

CONFERENCE REPORT

第6回制御核融合装置における
プラズマ表面相互作用国際会議
(名古屋大学 1984年5月14日-18日)

坂本 雄一

理化学研究所
〒351-01 埼玉県和光市広沢 2-1

(1984年10月1日 受理)

The 6th International Conference on Plasma
Surface Interaction in Controlled
Fusion Devices (Nagoya University,
May 14-18 1984)

Yuichi SAKAMOTO

RIKEN, The Institute of Physical and
Chemical Research
Wako-shi Saitama 351-01

(Received October 1, 1984)

The 6th International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices was held at Nagoya University from 14th to 18th May 1984. Discussion was given on 18 subjects by 241 participants from 15 countries. Presented papers were 26 invited, 54 oral and 99 poster ones.

1. はじめに

英語の名称は“The 6th International Conference on Plasma Surface Interactions in Controlled Fusion Devices”である。名古屋会議以前には、第1回 Argonne National Laboratory ('74), 第2回 San Francisco ('76), 第3回 Culham Laboratory ('78), 第4回 Garmisch-Partenkirchen ('80), 第5回 Gatlinburg ('82) で行なわれた。第6回の会議が名古屋で行なわれる様に内定したのは第4回の会期中であったと聞いている。プラズマ・表面相互作用に関する研究に対する日本の貢献が評価され、TFTR や JET の運転開始とならんで JT-60 の建設が最終段階にさしかかり、名大プラズマ研の R 計画の進展等、前向きな条件が成熟しつつあることが理由である。

よく知られている様に、トカマク装置によって、核融

Table 1 Subjects in this conference

- (1) Data Requirement
- (2) Large Fusion Devices TFTR, JET, JT-60, MFTF
- (3) Plasma Edge Modelling
- (4) Sputtering and Erosion
- (5) Impurity Effect in RF Heating
- (6) Boundary Plasmas in Tokamaks
- (7) Recycling and Permeation
- (8) Surface Phenomena
- (9) Poster Presentation for Materials and PWI
- (10) Divertor Tokamaks
- (11) Magnetic Confinement Devices other than Tokamak
- (12) Plasma Edge Diagnostics
- (13) High Heat Flux
- (14) Surface Conditioning and Discharge Cleaning
- (15) Poster Presentation for Materials and PWI
- (16) Limiter Experiments
- (17) Limiter Theory and Modelling
- (18) Constructing and Planning Large Devices

合プラズマのパラメーターはローソンの条件に最も近く又着実に近づきつつあり、この事がプラズマ・表面相互作用の問題をきびしく日程にのせている。それと共に会議の質も進展してきた。

名古屋会議への参加国は15ヵ国、参加人員は国内143名、国外98名、計241名であり、発表論文は招待講演26、一般講演のうち口頭発表54、ポスター99で計179であった。討議の議題は Table 1 の通りである。これらの議題の全般について紹介するのは、長すぎて困難であろうし、本誌の読者の興味もうすいと思われるので、独断的に選んだいくつかの議題について大まかに紹介させていただくこととする。

2. 紹介

先ず、議題(4)の Sputtering & Erosion について。現在までにトカマク実施中に表面プローブを挿入し、(必要があれば、時間分解できる様にプローブ面を高速で移動させる)、主として磁力線に沿って運動してきてプローブ面上に降り積る物質を分析することにより、端プラズマ(リミター等の固体壁近くのプラズマ)と壁のかゝわり合いに関する沢山の知識が得られて来た。即ち不純物の発生、熱負荷、プラズマ化学的な強さ、物質のプラズマを介しての移動等の知識である。西独ガルヒング研究所の ASDEX では主放電容器とダイバーター容器(ダイバーターとは、端プラズマ部分を磁力線を変形して外部

に導き、これに沿って外部にでてくる不純物を除去する装置)にプローブを挿入して詳しい観測を行なっている。(E. Tangler, Garching) 又黒鉛は核融合炉壁の一つの候補になっているが、水素プラズマと接した場合化学スパッタリングが大きいという欠陥があるが、不純物(Si, Fe etc)が一定の%値以上にあると、浸食は著しく減少することが報告された(J. Reth 等 Garching)。水化金属に1keV程度エネルギーのArイオンビームを照射し、スパッタされる水素原子をレーザー誘起蛍光散乱法で測定した結果が報告されている(Ph. Mertens 等, Jülich)

議題(6)Boundary Plasmas in Tokamaks 金属表面(ステンレス, インコネル)に水素原子が発生した場合の表面の再結合は、表面に酸化物があると、その強い影響をうける。又低密度入射の場合は2次反応則に従うが、高密度の場合はそれから外れる(A. Robert 等, ORNL)。プラズマから壁への入射パワー密度について、ASDEXで、赤道面におかれた可動カロリメーターとラングミュア探針で測定し、オーム加熱の場合に $50\text{W}\cdot\text{cm}^{-2}$, 2MWの中性粒子入射時に $1.2\text{kW}\cdot\text{cm}^{-2}$ となっている(K. Ertl 等, Garching)。プラズマのRF加熱時に、プラズマと壁との間に形成される電位差は、プラズマ密度、電界強度、周波数及び幾何学的配位に依存し、その値は数KVの桁にまでも達し、不純物の発生や粒子輸送に大きな影響を与える(C. I. Grigoreva 等, Kharkov)。

議題(7)Recycling and Permeation プラズマと表面の相互作用においては、相乗効果が重要な役割を演じ、例えば、反応性イオンの効果、放射損傷、表面改質、温度効果等の個々の過程で支配される。水素取込、放出、不純物放出、浸食等の大きさは、相乗効果によって桁の違う大きさに達する。核融合装置における相乗効果を概観した(J. B. Roberto 等, ORNL & Garching)。SS 304に関する水素のリサイクリングについて、捕捉、再結合、拡散を考慮して調べ、再結合の効果は拡散よりはるかに大きい事が判った(S. Veprek 等, Zurich)。水素同位体、中でもトリチウムの壁を通じてのしみ出しは、環境上重要な問題(Tanabe 等, Osaka Univ.)、表面粗さと不純物の被覆率の影響(T. Namba 等, Tokyo Univ.)、RFプラズマを用いての鉄の薄膜透過(T. Banno 等, Jülich)等の報告がなされた。

議題(8)Surface Phenomena H^+ , He^+ イオン及び電子の同時照射による、相乗効果の報告が行なわれた(M. I. Guseva 等, Kurchatov)。高温の炭素系物質に2~20keVのイオンを打込み、水素の移動がバルク方向よりむしろ、表面の方向に向って起る事を見出した(M.

Braun 等, Stockholm)。名大プラズマ研のR-計画に関連して、アルミニウム、とその合金に水素ビームを打込んだ物質の拡散や表面での再結合が、ERD法で調べられた(N. Sugiyama 等, PPL, Nagoya)。水素の透過に及ぼす影響をIn Situに調べるための装置が建設され、パラジウムについての水素原子と分子の透過についての実験結果が報告された(A. B. Antoniazzi 等, Univ. Toronto)。表面処理及びD. Tの比率調整の基礎となる、Tに強いRGA(残留ガス分析器)の提案がなされ(W. O. Hofer 等, Jülich)、軽イオンのターゲットからの反射の一般式が提出された(K. Morita 等, Nagoya Univ)。

議題(12)Plasma Edge Diagnostics ヘリオトロンE. JIPPT-II及びDoublet IIIにおけるプラズマ・表面相互作用を、プローブへの堆積物質の表面分析(AES, RBS, NRS, SIMS及びTDS)、壁材の照射(SS 304, TiC, SiC等を照射後SAM, XMA及びPIXEで観察)、プラズマ照射による表面の変質(T:C, RBS及びXPSの観察)で調べた(T. Yamashina 等, Hokkaido Univ)。又T-10装置では、リミターの影にプローブを置いて、放電条件の違いや、ECH, ICH(夫々電子及びイオンサイクロトロン共鳴加熱)の影響が組織的に調べられた(H. Wolf 等, Z. E. Berlin)

議題(14)Surface Conditioning and Discharge Cleaning グロー放電洗浄は一般に 10^0Pa 以上の圧力で働き、ターボ分子ポンプとの両立性が悪いが、Jülichで開発されたRG(radiofrequency assisted glow discharge)放電洗浄では 10^{-1}Pa 近くの圧力で働かし、両立性が保証される。現在、TEXTOR(Jülich)及びJET(Joint European Tokamak, Culham)の主な洗浄法はRGによっている。従来の H_2 ガスの他に、油膜の除去に He/O_2 混合ガス、結合の強い酸化物の処理に CH_4 混合ガス使用のRG洗浄過程で表面にカーバイド層が形成され、水素のリサイクリング率を大きく変える事ができる。又温度の上昇が洗浄速度を加速することが指摘されている(J. Winter 等, Jülich)。中国のHT-6Bでは、パルス変調のAC放電及びグロー放電の洗浄速度の比較を行なっている。グロー放電洗浄では炭素の除去が高い効率で行なわれるが、酸素の除去については効率が悪い。パルス変調AC放電では酸素の除去が効率よく行なわれる。両放電洗浄を実施した後のトカマク放電プラズマを分光観察してみると酸素及び炭素の濃度が目立って減っていることが判る(Fu Ji-Kai 等, Hefei)。米国の科学的実証のための装置TFTRにおいては、グロー及びパルス放電の洗浄が行なわれ、Zeff(核融合プラズマは水素同位体を用いるので実効的にイオンが何個にな

っているかを調べ、それが1よりはなれている程汚れている事になる)は、2~3が得られている。使用ガスを変えた場合(H→D等) 過渡の状態を速かに経ることが望ましい。グロー放電を適用してこの切換を速くしようとする試みはうまく行かなかった。速くする方法としては、グロー放電中にリミターにバイアス電圧をかけるか加熱して拡散を高めるのが良いだろうと結論されている(H. F. Dylla 等, PPPL)。核融合装置はステンレス等の金属から、TiC や SiC 等の低原子番号高融点化合物に変わる方向にあるがこの際の放電洗浄として高エネルギーイオンにたよるグロー放電洗浄と、低エネルギー中性原子に頼る ECR(電子サイクロトロン共鳴)の化学スパッタリングの違いを模型実験で調べた。その結果、イオンエネルギーが TiC の場合 130 eV, SiC の場合 80

eV 以下では化学スパッタリングが無視できる事が判り、グロー放電洗浄の適用は注意を要するに反し、ECR 洗浄は安全である事が示された(Y. Sakamoto 等, RIKEN)。

3. 附 記

会期中犬山、日本ラインのバス旅行が行なわれ、その後バンケットが犬山観光ホテルで行なわれた。写真はそのスナップである。尚本会議のシンボルマークは達磨であるが、これは第1回目から10年経ち達磨和尚面壁9年の故事と関係ずけたと聞いている。次の第7回会議(1986)はプリンストンで行なわれる。最後に本会議に当り並々ならぬ努力を傾け成功に導かれた名古屋大学の同僚に、尊敬と感謝の意を表す次第である。



Banquet at Inuyama Kanko Hotel