結果、収納部のラチェット部の凹凸角に囲まれた三

角のエリアに関しては、捨コンクリート層が共通であることがわかった。

このエリアには、通常光学ハッチが建てられ、ビームラインの第一光学素子であるモノクロメータが設置される位置にあたる。収納部躯体コンクリートと実験ホール床コンクリートを完全に縁切りせずに、境界部に関して共通の捨コンクリート層の上に載せることで、大きな高さの段差が生じないように設計したと考えられる。

3. 光学ハッチ内収納部壁面ビーム取り出し部の高さ基準の計測

実験ホール側の機器をアライメントする際に、高さの基準となるのは、実験ホール側ビーム取り出し部に設置された、高さ基準シールである。この基準は、FE 建設時に、取り出し部開口を通してその BL の光源近くの四極電磁石の断面に合わせられた。光源部とこの基準シールとのビーム方向の距離は約 30m で、後述の 1cell の長さにあたる。高さ基準シールは、収納部遮蔽壁の外側に設置されるので、変位としては、収納部と同じように変位すると考えられる。

まず、比較の対象になる蓄積リングの四極電磁石のレベル測定を行った。蓄積リングは 48cell で構成されており、長さ約 30m の 1cell の基本的構成は、挿入光源-共通架台 A-偏向電磁石 B1-共通架台 B-偏向電磁石 B2-共通架台 C となっている。レベル測定では、3 つの共通架台両端の四極電磁石の上の基準台座を計測し、1cell あたり 6 点を計測した。測定値には環閉合補正を行い No.1cell の最初の点を 0 として結果とした。環閉合差は 0.3mm 程度あった[1]。

[#] kimura@spring8.or.jp

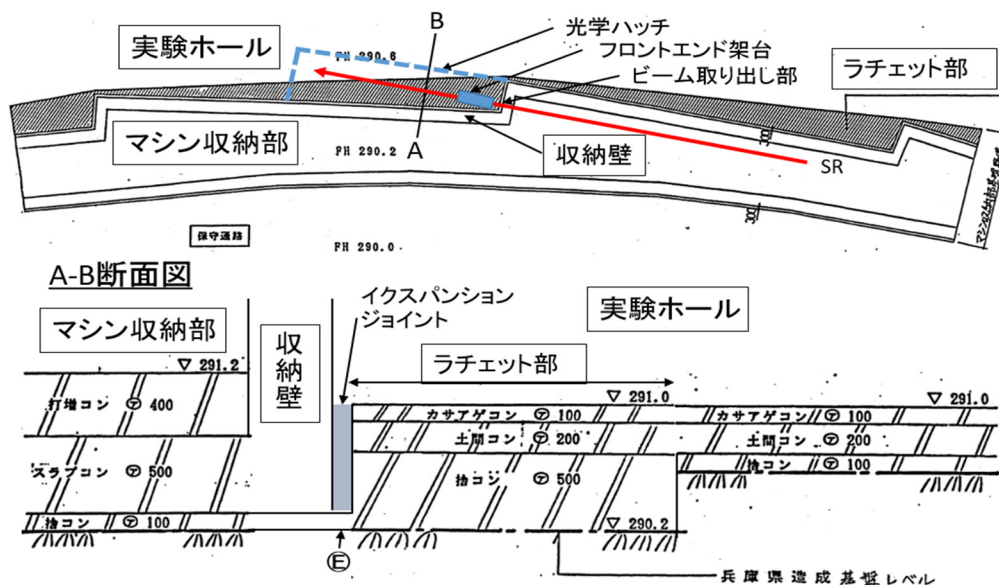


Figure 1: Schematics of under structures at joint section between accelerator tunnel and experimental hall of SPring-8 storage ring.

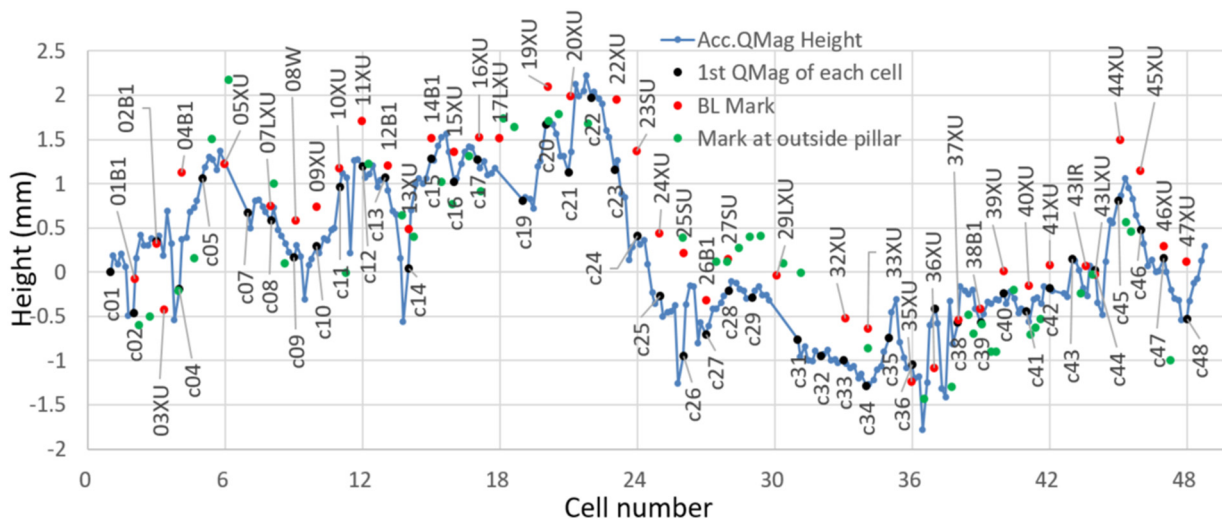


Figure 2: Result of level measurement. Blue circles and lines are heights of Q-Magnets (6 points / cell) in the accelerator tunnel. Black and red circles represent levels of first Q-Magnets for each cell and levels marked on upstream walls in optical hatches, respectively. Green circles represent levels marked at outside pillars of the experimental hall.

次に、全周で 4 カ所ある収納部の実験ホール側の開口部から、直近の収納部内四極電磁石の高さをホール側に引き出し、実験ホールの外周側の通路に沿って、隣の開口部直近の四極電磁石までつながる、約 20m 間隔で床面に打設した水準点鉋で構成された、4 本の実験ホール水準点計測ラインを作った。各計測ラインの測定値は、収納部内の測定で得られた両端の四極電磁石の高低差を基準に環閉合補正を行った。実験ホールにはいろいろな障害物があり、簡単な測定ではなかったが、環閉合差の最大は 0.4mm 程度であった。

その後、前述のホール水準点計測ラインから、各光学ハッチに支線をつくり、光学ハッチ最上流部の壁面の高さ基準シールを計測した。

測定は、壁面のシールを計測する時は目視オートレベル Nikon AS-2 を使用し、それ以外はデジタルレベル Trimble DiNi03 を使用し、2017 年 2-3 月に行われた。

Figure 2 に、測定結果を示す。縦軸は、No.1cell の最初の四極電磁石を基準とした高さ、横軸は cell の番号を基準とした座標である。青丸と青線は、四極電磁石の高さを表し(6点・cell)、各 cell ではほぼ光源の高さとなる最初の四極電磁石の点は黒丸とした。赤丸は各 BL のビーム取り出し部の高さ基準である。緑丸は実験ホール外周側に貼ってある高さ基準である。

概ね、各 BL の高さ基準は、その直近の四極電磁石ではなく、そのセルの光源部近傍の四極電磁石の高さを反映しており、±1.5mm であっている事がわかった。また、

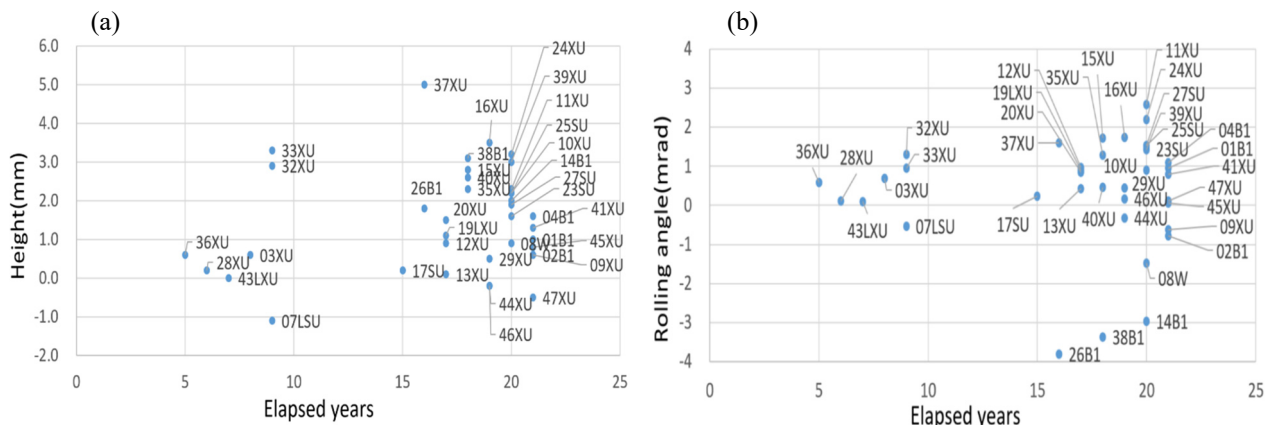


Figure 4: Elapsed years dependence of frontend girders' height inside optical hatches comparing to levels marked on optical hatch walls (a) and rolling angles of frontend girders for beam axes (b).

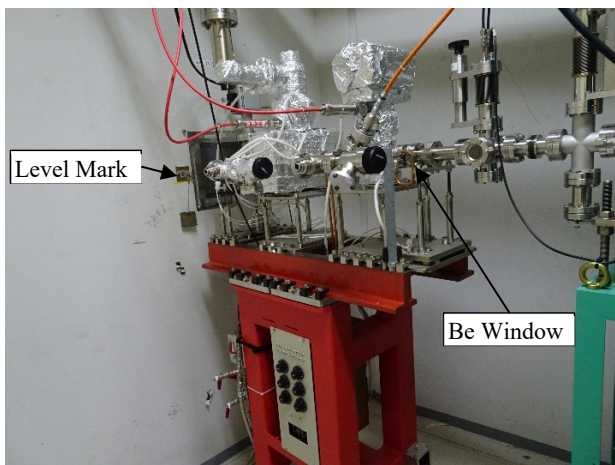


Figure 3: A frontend girder inside an optical hatch.

実験ホールとも縁切りされた基礎に建っているホール外周側柱に貼ってある高さ基準も、ほぼ収納部内高さを反映している。

4. 光学ハッチ内フロントエンド架台基準レールの計測

蓄積リング収納部と、実験ホール床面との相対変位を計測する為に、光学ハッチ内最上流に設置され、BL 建設時から動かされていない FE 架台の基準レールの最上流部と、ビーム取り出し部の高さ基準シールの高さの差を計測する事とした(Figure3 参照)。FE 架台基準レール天面は、ビーム高さから-300mm に設置され、2本のレールは水平にアライメントされた。そこで、2本のレールの傾き(ビーム軸に対して Rolling)も計測し、床面のビーム直交方向の傾きの変位のデータとした。この FE 架台には、ビーム取り出し貫通ダクトや、真空ポンプ、最下流には Be 窓が設置されている。

Figure 4(a)は、横軸に BL 建設時からの経過年数を取り、各 BL での高さをプロットしたものである。変位の平均は 1.5mm であった。最も変位の大きい BL は BL37XU

で、ビーム取り出し部の高さ基準に比べて、5mm 高くなっている。又、BL32XU、BL33XUも、経過年数の割に変位が大きい。これらの BL の建設されたエリアは盛土部であった所である。

Figure 4(b)は、横軸に同じく BL の経過年数を取り、各 BL での FE 架台の傾斜をプロットしたものである。傾斜の極性は、収納部側高を正とした。平均で 1.2mrad 程傾いており、この値はそのまま床面の傾斜の変位分と考えている。26B1 等、一部の BL は負の傾斜になっているが、これらの BL のビーム取り出し口は収納壁に近く、遮蔽壁に食い込む構造になっており、FE 架台が収納部とラチェット部の境界のイクспанションジョイントをまたいで、設置されていた。その為、実験ホール側が上がることで、収納部側に傾いている。FE 架台に設置された機器は、床面から 1.4m の高さに設置されているので、床面が水平方向には変位していないとすると、傾斜角の約 1.5 倍弱横方向にずれる事になる。

5. 実験ホール床コンクリート床下隙間調査

4章の FE 架台レールの高さの結果から、ラチェット部においては、この変位分の隙間が土間コンクリートと捨コンクリートの間にできていると推測した(Figure 1 参照)。そ

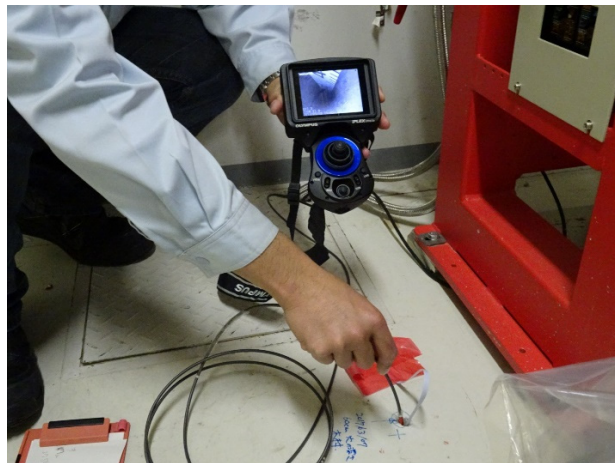


Figure 5: Concrete gap inspection beneath the optical hatch floor.

ここで、最も変位が大きい BL37XU の FE 架台近くで、床コンクリートの床下隙間調査を行った(Figure 5 参照)。ハンマードリルで $\phi 12\text{mm}$ 、深さ 67cm の穴をあけ、清掃後、光ファイバースコープカメラ (Olympus iPLEX UltraLite) で穴内を観察した。

しかし予想に反し、深さ 30cm 付近に隙間層は確認できず、穴底までコンクリート層であった。同様に、光学ハッチ外側のラチェット部でないところでも調査を行ったが、50cm までは隙間層がなくコンクリートで、その下は土層が確認できた。

収納壁に比べ、ラチェット部床面が 5mm 高くなっているにもかかわらず、ラチェット部の床コンクリートに隙間層がないという事は、Figure 1 の床断面設計図の構造からはうまく説明ができない。

6. Be 窓部の SR ビーム軸と、床面ビーム軸方向基準点との相対位置計測

光学ハッチ内にあたる、ビーム取り出し口から 3m と 8m の地点の床部に、真鍮製の BL 方向基準点が埋設してある。挿入光源 (ID) BL の場合、これらは BL 建設時にビーム取り出し貫通口を通して、ID 上下流の四極電磁石基準点を視準して再度アライメントされた。

実際の SR ビーム軸を計測するために、Be 窓下流のビームダクトを取り外し、Be 窓側と下流フランジ側に SR 照射痕が記録できるガフクロミックシートとフランジ中心から照射痕位置がわかる方眼紙を取り付けた ICF70 フランジ (Be 窓側は $\phi 20\text{mm}$ の穴あき) を取り付けた (Figure 6 参照)。

Be 窓は空気にさらした状態で強い SR ビームを当てると温度が上昇して劣化する。それを考慮し、照射条件は蓄積電流 100mA で、ID のギャップを全開、Be 窓上流にある FE スリットの開口を 0.1mm 角、露光時間は約 1 秒とした。FE スリットの中心は、予め SR の強度や分光スペクトルを計測して ID 光の中心に合わせた。

床基準点、高さ基準点、Be 窓などの機器やフランジ中心の位置は、レーザートラッカー Leica AT402 を使って 3 次元的に計測され解析された。

計測は BL37XU、BL39XU、BL19LXU で行った。BL37XU での結果を Figure 7 に示す。BL37XU では、BL 上流方向基準点の上には機器が設置されており、計測することができなかったため、建設時に記した床罫書き線の最上流部を方向の原点とした。

横方向に関しては、BL 方向基準に対して、SR ビームは 1.2mm 程度のずれであった。又、FE レールの傾斜に対応する変位量のずれであった。

高さ方向に関しては、SR ビームは +0.9mm のずれであった。FE 架台は下流に行くとき下がっており、上流側が 5mm に対して Be 窓部では 3.5mm、また 7.5m 付近のモノクロメータ前の機器の高さはほぼ 0mm になっていた。

この高さ方向の結果からは、高さ基準シールが設置されより重量がある収納部側が実験ホールに対して沈下しているとは言えず、むしろ実験ホールのビーム取り出し口付近床面が上昇したと考えるのが妥当である。この事は、3 章の実験ホール外周側柱に設置された高さ基準シールが、収納部機器高さ 1mm 以内で一致した事にも裏付けられている。

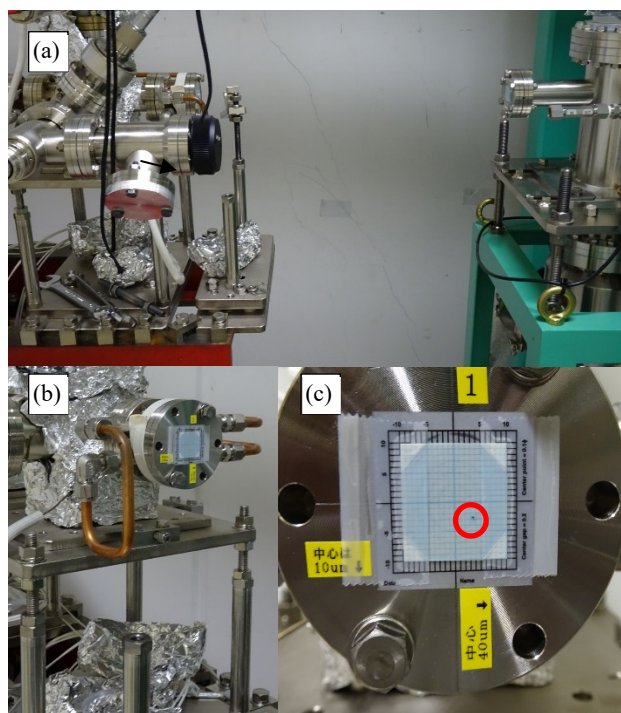


Figure 6: (a) Vacuum components around a Be window (a duct was temporarily removed), (b) an ICF70 flange with a gafchromic film and grid sheet attached on Be window and (c) an SR radiated point (red-circled).

Be 窓部の照射痕は、フランジ中心から収納部側に 3.5mm 下に 2.6mm ずれていた。Be 窓の開口は $\phi 10\text{mm}$ であるので、計測後位置を修正することとした。

又、BL39XU での Be 窓部での SR 照射痕位置は、高さは -1.5mm、横は収納部側に 1.1mm、BL19LXU では、高さは -0.7mm、横は収納部側に 0.2mm であった。

計測により、今回の 3 つの BL では、SR 光軸と光学ハッチ内方向基準点とのずれは、1.2mm 以内、高さは 1.5mm 以内であることがわかった。

3 章の測定結果をこれらと合わせると、3 つの BL の ID 前後の四極電磁石高さと、BL での SR ビーム高さをつなぐことができる。ビーム取り出し部高さ基準を 0 とした結果を Table 1 にまとめる。

Table 1: Height of Q-Mags and SR Beam

	Position (m)	BL37XU Height (mm)	BL39XU Height (mm)	BL19LXU Height (mm)
Q before ID	-3.5	-0.1	-0.4	-0.3
Q after ID	3.5	0.1	-0.5	-0.7
BL Mark	34	0	0	0.0
SR Height (Actual)	35	0.9	-1.5	-0.7
SR Height (Calc. from Qs)	35	0.9	-1.3	---

BL37XU、39XU では、光源となる ID の前後の四極電

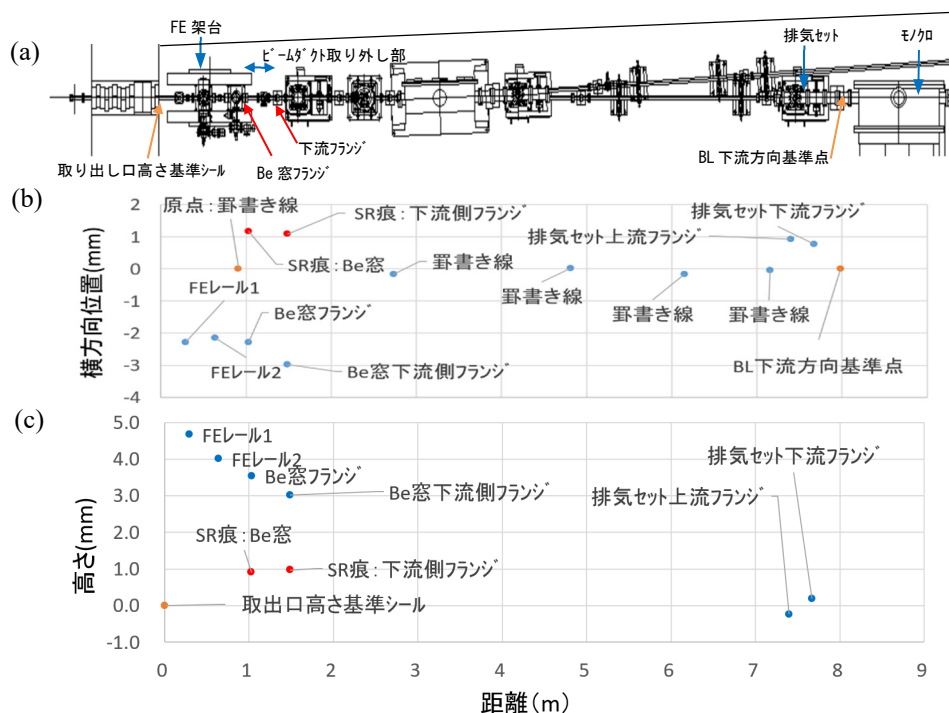


Figure 7: A vacuum components layout inside BL37XU optical hutch (a), lateral positions (b) and heights of level marks, gafchromic films and various vacuum components along beam axis in the optical hutch.

磁石の高低差を考慮して実験ホールでの SR ビーム高さの計算値を記した。BL19LXU は長直線部に設置されているので、前後の四極電磁石高さは、SR ビーム方向を反映してないと考え計算値は記してない。

前後の四極電磁石の中心に対して ID からの SR ビーム軸の位置と方向は最大で 0.1mm、30 μ rad 程度のずれがある事も考慮すると、ホール側での SR ビーム高さの測定値はよく合っていると云える。

7. まとめ

最後に一連の調査により、蓄積リング収納部と実験ホール床面との相対関係についてわかった事をまとめる。

- 光学ハッチ収納部壁面ビーム取り出し口の高さ基準シールは、概ねその BL の光源部となる四極電磁石の高さを反映しており、 $\pm 1.5\text{mm}$ の範囲に入っている。
- ビーム取り出し部近傍では、実験ホール床面は収納部壁面に対して、平均で 1.5mm 高くなっており、平均で 1.2mrad ホール側に傾いていた。上昇の最大は BL37XU で 5mm であった。この高低差は SR 光軸に沿って、ビーム取り出し部から離れていくと減少する。
- BL37XU のビーム取り出し部付近の床下コンクリートの深さ 30cm にある捨コンクリート層と土間コンクリート層の境界には隙間がなかった。又、SR 軸に沿ってビーム取り出し口から離れていくと高低差が減少している事から、実験ホールのビーム取り出し口付近床面が上昇したと考えられる。この事はホール床断面設計図による構造からは説明ができない。
- 計測した 3 本の BL では、ビーム取り出し部高さ基

準シール及び光学ハッチ内床面ビーム方向基準と、実際の SR 光軸は 1.2mm の範囲で一致していた。

- BL37XU、39XU では、光源部の ID 前後の四極電磁石の高さを考慮すると、実際のホール側の SR 光軸高さはよく合っていた。

参考文献

- [1] Kimura *et al.*, “SPring-8 蓄積リング収納部床面レベルの長期変位解析”, 本学会 2016 年報告集; http://www.pasj.jp/web_publish/pasj2016/proceedings/PDF/WEOL/WEOL09.pdf
- [2] Y. Okayasu *et al.*, “SPring-8 蓄積リング水平方向変位の解析”, 本学会 2017 年報告集.