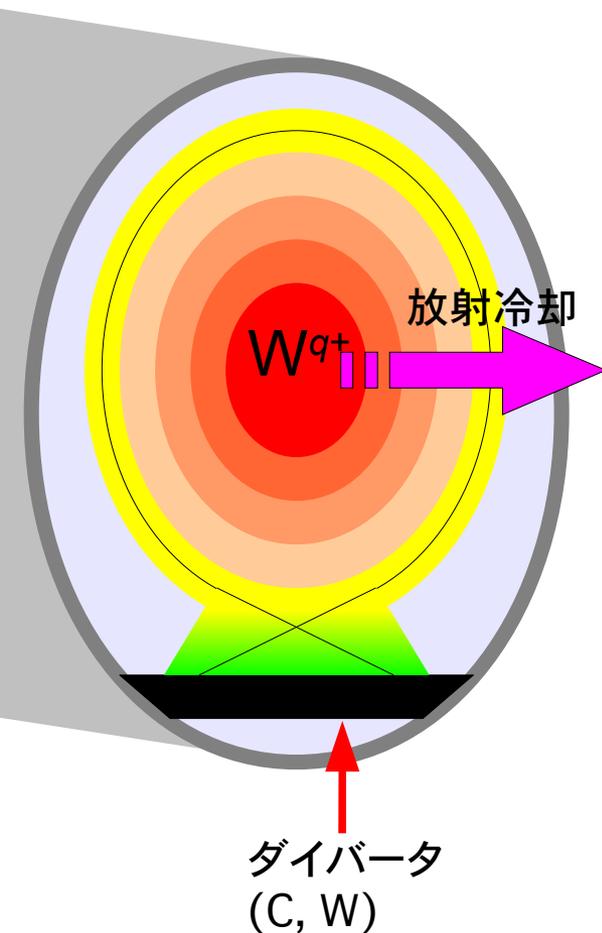


高電離タングステンイオンの 発光スペクトルの解析

柳林潤, 仲野友英*, 岩前敦*, 久保博孝*

京都大学大学院工学研究科
*日本原子力研究開発機構



- タングステンはITERのダイバータの一部に使用される予定である

メリット

- 融点が高い (3400°C)
- スパッタリングによる損耗が少ない
- 水素の共堆積が少ない

デメリット

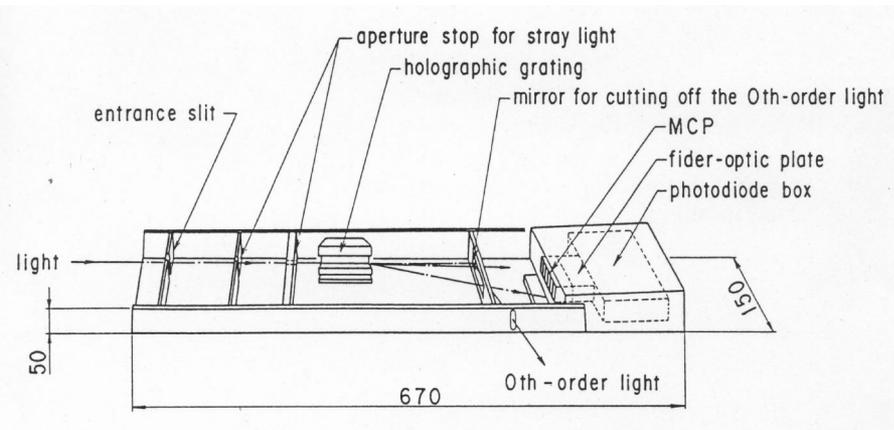
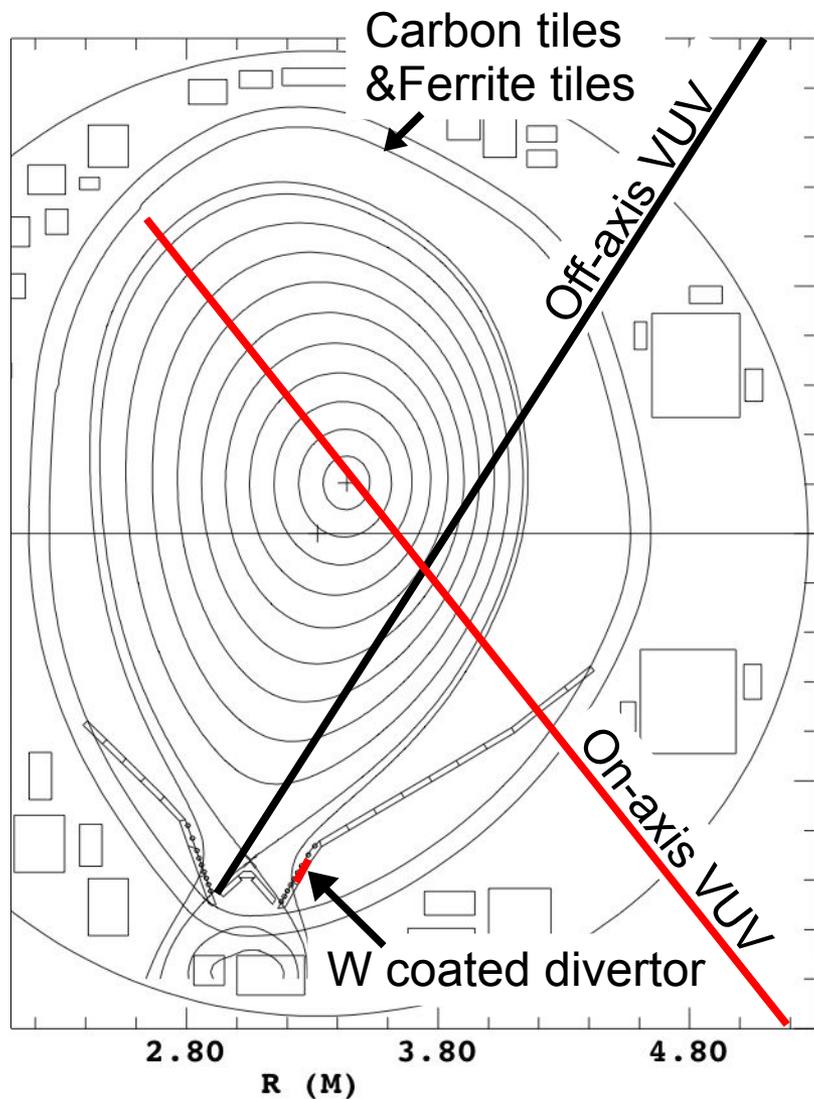
- 炉心プラズマにおいても完全電離しない
- 線放射による冷却効果が強い
- 許容混入率は 10^{-4} 程度

- タングステンイオンの発光スペクトルを観測して、混入の仕組みを調べる研究が進められている

- 既存のトカマクプラズマ : $\sim W^{50+}$ @ $T_e \sim 5$ keV

ITER : $\sim W^{64+}$ @ $T_e \sim 20$ keV (予想)

=> JT-60Uの高温プラズマ(1. $T_e \sim 8$ keV 2. $T_e \sim 13$ keV)で生成される高電離タングステンイオンの発光スペクトルを観測・解析する



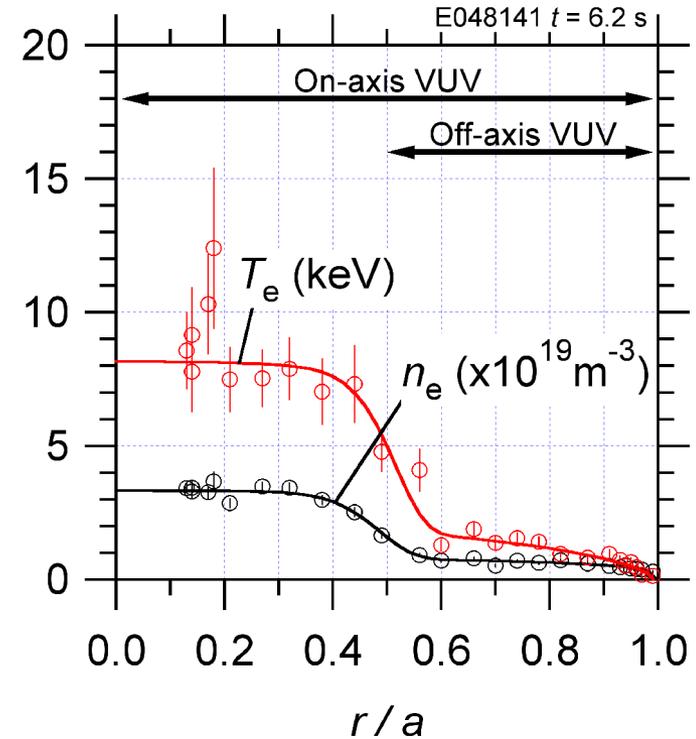
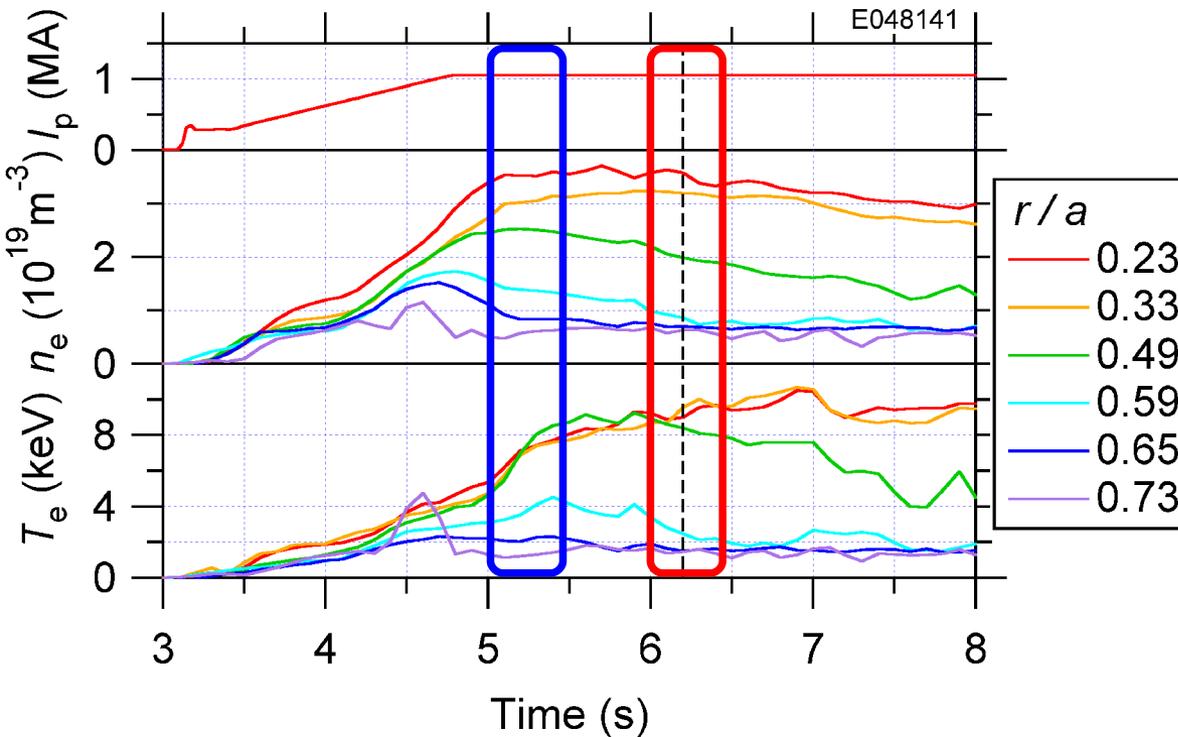
2視線観測

- On-axis : プラズマ中心を通る視線
- Off-axis : プラズマ周辺 ($r/a > 0.5$) を通る視線

平面結像型斜入射分光器

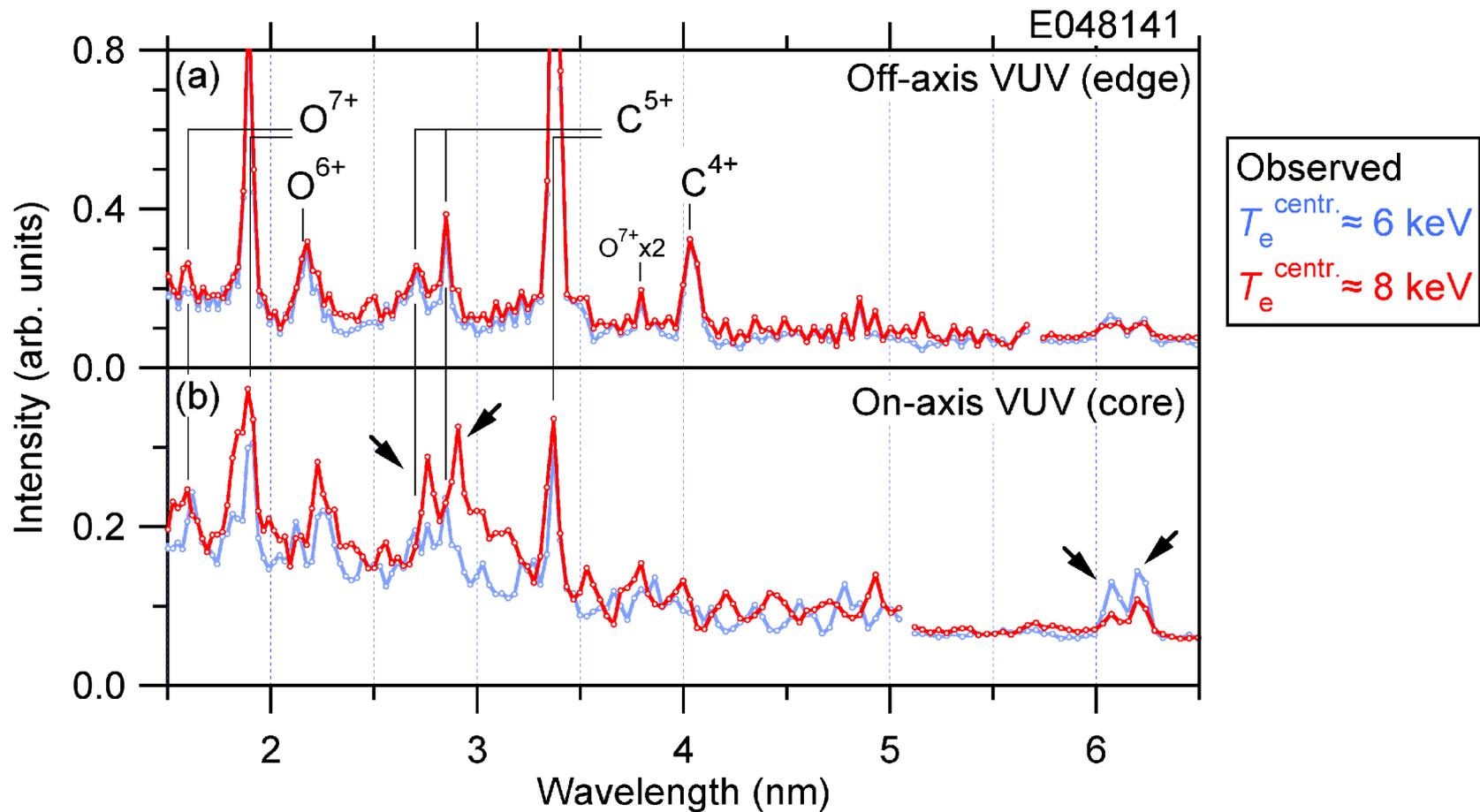
- 入射角 : 89°
- 波長域 : 0.5 - 40 nm
- 波長分解能 : 0.01 nm @ 5 nm
- 時間分解能 : 20 ms

実験(1) 電子密度・温度



- 放電開始($t = 3.0 \text{ s}$)から約3秒で $n_e \sim 3 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$ 、 $T_e \sim 8 \text{ keV}$ まで上昇
- 内部輸送障壁($r/a \sim 0.5$)の内側では n_e 、 T_e はほぼ一定
- $T_e \sim 6 \text{ keV} @ 5.0 \text{ s}$ と $T_e \sim 8 \text{ keV} @ 6.0 \text{ s}$ のスペクトルを比較

実験(1) 観測スペクトル



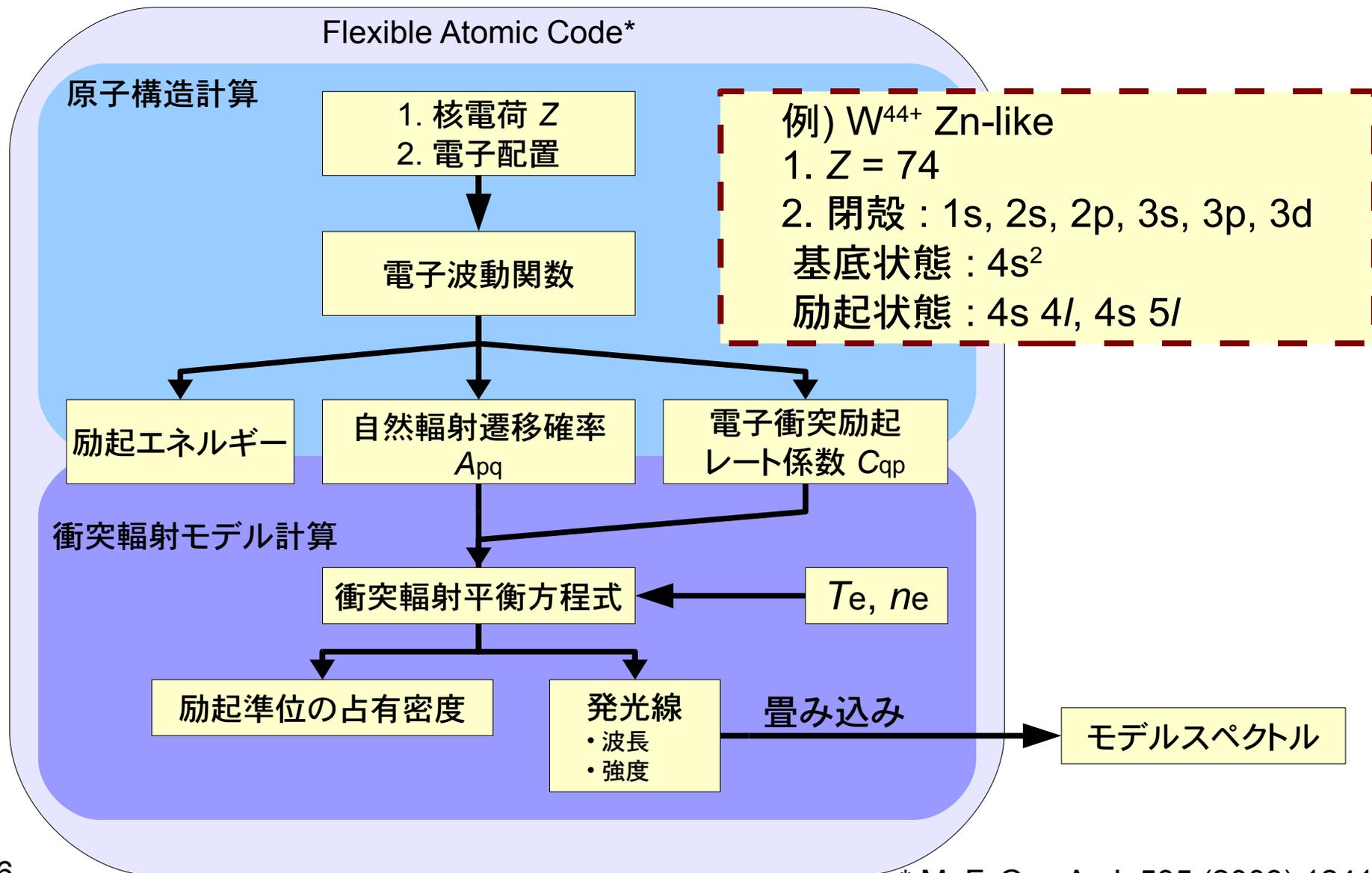
2.8 nm 付近の発光

- 中心の視線でのみ観測
- 温度上昇に伴い強度が上昇

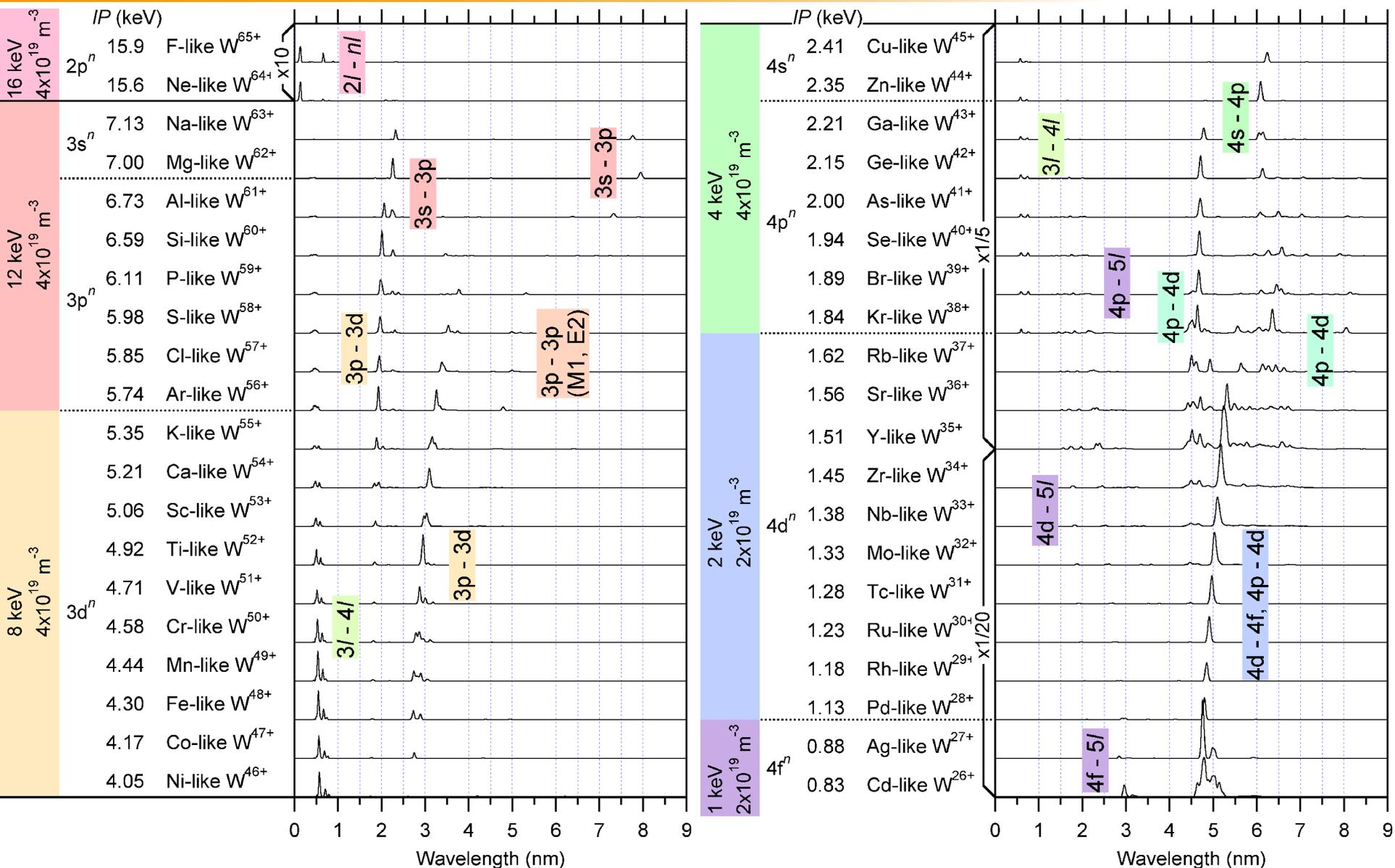
6.2 nm 付近の発光

- 中心・周辺の両視線で観測
- 温度上昇に伴い強度が低下

Wイオンのスペクトルのモデリング

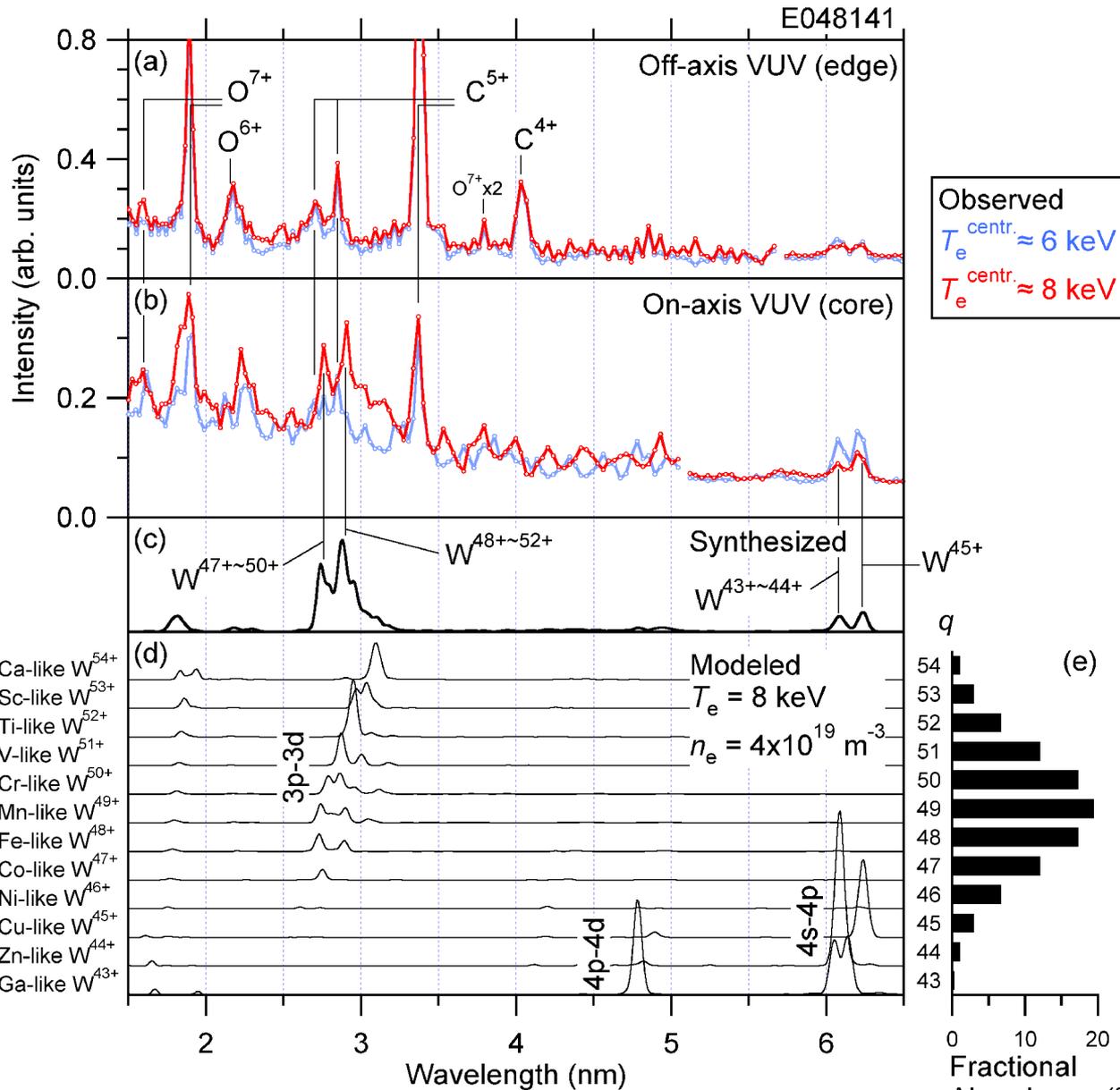


Wイオンのモデルスペクトル



7 • 真空紫外領域に $\Delta n = 0$ 遷移のスペクトルが予想される

実験(1) スペクトルの再現



- ガウス関数型の存在比率を仮定
- 各イオンのスペクトルに存在比率を掛けて合成
- $\lambda \sim 2.8 \text{ nm}$:
47価~52価の3p-3d遷移
- $\lambda \sim 6.2 \text{ nm}$:
43価~45価の4s-4p遷移
- 強度の変化は電子温度の上昇に伴い電離が進行したためと解釈できる

- 高電離タングステンイオン($W^{26+} \sim W^{65+}$)の衝突輻射モデルに基づく発光スペクトルをFlexible Atomic Codeを用いて計算した
- ガウス関数型のイオンの価数分布を仮定して合成したモデルスペクトルは、JT-60Uの高温プラズマ($T_e \sim 8 \text{ keV}$ および 13 keV)で観測された真空紫外スペクトルをよく説明する

- 観測されたスペクトル

| 波長 | 電離段階 | 遷移 |
|--------|------------------------|-------|
| 2.8 nm | $W^{47+} \sim W^{52+}$ | 3p-3d |
| 2.0 nm | $W^{55+} \sim W^{61+}$ | 3p-3d |
| 2.3 nm | $W^{60+} \sim W^{63+}$ | 3s-3p |

- ITERの高温プラズマ($T_e > 10 \text{ keV}$)においては、今回観測された3p-3d, 3s-3p遷移のスペクトルを観測することが、タングステンイオンの混入量を診断する上で重要であると考えられる