

平成24年7月23-24日
ダイバータ及びPWI合同研究会
於:筑波大学

新テキサトール協定の進展

テキサトール執行委員会委員
中村幸男、 増崎 貴

テキサトール協定の概要と経過

- IEA Implementing Agreement for a Programme of Research and Development on Plasma-Wall Interaction in TEXTOR (machine oriented and specified to PWI)
- 1977年にEU, US, Canada, Switzerland, Turkeyでスタートし、翌年の1978年に日本が参加。
- 5年ごとに延長され、2013年6月まで継続(36年間)。
- PWI研究で世界をリードしてきた。
- ポンプリミター実験(ALT-I, ALT-II)、Dynamic Ergodic Divertor (DED)を用いた周辺プラズマ制御実験などで多くの成果を挙げた。
- 高Zプラズマ対向材実験による高Z材料研究の活性化。

国際協定の見直し

- 国際エネルギー機関(IEA)では、これまで装置区分で国際協定が作られてきた。
大型トカマク、ポロイダルダイバータ、テキサトール、ステラレータ、STなど
- 物理課題区分による国際協定の見直し論。
- トカマク装置の国際協定(大型トカマク、ポロイダルダイバータ)を一つにまとめる。
- 「トカマク計画協力取り決め」として更新された。
(Implementing Agreement for Co-operation on Tokamak Programmes)
- テキサトール協定はPWIIに関する研究課題で独自に模索。
核装置環境下でのPWII研究(線形プラズマ装置)

トロイダル閉じ込め装置及び線形装置における相補的研究

PSI topics (only) for toroidal devices (tokamaks and stellarators):

- Edge-core coupling
- Impact of magnetic topology on PSI processes
- Scenario integration
- Power and particle exhaust

PSI topics for both toroidal and linear devices:

- Investigation of basic PSI processes (erosion processes, fuel retention)
- Impact of PSI processes on surface morphology
- Development of PSI diagnostics
- physical processes in divertors

PSI topics for dedicated linear devices:

- PSI under extreme conditions not accessible in present day toroidal devices (particle fluxes and fluence, neutron activated materials, Tritium plasmas)

Research on plasma wall interaction facilities for fusion reactors

トロイダル閉じ込め装置及び線形装置における相補的研究

実機でしかできないPSI研究

- ・主プラズマと周辺プラズマのカップリング
- ・磁力線構造のPSIへの効果
- ・運転シナリオ
- ・熱と粒子の排出

実機と直線装置の双方でできるPSI研究

- ・損耗や燃料蓄積などの基礎研究
- ・PSIが表面形状に及ぼす影響
- ・PSIの計測機器
- ・デタッチメントなどダイバータにおける諸物理過程

専用の直線装置を要するPSI研究

- ・稼働中の実機でも得られない極限状況下でのPSI研究
 - 粒子束、フルーエンス、中性子照射効果、トリチウムプラズマなど

プラズマ・壁相互作用実験装置による核融合炉のための研究

線形プラズマ装置におけるPWI研究の特長

- Good access to plasma surface interaction zone, specific and dedicated diagnostics
- Easy exchange of target samples
- Well controlled plasma characteristics, steady-state, high fluence
- High reliability and reduced technical complexity
 - Integration into harsh environment
 - Cost effective
- Special capabilities of open systems and plasma guns to investigate the impact of (transient) high power and particle loads onto plasma facing components

線形プラズマ装置におけるPWI研究の特長

- プラズマ・壁相互作用が起きている場所へのアクセスが容易
- 研究するPSIについて、専用の機器・装置を用意できる
- ターゲット材料の交換が容易
- プラズマを、一定のパラメータを維持して長時間照射可能 高フルーエンス
- 高い信頼性と技術的複雑さが少ない
 - 実機の厳しい環境を部分的に模擬
 - コスト
- 開放端系装置及びプラズマガンは特にtransientな高熱・粒子負荷研究を行いうる

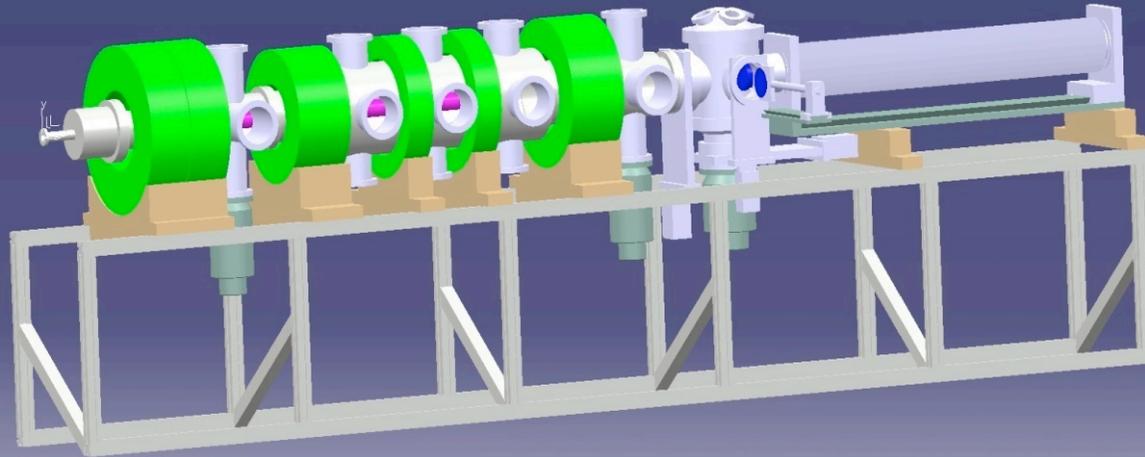
TEC (3極共同研究組織)における統合的PWI研究

	MAGNUM-PSI PILOT-PSI	JULE-PSI (inside Hot Cell)	VISION I (inside T laboratory)
Reactor like divertor conditions (steady state loads)	YES, true “divertor simulator”	NO, but reactor like plasma fluence and ion energies	NO
Reactor like transient heat loads	YES, pulsed plasma source under development	YES, JUDITH (electron beam facility inside Hot Cell)	NO
Tritium	NO	no T- plasma but moderate T handling capabilities	YES
Toxic materials (Be)	NO	YES	YES
Neutron irradiated materials	Simulation of neutron damage by ion beam irradiation planned	YES	Limited to moderately activated samples

ユーリツヒホットセルにおける線形プラズマ装置 によるPWI研究(JULE-PSI)

Linear plasma device (on
the basis of PSI-2)

Target and analysis station
(à la MAGNUM-PSI) 



- Lock system for hot and toxic targets
- Post-mortem characterization after plasma exposure in JULE-PSI
- Post-mortem characterization of PFMs from nuclear devices (JET, ITER, ...)

+ non nuclear twin outside of hot cell

Specifications

low pressure high current
arc source

Heating: cathod (6.5 kW)

$q = 0.1 \text{ MW m}^{-2}$

$n_e = 10^{17} - 10^{20} \text{ m}^{-3}$

T_e up to 20 eV ($T_i \sim 0.5 T_e$
but target biasing possible)

$\Gamma_{\text{ion}} = 10^{21} - 10^{23} \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$

$F = 10^{27} \text{ m}^{-2}$ in 3 h

(steady-state plasma)

P_n up to 0.1 Pa

$B = 0.1 \text{ T}$

$\Delta_{\text{flow channel}} \sim 5\text{-}10 \text{ cm}$

NOT a divertor simulator!

**Operation with Be and
neutron irradiated
materials**

JULE-PSIにおけるプラズマ計測計画

JULE-PSI will be in nuclear environment with limited access, and so the diagnostics

→ Reliability and easy maintenance are necessary

Plasma diagnostics (information on background plasma)

- Optical spectroscopy
- Langmuir probe

In-situ PMI diagnostics

- Optical spectroscopy
- IR thermography
- Quartz microbalance (QMB)

In-vacuo sample analysis

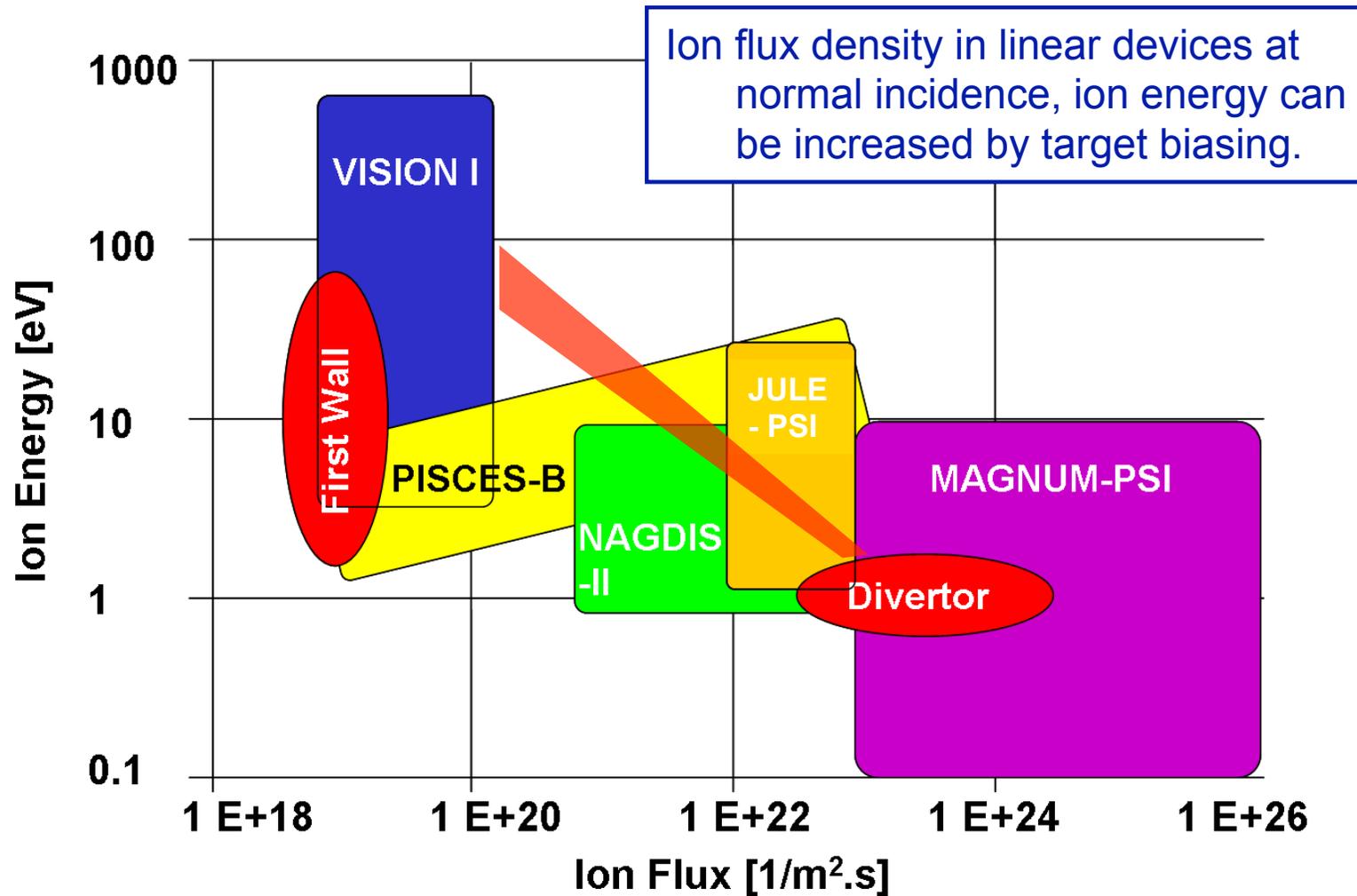
Target station: linear manipulator and surface analysis station with laser-aided analysis methods (LID, LIA, LIBS)

Ex-situ sample analysis

- Thermal desorption spectrometry (TDS) – cold and hot
- SEM, metallography – cold and hot
- Ion beam analyses: NRA, ... – cold only
- SIMS – cold only

線形プラズマ装置における運転領域

Ion Energy vs Ion Flux Density



テキサトール協定の新協定への移行

- ・現在のテキサトール協定は2013年6月末で終了
- ・これまでの執行委員会での議論を踏まえて、新たな実施協定への移行を準備
- ・2012年5月22日にPSI会議場で第67回のテキサトール執行委員会を開催
 - 1) 執行委員会委員の追加(日本: 増崎 貴)
 - 2) TEXTOR装置の運転は2013年で終了予定
 - 3) 新しい実施協定の名前とスコープについて議論

新協定の名前と参加極

実施協定名:

Implementing agreement on the development and research on plasma-wall interaction facilities for fusion reactors

(日本語での呼び名:PWI協定(仮))

参加極:

日本、アメリカ、ヨーロッパ(3極:ドイツ、オランダ、ベルギー)

* アメリカの執行委員会委員が正式に指名されていないのが気がり。

新協定のスコープ

- ✓ プラズマ対向材への高熱粒子束負荷許容量の拡大
 - ✓ 定常運転に向けての第一壁の運転許容時間の拡大
 - ✓ トリチウム及び毒性材料使用環境下でのPWI研究
 - ✓ PWI過程におけるプラズマ対向材の中性子照射の影響評価
 - ✓ 核融合炉における上記運転条件での相乗効果
- * 長時間のタイムスケールでの研究、プラズマ対向材料の開発、エッジプラズマ計測を含めたPWI統合研究、高性能計測技術開発、モデリングコード開発

新協定参加のPWI装置とその特徴

PWI facilities (in operation / <i>under construction</i> / <i>in planning stage</i>)	Special capabilities
NAGDIS II (Nagoya University)	Divertor studies at high densities, detachment studies
GAMMA-10 (U Tsukuba)	Divertor studies in the largest mirror machine world wide
PISCES-B (UCDS)	Be operation, extensive set of post-mortem analysis methods
TPE (Idaho National Lab) <i>PMTS (ORNL)</i>	Tritium plasmas, moderately neutron activated targets <i>High particle and energy flux density, RF heating, reactor relevant divertor conditions, neutron activated targets</i>
<i>VISION I (SCK-CEN, TEC)</i>	<i>Inside Tritium laboratory, Tritium plasma, moderately neutron activated targets</i>
<i>MAGNUM-PSI (FOM, TEC)</i>	<i>High particle and energy flux density, reactor relevant divertor conditions, sophisticated target analysis and exchange chamber</i>
PILOT-PSI (FOM, TEC)	High particle and energy flux density, forerunner of MAGNUM-PSI
<i>JULE-PSI (FZJ, TEC)</i>	<i>Located inside Hot Cell, Be operation, neutron activated targets, sophisticated target analysis and exchange chamber</i>
PSI-2 Jülich (FZJ, TEC)	Forerunner of JULE-PSI, sophisticated target analysis and exchange chamber under fabrication

他の協定との関係

IEA IA “Co-operation on Tokamak Programmes	IEA IA “Nuclear Technology for Fusion Reactors	IEA IA “Fusion Materials	IEA IA “Plasma-Wall Interaction Facilities for Fusion Reactors” (proposed)
<ul style="list-style-type: none"> ➤ ..equilibrium and stability, transport, heating and CD, pedestal physics, fast particles, integrated scenarios, diagnostics, fuelling ➤ Plasma wall interactions and divertor physics (only in tokamaks) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tritium Breeding Blanket, Radiation Shielding & Tritium Processing Systems of Fusion Reactors ➤ Plasma Facing Components for Fusion reactors (emphasis on technology) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Experimentation on Radiating Damage in Fusion Reactors ➤ Fast Flux Neutron Irradiation of Candidate Fusion Breeder Blanket Materials 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Investigation of basic PWI processes (erosion processes, fuel retention) under long pulse conditions ➤ Impact of PWI processes on surface morphology ➤ Development of PWI diagnostics ➤ PWI under extreme conditions (high fluxes and fluencies, Tritium plasmas, neutron activated materials) ➤ physical processes in divertors and edge plasmas

今後の予定

- 新協定の最終合意文書の作成
 - ・参加装置として東大のMAP-IIを提案中
 - ・合意文書の詳細検討
- IEAにテキサトール協定の見直しと更新の手続き
 - ・2013年6月末までに終了予定
- 2013年7月から新協定による活動開始
 - ・すでに実施されているPMIFワークショップの開催など

(PMIF: International Workshop on Plasma Material Interaction

Facilities for Fusion Research)