

CONFERENCE REPORTS (4)

第7回プラズマ-表面
相互作用国際会議

佐々木 貞吉

日本原子力研究所 固体化学研究室
〒319-11 茨城県那珂郡東海村白方白根 2
(1986年10月17日受理)

The 7th International Conference on
Plasma-Surface Interactions in
Controlled Fusion Devices

Teikichi A. SASAKI

Department of Chemistry, Japan Atomic
Energy Research Institute
Tokai-mura, Ibaraki-ken 319-11

(Received October 17, 1986)

1. 会議の概要

標記の国際会議(略称は7th PSI)は、プリンストン大学プラズマ物理研究所がホスト役となり、5月5日～9日の5日間、Princeton Hyatt Regency Hotelで開催された。Eerial hostにはDr. S. A. Cohenが当たり、参加者総勢250名の先頭に立って奮闘された。今回は、ヨーロッパ連合のJET、プリンストンのTFTRなどの大型トカマク装置が、ジュール加熱に加え高周波加熱及び中性粒子加熱に入って開かれた最初の会議である。それだけに、プラズマへ混入する不純物の測定法や、不純物低減策として考案されたカーボニゼーションの研究が会議におけるホットな話題であった。

発表論文総数は179編で、米国以外からは、西独のJulich及びMax Planck Instituteからの積極的な参加が目立った。また日本からは30編の論文が寄せられた。

Table 1 Change in number of contributed papers in the Conference.

Year	Location	Contributed papers
1st 1974	Chicago (USA)	56
2 1976	San Francisco (USA)	81
3 1978	Culham (UK)	121
4 1980	Garmisch-Partenkirchen (FRG)	125
5 1982	Gatlinburg (USA)	149
6 1984	Nagoya (Japan)	179
7 1986	Princeton (USA)	179

Table 2 Session theme and number of papers in the Conference.

Session theme	Number of papers (invited)
1. Tokamak edge phenomena	12(2)
2. Tokamak edge phenomena	12(3)
3. Surface erosion and hydrogen in solids	30(1)
4. Alternative concept devices	13(2)
5. Surface erosion and hydrogen in solids	17(1)
6. Tokamak fueling and impurities	16(1)
7. Impurities in tokamaks	13(2)
8. Limiter and wall conditions	32(2)
9. Limiter operations	14(1)
10. Tokamak modeling	20(3)
	179(18)

発表論文数の推移をTable 1に示す。また、セッションテーマ別発表件数はTable 2に示す通りである。名古屋で開催された前回の会議に比べ、核融合炉の実機を想定したプラズマ-表面相互作用の研究発表が増えている。一方で、イオンビームと壁材料の相互作用といった基礎部門の研究が着実に進展している。大型トカマク試験装置と基礎研究用装置との大きな相違は、プラズマがサークルになるか否かである。前者では、壁材料のredepositionや水素同位体、不純物などのリサイクリングの重要性が増す。従って、後者のシミュレーション実験におけるデータを大型装置の場合に役立てるためどのように評価すべきかという問題が、今後ますます重要になると思われる。

2. 研究発表の概要

セッション2では、先ずJET, JT-60, TFTRなどの大型トカマク装置が加熱されたときのプラズマ-壁相互作用に関する結果が紹介された。その中で、中性粒子加熱をも行ったというTFTRの結果には説得力があった。放電の具合によっては、プラズマにより第1壁が不均一に加熱される様子が、高速ビデオカメラによる撮影で明らかにされた。炭素不純物の発生源は、グラファイトコーティングしたリミターであること、酸素不純物のそれは、真空容器の壁であることなどが確認されたという。酸素によるエロージョンは、水素の場合の数100倍にも達するので、その除去に関心を払う必要がある。なお、10 MW 中性粒子加熱によっても、金属不純物の第1壁に及ぼす影響は無視し得る程度であったとの報告もなされた。

スパッタリング、捕捉状態、表面状態、リサイクリング、水素透過など個々の表面現象を扱った研究は、セッション3及びセッション5で発表された。特筆すべきことは、47編中18編がグラファイトに対する水素衝撃効果を扱った研究であった。JET, TFTRが、第1壁材料としてグラファイトを多用しつつある現時点では、当然の成り行きといえよう。

高密度プラズマ連続発生装置 PISCES により、グラファイト、SUS などの照射効果を研究した Goebel (UCLA) によれば、第1壁材料のエロージョンは当初心配された程には深刻なものではないという。これは、トカマク装置の場合、redeposition が起こるためである。事実、Krauss (ANL) らは Cu-Li 合金を PISCES プラズマで照射し、銅のエロージョン速度は純銅の場合に比べ $1/3 \sim 1/4$ に減少することを示した。Cu-Li 合金の場合、リチウムが表面析出する一方、これが、スパッター→redeposition→スパッター…のくり返しによりバルクの銅を保護するからである。

前回までの会議で synergistic effect について報告した Vietzke (Kernforschungsanlage Jülich) らは、今回もグラファイトや非晶質炭化水素フィルムをとり上げ、(i) 中性ビーム (2800 K の H, D, O₂ など) 衝撃、(ii) 中性ビームと Ar⁺ の同時衝撃、(iii) H⁺, D⁺, O₂⁺ (2.5 keV/amu) による単独衝撃などを行い、化学スパッタリングを調べた。(i)と、(ii)、(iii)では、生成物分布 (CH₄, C₂H₄, CO, CO₂ など)、反応収率等にかんがりの差異が認められる。しかし、(ii)と(iii)の結果には多くの類似点のあることが確かめられた。材料表面の化学プロセスに及ぼすエネルギー付与の重要性が、ますますクローズアップされた観がある。

セッション6及びセッション7では、プラズマへ混入する不純物とその発生機構を調べた研究が発表された。不純物測定には、中性粒子飛行時間測定法、CCD カメラ、グラファイト製不純物収集プローブの他、放射光、X線、XUV 光などの分光分析法が利用された。研究発表の中で特に注目されたのは、第1壁への中性粒子束を測定した西独 ASDEX チームの結果である。リミターを移動させたところ、中性粒子束は1桁以上増加したという。エネルギーは、重水素放電で 20~2000 eV、ヘリウム放電で 40~4000 eV であった。これらの中性粒子は、D⁺, He⁺ がリミター表面と相互作用することにより生

成するという。高エネルギー中性粒子は、スパッタリングにより酸素、金属などの不純物を発生させるので、これらの成果は今後の中性粒子対策にとって一歩前進といえよう。

会議における大きなトピックスはカーボニゼーションであろう。カーボニゼーションとは、プラズマ中の不純物を減少させ、安定な放電を維持するために考案された第1壁材料への炭素膜コーティング法である。セッション8において、Winter (Kernforschungsanlage Jülich) が TEXTOR, ASDEX, JET に対してほどこした in-situ カーボニゼーションについて講演した。コーティングでは、CH₄/H₂=0.2~0.3 の混合気体をプラズマ容器に導入し、 5×10^{-3} mbar でプラズマ CVD を行う。形成される薄膜は、半透明の非晶質炭化水素フィルムで、硬度が大きい、熱衝撃に強い、SUS やインコネルとの密着性が良好であるなど、第1壁材料コーティングに要求される条件を備えている。TEXTOR や JET では、100ショット毎にカーボニゼーションをくり返すならば、プラズマへ混入する金属、酸素などの不純物粒子を $1/8 \sim 1/10$ に減少させ、放電持続時間を数10% 長くすることができるという。この研究に参加した野田 (京大) らは、名大プラ研の JIPPT-II U にカーボニゼーションを行い、プラズマ混入不純物を1桁減少させ得ること、電子温度を 0.6 keV から 1.4 keV に上昇させられることを確認した。

非晶質炭化水素膜は~30% の軽水素を含むので、重水素プラズマ放電時には重水素濃度の低下をもたらす、プラズマ温度を下げてしまうという欠点がある。また、水素衝撃による化学スパッタリング率は、グラファイトの場合の 10~40 倍に達するとの指摘もあり、解決すべき重要課題も残っている。しかし、コーティング膜 (数10~数100 nm 厚) は、放電洗浄と類似の手法で除去する技術が確立され、新しいカーボニゼーションを行うことが可能である。プラズマ制御技術の前進に大きく寄与することは確実であり、今後の進展に期待したい。

3. 付 記

会議のプロシーディングスは、J. Nuclear Materials の特別号として、1986 年末に刊行の予定である。次回の会議は、1988 年 Jülich で開催されることになり、E-mail host には Dr. J. Winter が決まった。