

# 原子力機構における 原子分子データ活動

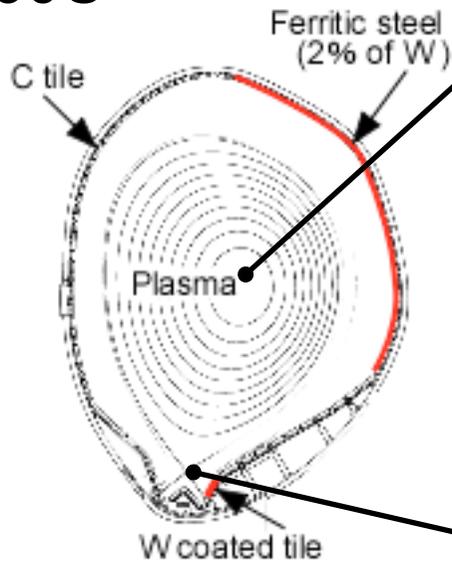
仲野友英  
那珂核融合研究所

# 核融合研究での原子分子データのニーズ

Compilation, evaluation and production of

- Spectroscopic data for heavy atoms ( W, Ar, etc. )
- Cross sections for important collisions in cold divertor plasmas

JT-60U



Main plasma  
 $T = 1 \sim 20 \text{ keV}$

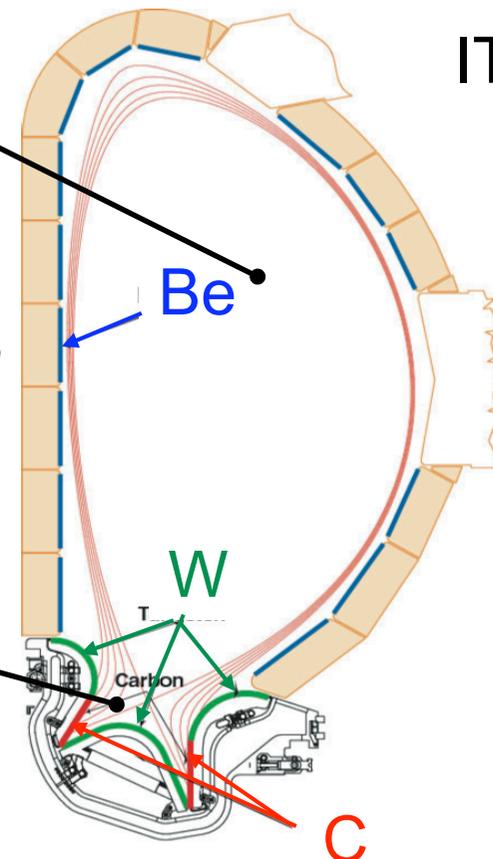
$n_w/n_e < 0.002\%$   
(radiation loss)

*Ar enhances radiation*

Divertor plasma  
 $T = 0.1 \sim 200 \text{ eV}$

*W, D(T), He, Be, C, D(T)<sub>2</sub>, C<sub>x</sub>D(T)<sub>y</sub> process*

ITER



# 核融合プラズマ診断における原子分子データのニーズ

## 1-1. 高温プラズマでの高電離タングステンイオンの分光診断

核融合研究開発の観点から、タングステンのプラズマ適合試験(タングステンの耐久性・発生・輸送・堆積)は緊急かつ重要な研究対象。

原子物理学の観点から、タングステンの多価イオン研究は未開拓で物理的にも興味深い研究対象。

⇒**W<sup>60+</sup>スペクトル線の同定に成功**。委託調査。

**スペクトル線データベースなどの拡充などがITER時代の研究に欠かせない**

## 1-2. 低温周辺プラズマにおける炭化水素の解離・発光過程

低温(電子温度10eV以下)では、モデル計算と測定値の系統的な不一致

電荷移行過程 ( $\text{CH}_4 + \text{H}^{++} \Rightarrow \text{CH}_4^{++} + \text{H}$ )

解離性再結合過程 ( $\text{CH}_4^+ + \text{e}^- \Rightarrow \text{CH}_3 + \text{H}$ )

CH(X $\Rightarrow$ A)励起断面積の検討が必要

( $\text{CH}_2^+ + \text{e}^- \Rightarrow \text{CH}(\text{A}) + \text{H}$ )などの過程を考慮すべき

**炭化水素堆積量の評価 $\Rightarrow$ 容器内T蓄積量の予測**

(ITERの様に安全上の理由から容器内T量が制限されている装置ではきわめて重要な予測)

(発生量は委託調査)

# 核融合プラズマ診断における原子分子データのニーズ

1-3. 加熱用中性粒子ビームのイオン源における負イオン輸送過程  
H<sup>-</sup>の輸送過程の理解にはH<sup>0</sup> および H<sup>+</sup> との弾性衝突断面積が必要

同位体に対するデータニーズは核融合分野以外でほとんど無い

D<sub>2</sub>, T<sub>2</sub>, DT, D<sub>3</sub><sup>+</sup>, T<sub>3</sub><sup>+</sup>, D<sub>2</sub>T<sup>+</sup>, ...

同位体効果は電子励起には小さくても、振動・回転励起には大きい

(H<sub>2</sub>については励起状態間の衝突・放射過程を含んだモデルが整備進行中。)

⇒委託調査で理論的に生産

•炭化水素について励起状態間の衝突・放射過程を含んだモデルは存在しない。  
(すべての炭化水素・ラジカルは基底状態にあるとした電離・解離モデルのみ)

•低温プラズマでの水素(励起状態含む)と軽元素多価イオン(C, Be)の電荷移行過程はプラズマ診断に直結する重要なデータ

⇒委託調査で理論的に生産

•高電離重不純物イオン(W, Xe, など)の電離・再結合速度係数は30年前のデータ  
\*がいまだに主流。測定との不一致も指摘されているD.E.Post et al ADNDT 20 (1977) 397

# 原子力機構における原子分子データ活動

体制：仲野、小関（那珂研、プラズマ設計グループ）

左高（原科研、研究炉加速器管理部）

佐々木、森林（関西研）、旗野（先端基礎研）

## 1) 核融合分野での原子分子データ活動

- JT-60実験・解析における計測、プラズマ診断、プラズマ壁相互作用研究、シミュレーション研究、中性粒子ビームイオン源開発
- 萌芽研究「高電離タングステンイオンの…」を実施
- 委託調査による核融合で求められるデータベースの構築（6件）
- ITERブローダーアプローチ計画のサテライトトカマク（JT-60SA）で位置付を明記

# 原子力機構における原子分子データ活動（続）

## 2) 原子分子活動の連携

- 原子分子研究会の開催（年1回）
- 国内外での研究会：核融合研、物理学会
- NPO法人原子分子データ協会（仮称）
- IAEAデータセンターネットワーク会合
- IAEA IFRC原子分子データ小委員会
- ICAMDATA2008 (佐々木、仲野)

## 3) JAEAにおける原子分子研究活動の構築

- 先端基礎研究（原科研）、光量子研究（関西研）、等と手を結んだ横断的研究グループの組織化
  - 先端基礎研究センターとの連携（旗野センター長）、JAEA内での原子分子研究活動・議論
    - ⇒センター内に原子分子研究グループを設置予定（センターでの合意）
- 原子物理学的研究を行うためのグループであり、核融合研究のためのサポートグループではない

# IAEA 原子分子データユニットの活動

- データセンターネットワーク会合 (DCN) 1回／2年  
最近2年間の世界のデータセンターでの活動報告  
各国データセンターより1名+IAEAから2名、合計14名  
各国データセンターの活動方針の議論  
データの評価方法(NISTのみ評価している)、  
交換方法(XMLを用い、試験的にいくつかの研究所間でデータ交換)、  
収集の優先度([http://www-amdis.iaea.org/DCN/fusion\\_data.php](http://www-amdis.iaea.org/DCN/fusion_data.php), ITER を意識した優先度 : W,Be,Ar,H2など)

# IAEA 原子分子データユニットの活動

- IFRC 原子分子データ小委員会 1回/2年

最近2年間の原子分子データユニットの活動内容を審議し、  
今後2年間の活動の基本方針について勧告を行うための会合  
各国より1名から2名、合計12名の委員

整備計画研究（CRP）の実施勧告=>報告書（APID、IAEAホームページよりダウンロードできる）をまとめて完了

ダスト（微粒子生成のメカニズム）

$H_3^+$ 振動励起状態からの解離性再結合断面積データ収集

高電離タングステンイオンのスペクトルおよび衝突データ収集

水素同位体密度測定のためのデータ収集

混合材料（Be+Wなど）の物性についてのデータ収集

# オンラインコードの整備

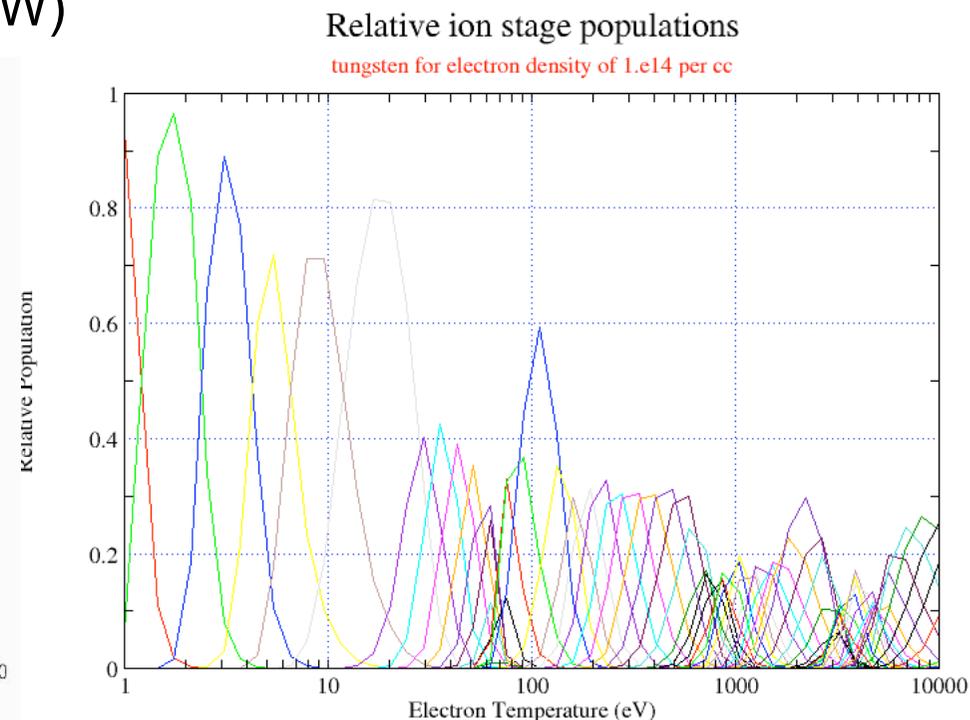
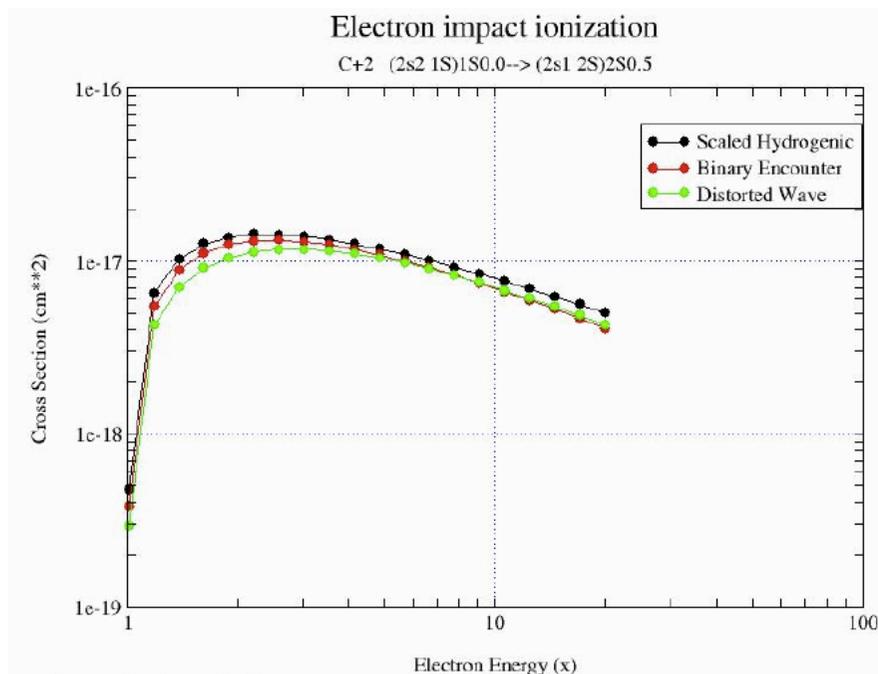
- IAEA原子分子データユニット

WWW上で実行可能（一部ユーザー登録制）

原子構造計算プログラム（LANLのコード、左下図）

イオン衝突断面積

電離・再結合⇒電離平衡でのイオンバランス(右下図)、放射パワーなど（Ne,Si,Ar,Ti,Fe,W）



# オンラインコードの整備

- NIST

WWW上で実行可能（一部ユーザー登録制）

原子構造計算プログラム（FLYCHK）

グロトリアン図がオンラインで表示

電離・再結合⇒電離平衡でのイオンバランス、放射パワーなど

データベースだけでなく、データベース中のデータを用いたモデル計算が可能。また、データベースに含まれないデータはオンラインコードで計算可能。

⇒オンラインデータベースの新しい形態、潮流

# ADAS(Atomic Data& Analysis Structure)

- 核融合研究分野では標準となりつつある、原子分子データと解析コード群 (<http://www.adas.ac.uk/>)
- ~50万円/1ライセンス (1年) で契約
- 2つの新しいブランチ

Open-ADAS:データと解析コードのほとんどをwwwで公開  
(ユーザー登録制、<http://open.adas.ac.uk/>)

ADAS-EU: European Commission より約1億円 (4年間) の補助(<http://www.adas-fusion.eu>)

- 目的はヨーロッパ中の核融合実験設備でのプラズマ計測・モデリングにおけるA&Mデータの実装、基礎・応用データのデータベース管理、および、基礎A&Mデータの計算と測定に促進。既設装置でのデータ解析、**ITERへの準備**。
- 重元素分光、モデリングBeam-aided CX measurement、ビーム減衰、(**ITERを意識した重点項目**)
- ポスト：タングステン研究：3.5年 (ガルヒン)、ITER: 1.5+2.5年 (ユーリッヒ=>カダラッシュ)