

日本真空技術(株) 超材料研究所

稲川幸之助, 渡辺一弘, 斎藤一也, 伊藤昭夫

### 1. はじめに

将来のエネルギー源として最も大きな期待がかけられている核融合の研究開発は世界の主要国で鋭意進められている。核融合炉実現のためには数々の解決すべき向題があり、その一つに高温高密度プラズマを長時間閉じ込めるための真空容器壁材料の開発がある。本報告では、プラズマに直接面する第一壁がプラズマからの高い粒子負荷や熱負荷を受けることから保護し、それにより高温プラズマの達成を促進させることを期待される低Z(原子番号)材料コーティングの開発の経緯とそれに関するまでに行ってきた基礎研究について述べる。

### 2. 開発の経緯

現在、世界に4台の大型トカマクの装置があり、臨界プラズマ試験装置JT-60はその一つで1975年4月に日本原子力研究所・那珂研究所に建設された。JT-60の鳥瞰図を図1に示す。真空容器内に設置された第一壁リミタにはモリアデン、ライナにはインコネル625が用いられている。大きさ・形状はいろいろであるが、代表的なものは幅150mm、長さ300mm、厚さ5~20mm程度で、複雑な3次元形状としている。これを第一壁に低Z材料をコーティングすることが1979年に計画され、表1に示してあるように原研からの委託によりR&Dを3回行い、その結果を踏まえ実機を製作した。

2.1 第1回R&D --- JT-60で使用するリミタ及びライナへ炭素及び炭化チタン膜(TiC)をコーティングする工場の技術的検討に必要な試料を得るために行った。20 $\mu$ mの炭素膜については放電分解法で、TiCについてはH&D-AR E法(Activated Reactive Evaporation using a Hollow Cathode Discharge)で2回の蒸着の重ね合せにより厚さ20 $\mu$ mの膜を得た。析出膜についてこの諸特性を調べ、また熱衝撃試験を行った。炭素膜については密着性が悪く、TiC膜については均一な化学量論組成の膜が得られず、満足すべき結果ではなかった。

2.2 第2回R&D --- 第1回R&Dの結果を改良するために行い、結果は次の通りであった。(i)炭素膜: 約0.2 $\mu$ mの厚さのTiC膜を中間層とすることにより基材との密着性を改善できた。(ii)TiC膜: 装置を改造し、析出速度と反応ガス量を制御して蒸着することにより、1回の蒸着で20 $\mu$ m厚の化学量論組成のTiC膜を得た。これらC, TiCおよび他にTiN, SiC膜の小型試験片を用い、熱衝撃試験、水素イオンによる表面侵食試験、化学スパッタ率の測定などを行い、相互に比較検討を行った。その結果、JT-60第一壁をコーティングする低Z材としてTiCが選定された。

2.3 第3回R&D --- TiCをコーティングした実物大第一壁ならびに各種試験体を製作するとともに、これらの性能確認試験を行うためになされた。なお、モ

リブデン基板上に対しては他社でプラズマとVD法によるTiCコーティングも試みられた(インコネルに対しては基板を500℃以下に保つ必要があるためプラズマとVDは適用できない)。コーティングには実機生産に使用するインライン式蒸着装置を用い、被膜の内部応力を小さくする方法を確立して、接着性にすぐれた厚膜を得ることにできた。TiCコーティングカチー壁試作品に対して14項目にわたる試験・検査を行った結果、当初の開発目標(①コーティングを施すことにより基板の機械的強度などへ悪影響を与えない、②基板との接着性が強いこと、③量産性・経済性が良いこと)を満していることが確認された。

2.4 実機製作 --- モリブデンに対してはプラズマとVD法、インコネルに対しては著者らのH&D-ARE法により約一年間にわたって実機生産がなされた。TiCコーティングインコネルライナの例を図2に示す。

### 3. おわりに

C, TiCなどのセラミック入膜の研究開発はR&Dが持ち込まれる前より行ってきた。1972年Bunshakuにより炭化物、窒化物膜の高速成膜法が発表され大きな話題となり、著者も追実験し、更には独自の方法により実験を行い、その後の研究開発は続けられ、このことがJT-60カチー壁保護膜の開発の成功に結びついていえる。

表1 JT-60カチー壁保護膜の開発経緯

	1980年	1981年	1982年	1983年	1984年
第1回R&D	←→				
第2回R&D		←→			
第3回R&D			←→		
実機製作				←→	

### 参考文献

- (1) 核融合研究開発の現状(日本原子力研究所, 1985年).
- (2) 中村, 紹川: 金属 45 No. 8 (1975) 35.

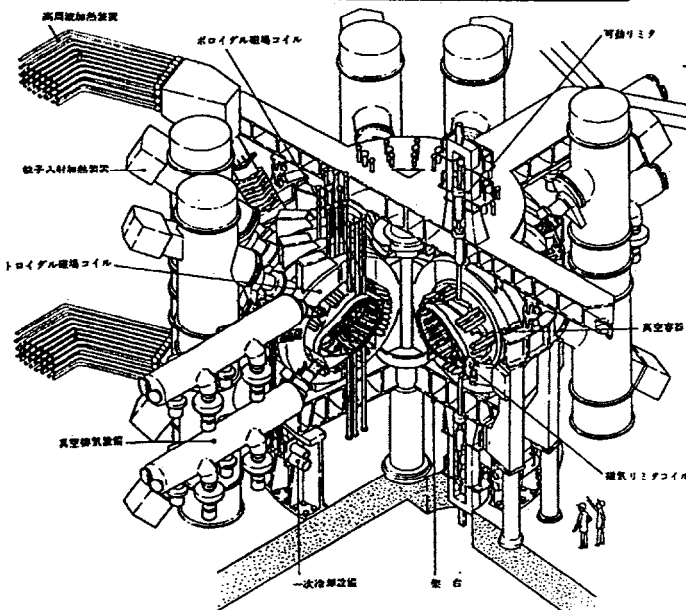


図1 JT-60 鳥瞰図

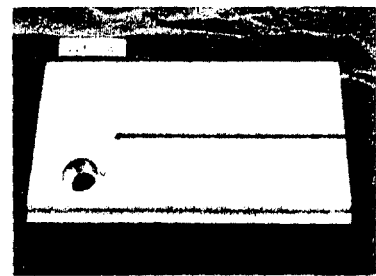


図2 TiCコーティングしたインコネルライナ