

粗さ計による段差測定手法の開発

八木澤博、新井貴、後藤純孝、神永敦嗣、宮直之

日本原子力研究所 那珂研究所

1 はじめに

臨界プラズマ試験装置 JT-60 の真空容器内にはプラズマによる損傷を防ぐ目的から形状の異なる多数のプラズマ対向壁(タイル)が取付けられている(図1)。実験運転後のタイル表面を走査型電子顕微鏡(SEM)や X 線光電子分光法(XPS)等を用いて分析した結果、損耗や堆積層が確認され、現在各種調査が行われている。今回その調査の一環として、今年度の実験運転を行う前に交換する未使用タイルを対象に、粗さ計によるタイル表面の測定を実施した。なお、次年度以降実験運転適用後のタイルの同一箇所を再度測定し、最終的に表面の損耗・堆積層を確認するものである。

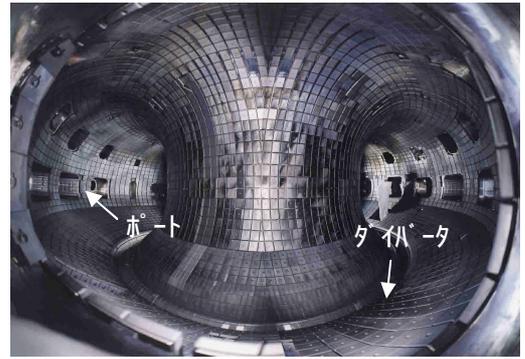


図1. 真空容器内タイル

本報告では、寸法測定用に溝を付けたタイルを新規に製作し、フライス盤に高分解能を有する粗さ計を組み込んでタイル表面と溝底面の段差測定を実施したのでその手法を明記すると共に、溝付タイルを製作した際、高精度三次元測定計にて測定を行ったので、その測定値との比較により、今回使用した粗さ計の適用性を評価する。

2 タイルの概要と損耗・堆積層測定用溝付タイルの製作

JT-60 の真空容器内のタイルは約 12000 枚あり、第一壁タイルと呼ばれるアーマタイル(10000 枚)とダイバータタイル(2000 枚)に大別される。材質はアーマタイルが等方性黒鉛、ダイバータタイルが CFC(Carbon Fiber composites)である。標準的なタイルの寸法はおよそ 180×80×30mm であり、真空容器内の設置場所で寸法・形状が若干異なる。

タイルの損耗・堆積層の確認は真空容器内の不純物の生成、輸送、損耗・堆積機構を解明するための基礎データとなる。真空容器内ダイバータ周辺での損耗・堆積層の発生分布は中心側で堆積層、外側で損耗が発生していることがわかっている(図2)。

今回の測定では、損耗と堆積層の寸法を明確にするために溝付タイルの製作を行った。これらは真空容器内の各エリアの代表的なタイル(全 14 枚:アーマタイル 5 枚+ダイバータタイル 9 枚)とし、それらのタイル表面に十文字の溝を付けたものとした。溝の寸法は、深さ 2.5mm、幅 3~5mm とし、タイル自体の製作精度は±0.05mm 未満である(図3)。タイルの測定は表面と溝面の段差である 2.5mm の部分を対象とし、溝と平行に測定を行った。

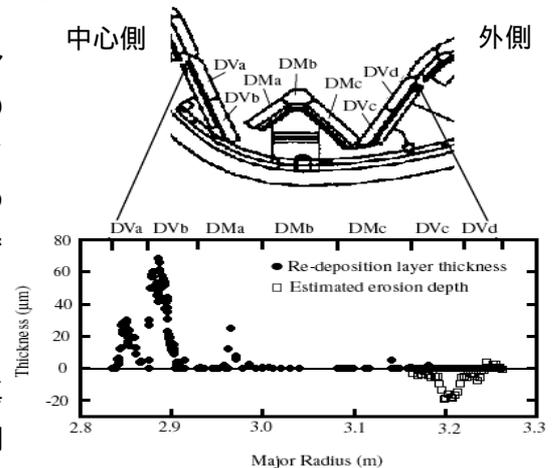


図2. 損耗・堆積層分布状態(代表例)



(単位: mm)

図3. 溝付タイル概略(運転前)

3 粗さ計の概要

今回の測定では使用する粗さ計の選定に当たって、測定時のハンドリング性の確保、測定期間の短縮化を考慮した。当初、測定方式として非接触式レーザ型を選定し、タイル表面と溝底面を測定したが反射や振動が原因と思われるデータ値のハンチングが大きくデータ処理上問題があり断念した。次に行った接触式磁気型による測定では、安定したデータが得られたためこの方式を採用した。接触式磁気型粗さ計(以下「粗さ計」)の緒言及び外観(側面)を図4に示す。

緒言： (1) 分解能：0.02% of F.S (0.16 μ m)

(2) 測定範囲： $\pm 400\mu$ m

(3) 電圧出力： \pm DC.5V

(4) 測定原理：誘起電圧変化による直流電圧への変換

400 μ m=DC.5V
0 μ m=DC.0V
-400 μ m=DC.-5V

図4. 粗さ計外観(側面)図

この粗さ計は、フライス盤のヘッド部に差込めるように取付け治具を製作し、当研究所保有のフライス盤に取付けた。粗さ計はタイル表面と溝底部を同時に測定可能なように2台使用した。概略機器構成を図5に、粗さ計とフライス盤取付け治具との接続状態を図6に示す。

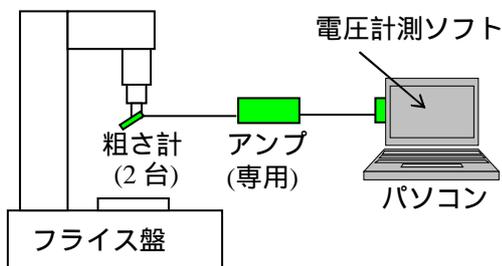


図5. 概略機器構成

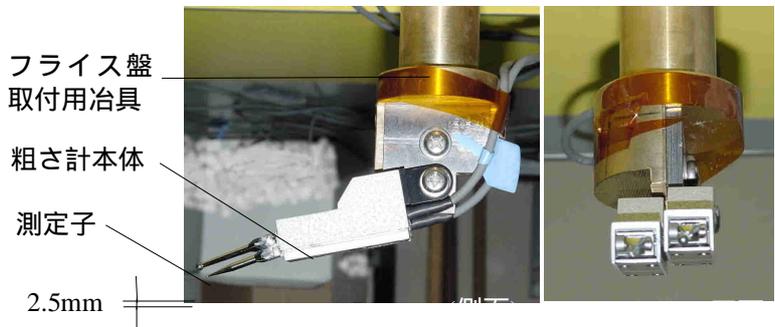


図6. 2台の粗さ計とフライス盤取付け治具の接続状態

4 測定手法の開発

4.1 アンプ特性の確認及び信頼性の向上対策

粗さ計のアンプ特性における電圧と寸法の関係は、カタログ値で直進性0.5% of FS(2 μ m)のふらつきがある。実際、採用したアンプの直進性を高精度ダイヤルゲージで測定した結果、直進性は認められたが数 μ m程度の誤差を確認した。そのため寸法-電圧間の補正係数を算出した。これによりアンプ出力から換算される距離の直進性についてふらつきをカタログ値と同程度に改善した。

4.2 粗さ計間のずれ対策

粗さ計は取付治具の制約から1箇所をボルトで固定している。そのため構造上、振動等により2台の粗さ計にずれが生じ、タイルの段差である2.5mmの粗さ計出力による基準値を常時保持することが難しい。これを解決するために測定の際に基準を明確化するための段差ゲージ(段差2.5mm \pm 0.0005)を製作した。この基準ゲージを用いて測定の前後に2台の粗さ計を同時に測定(校正)することにより、2台の粗さ計の電圧の差を基準として、測定子のずれによるデータの相違を解決した。また、水平方向のずれ量を補正するデータとして引用した。

4.3 測定子のスタート位置の明確化

今回の粗さ計に用いた測定子の先端には標準サイズの鋼球(3.2)と溝の幅による寸法制約上標準サイズより小さな鋼球(0.8)を採用した。2つの粗さ計の測定子の長さが異なるため、スタート位置を明確化する必要があった。今回粗さ計の取付治具はフライス盤のチャックに差込みによる固定としているため、テーブル(送り方向)に対し直角に高精度ブロックゲージをセットし、2つの粗さ計の先端を揃えることによりスタート位

置を明確化した。粗さ計の向きは測定方向に対し、若干斜めの測定となるが、粗さ計の構造上測定に問題はない。

4.4 測定面等の基準化

粗さ計の測定範囲は $\pm 400\mu\text{m}$ であり、上下方向に対し測定範囲から外さないようにするためタイルの水平化が必要となる。また、測定基準とする面(辺)が存在しないタイルについては、基準(測定スタート部)となる面が必要となる。今回、上記課題に対して以下の工夫を施した。

- (1) 上面と下面が平行でないタイルについては水平面を得るための専用治具を利用した。
- (2) 水平化治具のないタイル及び測定基準面がないタイルについては隙間ゲージを利用した。
- (3) 上記(1)(2)が対応できないタイルについては同一タイルを準備し、測定面の反対側通しを鏡上に向い合わせ、片側タイルを 180° 反転させることにより上下面の平行性を確保し、且つ角部から基準面を割り出した。

4.5 測定不良防止対策

タイル表面の測定は、接触式であることからごみの付着を抑えるために、タイル表面の連続走査ではなく $5\text{mm}(\pm 0.0025\text{mm})$ 間隔のポイント測定で実施した。また、極力振動によるノイズを防止する目的から測定中の歩行等を規制した。

5 測定結果及び三次元測定計との測定比較結果

今回、粗さ計で測定したタイルの表面粗さの測定結果及び、タイル製作メーカーで実施した三次元測定計での測定値を比較した結果を表 1 に示す。測定比較の結果は、アーマタイルが最大で 0.007mm 、ダイバータイルが最大で -0.059mm の差であり、ダイバータイルは全般的に三次元測定計との差が大きかった。

表 1 測定結果及び三次元測定計との測定比較結果

アーマタイル				ダイバータイル			
タイル名称	今回測定値平均(mm)	三次元測定値平均(mm)	測定比較(差)(mm)	タイル名称	今回測定値平均(mm)	三次元測定値平均(mm)	測定比較(差)(mm)
5Af4	2.500	2.502	0.002	5BP3E1r	2.508	2.483	-0.025
5Id4-2	2.502	2.509	0.007	5DM3aq	2.486	2.516	0.030
5Lb4	2.508	2.515	0.007	5DM3bp	2.510	2.510	0.000
5Ld5	2.497	2.504	0.007	5DM3cp	2.528	2.469	-0.059
5Md4	2.498	2.504	0.005	5DV3aq	2.492	2.505	0.013
				5DV3bp	2.540	2.465	-0.075
				5DV3cp	2.521	2.475	-0.046
				5DV3dp	2.510	2.490	-0.020
				5DV7dp	2.521	2.475	-0.046

6 再現性確認試験及び結果

$2.5\text{mm}(\text{初期値}+0.47\mu\text{m})$ の差にセットした 2 台の粗さ計と段差ゲージを用いて、測定スタート位置から 5mm と 45mm の位置について相互に繰り返し測定を行った。本試験の目的は、粗さ計の指示値に再現性があることを確認するためのものである。試験結果を表 2 に示す。測定の結果、 5mm 、 45mm ポイントで毎回の差が $1\mu\text{m}$ 未満であり、粗さ計の指示値に再現性があることを確認できた。

表 2 再現性試験結果

測定 順序	5mmポイント 2.5mmからのずれ量(μm)	ずれの変移量 (μm)	測定 順序	45mmポイント 2.5mmからのずれ量(μm)	ずれの変移量 (μm)
1	0.47(初期値)	- (基準)	2	0.33	- (基準)
3	0.23	-0.24	4	0.03	-0.30
5	0.31	-0.16	6	0.65	0.32

7 適用性の検討

今回の測定における各種組み合わせ精度を考慮すると、フライス盤のテーブル精度と粗さ計の測定精度及び据付部からの振動の影響が主要課題であると考えられる。フライス盤のテーブル位置精度は $\pm 2.5 \mu\text{m}$ 未満である。粗さ計の測定精度は分解能とアンプの特性により決定されるが、アンプ特性において、直進性に $2 \mu\text{m}$ 程度のばらつきが発生しているため、分解能よりアンプ特性のほうが支配的である。また、フライス盤据付部に進入する建屋の振動は振動計による測定の結果、 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 程度である。これらの個々の誤差を組み合わせると最大で約 $7 \mu\text{m}$ の測定誤差が発生する。これ以外の要因としては温度によるタイルの膨張が考えられるが、CFCより熱膨張の大きな等方黒鉛においても、測定対象部の寸法は 2.5mm であるので熱膨張は無視可能な範囲である。今回の測定結果では三次元測定計の測定値と比較すると差が上記の組合せ誤差を越えている。三次元測定計でも $2 \sim 3 \mu\text{m}$ 程度の誤差を生じるが、この誤差を考慮しても粗さ計の測定値のずれは大きい。このことから今回の装置では絶対評価による測定の適用性を高めるためには、測定不良と成り得る要因を再度吟味する必要がある。しかし、今回の測定の目的は運転前後のタイル表面段差部の相対的な差分の比較であり、相対評価が重要な要素となる。追加試験として実施した段差ゲージを用いた測定精度の再現性を確認したところ、毎回の測定値の差は $1 \mu\text{m}$ 未満であった。従って、実験運転後のタイルにおいて $1 \mu\text{m}$ 未満の測定精度での相対評価による測定は現状十分適用可能であると考えられる。

8 今後の課題

今後の課題として重水素実験運転完了後のトリチウム等による汚染したタイルの測定方法を考える必要がある。今回使用したフライス盤は非管理区域にあるため適用できない。管理区域内で再度、測定装置を考えた場合、ハンドリング性や粗さ計を取り付ける架台の剛性確保、スキャンングの際の送り方法等を考える必要がある。さらに実験運転後のタイル表面に付着している堆積物質への影響等も考慮する必要がある。

9 まとめ

2 台の表面粗さ計を用いてタイル表面と溝面の粗さ測定を実施し、運転前の段差部の測定値を得た。その際測定方法を明確化し、運転後のタイル測定手法に備えた。また、高精度三次元測定計との比較から絶対評価での適用には更に各種改善の必要があることがわかった。絶対評価を行うために現状の問題点を再度整理確認し、実験運転後のタイル測定に反映する必要がある。ただし、今回の測定目的は相対評価であるため、再現性も確保されていることから粗さ計の適用性は十分高いという見通しを得た。今回開発した粗さ計とフライス盤を組み合わせることにより簡便で且つ対費用効果に優れた測定手法を確立することができた。

文献

- [1] 柳生純一他「XPSによる核融合プラズマ対向材料の分析」平成15年度 機器・分析技術報告会
- [2] 三代康彦他「SEMによるプラズマ対向材料の破断面観察」平成15年度 機器・分析技術報告会
- [3] 正木 圭他「JT-60 第一壁におけるトリチウム分布」日本原子力学会和文論文誌 Vol.2, No.2(2003)