



JET-ILW関連研究

芦川直子(核融合研), 朝倉伸幸(JAEA)

2014.8.1 @ サブクラスター合同研究会

目的と計画（1）

BA IFERC活動(原型炉R&Dおよび原型炉設計DDA)を利用して、「放射化管理区域」で「ベリリウム」・「トリチウム」の取り扱い可能な青森研究センターR&D施設において、JET-ILW実験(2012)でプラズマ照射(主に重水素放電)が行われたVPS-WダイバータタイルとBe第一壁タイルのサンプルを分析し、ITERの運転およびDemo R&D・設計に必要な知見を得る。

分析データを活用し、ITERおよびDemo炉でのトリチウム蓄積や対向材の損耗・堆積およびダスト生成などのモデリングも行いたいと考えている。

JET施設においてサンプルを切り出し、六ヶ所・Demo R&D棟の放射線管理区域へ輸送し、日本の研究者が分析を行う予定。

- ・BAに基づくEU-JAEA協定書
- ・JAEA・六ヶ所の担当者らが対応
- ・日本の参加者は、「広いアプローチ(BA)の原型炉設計及びR&Dに係る共同研究」枠で参画

目的と計画(2)

- (i) 水素同位体リテンション+トリチウム分析:
JET-ILWにおけるベリリウム(第一壁)およびタンクステン(ダイバータ)材表面の水素同位体蓄積量を評価し、蓄積機構を理解する
- (ii) ダイバータ表面の(Be/W)混合層およびプラズマ照射により溶融/micro-crack/ morphology 化した対向材の組成・組織・表面状態分析
- (iii) JET MkII-HDおよびJET-ILW実験後に容器内から採取されたダスト(C・W・Beおよびそれらの混合)の形状、組成、成長構造などを上記の分析装置やFIB切断などを使用して分析

JET-ILW 共同研究に関する経緯 (2013)



- 2012/10 Research was proposed from EU (JET) at BA IFERC SC
-> Contact persons were decided: JA-Yamanishi (T-group leader) and Asakura, EU-Coad (EFDA-JET Task Force Fusion Technology (TFFT) leader)
- 2013/2 JET tile analysis research plan was summarized as a high-priority research after BA contingency (2014-2016)
- 2013/4 1st TV meeting between University/NIFS group and JAEA
- 2013/5 Short meeting in PFMC15 (May 14-17 Jülich): Coad, Ueda, Hatano
- 2013/6 2nd TV meeting between University/NIFS group and JAEA
- 2013/8 2013 BA-R&D (tritium) collaboration (JAEA and Univ. group) : research plan and preparation. Mashuzaki (NIFS) coordinated groups of NIFS and 9 universities.
- 2013/9 Research plan was revised (Dust and PFCs&Hydrogen-isotope retention)
- 2013/10 Hatano visited JET (information of tile process and IP study)
- 2013/11 Preparation for dust transportation by A. Widdowson and C. Ayres (Asakura): Type-A container & transport, documents, schedule
1st meeting of University/NIFS in Rokkasho: R&D facility tour and analysis plan



JET-ILW 共同研究に関する経緯 (2014)

- 2014/1 2nd meeting in Rokkasho : analysis device test (SEM, TEM, FIB), and discussion of dust container/maintenance in Rokkasho
- 2014/3 **Explanation of Analysis plan, Transportation process (Asakura in JET)**
2014 BA-R&D (tritium) collaborations (JAEA and Univ. group) :
three plans are proposed by Ashikawa, Mashuzaki, Tokitani (NIFS) 
- 2014/6 **M.Robe and N.Bekris visit in Rokkasho and Discussion of analysis plan, transportation of Dust and tiles: Ashikawa, Asakura, Yamanishi, Nishitani** 
- 2014/7 Agreement of revised Procurement Agreement, including JET-tile research, with F4E, JAEA and SC chair.
**Final exchange of documentations for dust transportation
(start transportation on Aug. 1)** 

JETの送付予定対象物

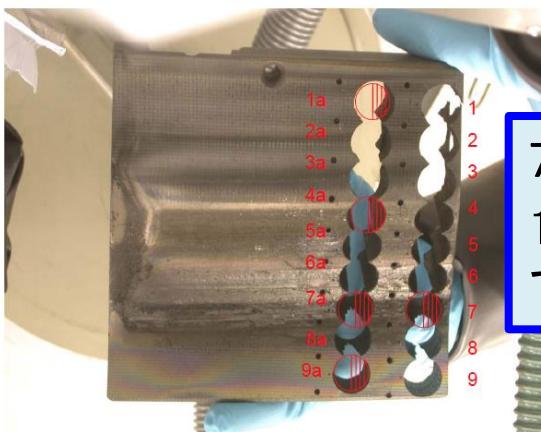
第一壁タイル対向材の表面分析とトリチウム蓄積の研究

7箇所の第一壁Beタイルから試料を切断(現地でEU担当)
試料サイズは11x11mm, t3-5



浮遊ダストの発生・堆積、放射化およびトリチウム蓄積の評価

JET MkII-HDの終了後、ダイバータで収集された
炭素ダスト(100g程度)の分析から開始
形状、構造、材質の分析が可能
⇒JETで収集したダストの分析手法を確立
⇒JET-ILWでの金属ダストの分析を予定



タンゲステンダイバータの表面分析、 堆積層、トリチウム蓄積の研究

7箇所のVPS-W CFCタイルを直徑
17mmにくりぬき試料にする(現地
でEU担当)

IFERC DEMO R&D 棟・放射化管理区域



Laboratories for testing and characterization of irradiated materials and tritium.

RI Experimental Room

- 370 GBq/hood for development of tritium accountancy technology, basic tritium safety research and tritium durability test

RI-1	TG/DTA-Mass	Raman & Thermo-Mass Photo
RI-2	Tritium monitor bed	Thorium/Cobalt bed
RI-3	Tritium removal system	Catalytic oxidation + thermal laser adsorption removal

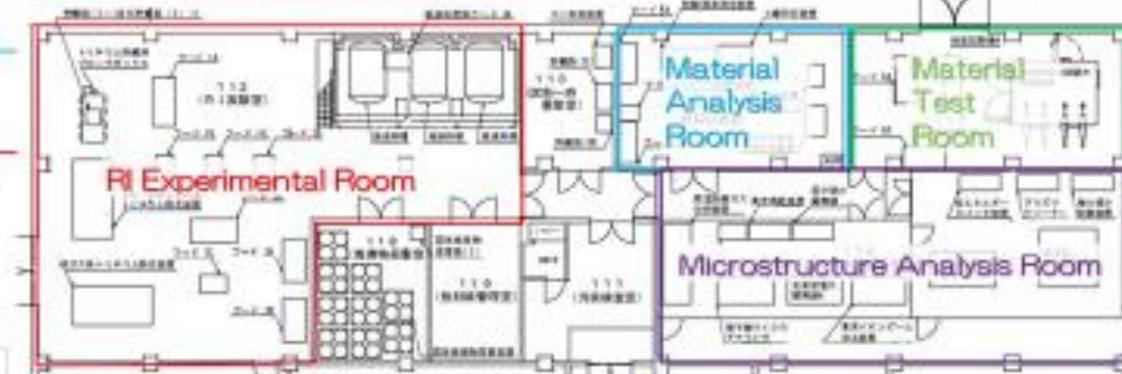
Tritium removal system



Material Analysis Room

- Chemical analyses, structural identification by X-ray

RS-1	XRD	ICP	ICP-Mass
RS-2			Riken Ebara Optima 7000DV
RS-3	Microwave sample preparation system		Riken Ebara ELAN 6500-i
RS-4	Oscilloscope		ULTRACOR LCR
RS-5	XRD		Rigaku RHT2500V 118kW



Microstructure Analysis Room

- High-precision specimen prep. for micro/nano structural observations
- High-resolution micro/nano-structural observations
- Nano-scale surface analyses
- Nano-scale mechanical test

FM-1	Field emission electron microscope (FE-SEM)	JEOL JSM-3100F
FM-2	Focused ion beam (FIB)	SOI
FM-3	Precise cut fixture (FCM) system	HITACHI FB-2100
FM-4	Field emission electron microscope (FE-SEM)	Hitachi UHR-7000
FM-5	Field emission electron probe microscope (FE-EPMA)	JEOL JXA 8530P
FM-6	Micro-Vibratory	EDTA/EDP-1100S
FM-7	Atomic force microscope (AFM)	Kyowa KAH-9000, KAH-10
FM-8	Laser microscope (LMS)	HITACHI SENSITIVE MILL V-B-H
FM-9	Carbon coater	JEOL JBX-570
FM-10	Plasma cleaner	MCWAFF 090-Cu Ltd, PC2000-G
FM-11	Sample holder extraction system	JEOL JDS-050F
FM-12	Insight plate	DT4005, JEOL V400
FM-13	Thermal desorption spectrometer (TDS)	TSD
FM-14	Laser microscope	LOKA LOM1000

Material Test Room

- Mechanical test and fracture surface observation using irradiated materials
- Sample prep. (polish and cut) for RI samples

RS-1	Scanning electron microscope (SEM)	Korean VI-8800
RS-2	Fracture test (load frame)	Instron, ElectroPlus 550300
RS-3	Video microscope	Korean VI-01-1200
RS-4	Vickers hardness tester	Mitsubshi Akr-500
RS-5	Universal test machine	Shimadzu AG-120ADP
RS-6	Digital 3D correlation system	Correlated Solutions, VIC-3D
RS-7	Sonic resonance system	Lemmens NV, Grindologic
RS-8	Electrostatic moving apparatus	Stevens Tenstep-S
RS-9	Low-speed precision saw	GUTHIER Hobie 1000
RS-10	Constant potential electrolytic etching system	Fukuda Scientific Company, Speed anodizer PV-1500



JAEA, NIFS, 8大学による共同研究

Yamanishi and Asakura (JAEA IFERC, Rokkasho),
Isobe, Hayashi, Nakamura (JAEA Tritium-group, Tokai),
Masuzaki, Ashikawa, Tokitani, Sakamoto (NIFS),
Munakata (Akita U.),
Oya, Okuno (Shizuoka U.)
Hatano, Torikai (Toyama U.),
Ueda (Osaka U.),
Miyamoto (Shimane U.),
Tokunaga, Otsuka (Kyushu U.),
and Graduate students



JET ダスト分析

JET ダスト分析の目的

タイルに比べて、微小量、微細であるため、分析に工夫が必要。

- ・ILW運転時のダストの特性(C, W, Be)
 - Wダストに関する分析はASDEXで実施されたが、はWが主要な組成であるダストが多数あり、混在したダストの評価は行っていない
 - JT-60Uでは、炭素ダストにWが微量含まれる程度
 - Beの評価、実機としては初めて(?)
- ・ILWダストの水素同位体(トリチウムを含む)保持特性の評価。放射化した微小・浮遊物体としての問題
 - 特にトリチウムに着目し、複数の手法にてダスト(微量物質)からの抽出を試みる
 - TDSによる水素同位体保持量の評価も実施

現状(ダスト研究関係者に10月12日配付):

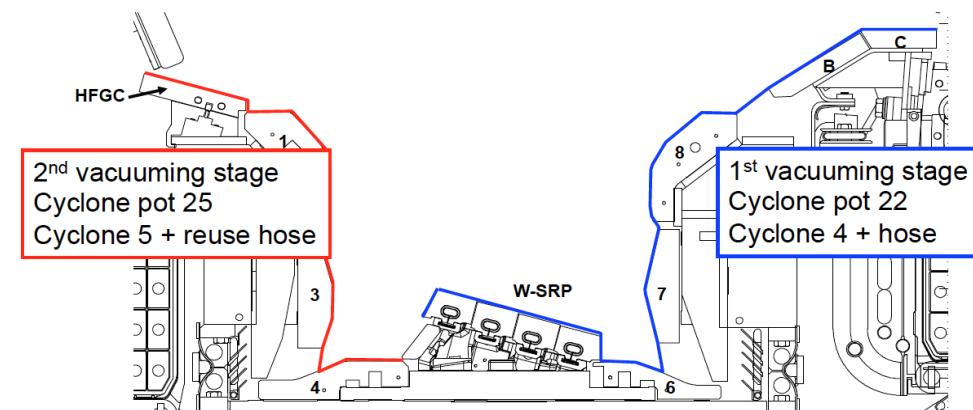
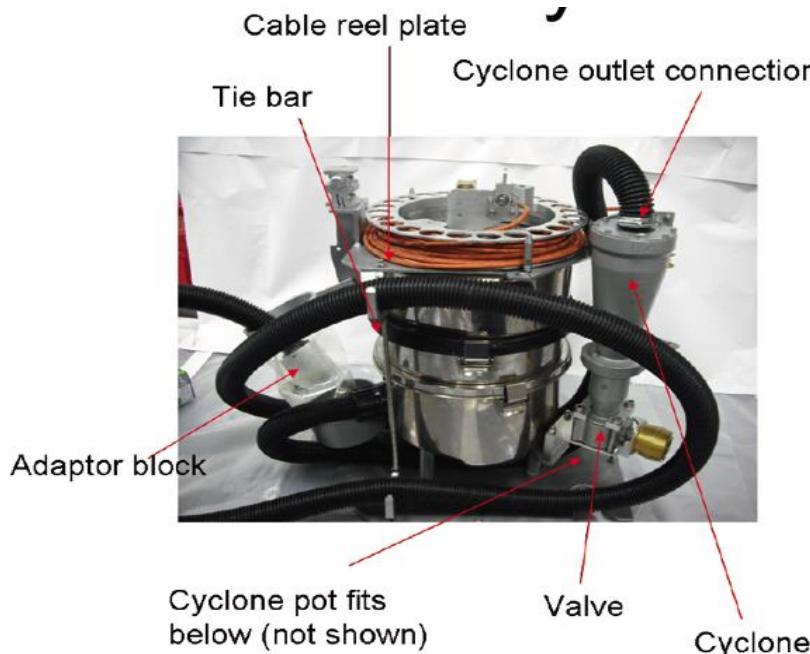
(1)ダスト分析の提案が評価され、すべてのJET-ILWダスト、
およびJET-MKII-HDの炭素ダストの残りを輸送してもらえることになった

JET-ILWダスト:

pot22(外側): 56.3MBq/d from 0.27g \rightarrow 1.446GBq/g \rightarrow 0.004mgT/g(0.001mgT)

pot22(内側): 589.2MBq/d from 0.77g \rightarrow 5.380GBq/g \rightarrow 0.015mgT/g(0.012mgT)

注:「ダスト」は収集粒子のみで無く、plastic sheet端やfluff(綿状)も含まれる



2 vacuuming stages: Red = inner divertor, Blue = outer divertor
360° around divertor, excluding Module 2 and Module 14 where tiles for analysis are located (i.e. only 22/24th of divertor vacuumed)

JETにおけるダスト採取量

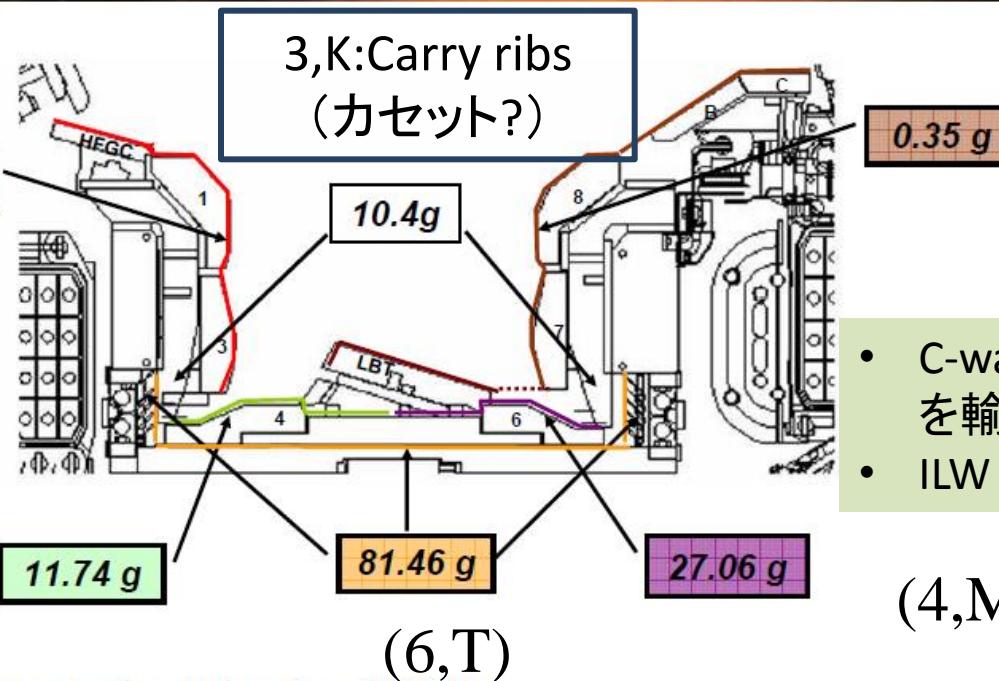
例:2,B
場所に関する番号および記号



(2,B)

ガラスの瓶で保管

(5)



(1)

- C-wall: 一部のダストを輸送
- ILW : 全てのダスト

(4,M)

量(g)＼場所	2	5	3	6	4	1
Dusts in C-wall 採取量(2009)	90.26	11.74	81.46	81.46	27.06	0.35
Dust in C-wall 瓶・保管量(2009)	6.36	---	3	6.5	4.61	---
Dust in ILW 瓶・保管量(2010)	0.26				1.4	12

六ヶ所におけるダスト分析計画

- 6/5にEU側担当者(N.Bekris氏, M.Rubel氏)が六ヶ所を訪問し、実施内容について議論

	Amounts	Morphology /sizes	Atomic concentrations (C, W, Be, other)	Total Retention (H/D)	T retention	Cross-section (FIB): Carbon
	Microscope /microbalance	SEM	EDX, EPMA, XPS	TDS	TIPT, scintillation, TMLVC	FIB/TEM
EU	Yes	Yes	No.	---	---	No
JA	Yes	Yes	Yes (2015-) *1	Yes *2	Yes	Yes

ダスト粒子からのトリチウム検出

Total Amount		Comments
Liquid Scintillation Counting (LSC) technique	Quantitative	>0.1 Bq Short term measurement
Conventional gas flow method	Quantitative (high quality)	Large amount only
Autoclave or acid hydrolysis method	Quantitative (high quality)	
Tritium Imaging Plate (TIP) technique	Qualitative	

Spatial distribution	
Tritium Imaging Plate (TIP) Technique	Spatial resolution (100 µm – 1mm) *Optimization is needed

Measurement of tritium in tritium contaminated materials

❖ Autoclave or acid hydrolysis method

Tritium contaminated materials, such metal, alloy and dust, are introduced in an autoclave vessel with small amount of water or acid solutions. Specimens are heated at 473K in a thermostat. Tritium in specimens are moved to water or tritium contaminated materials are dissolved into acid together with tritium. Tritium in liquids are measured by liquid scintillation counter.

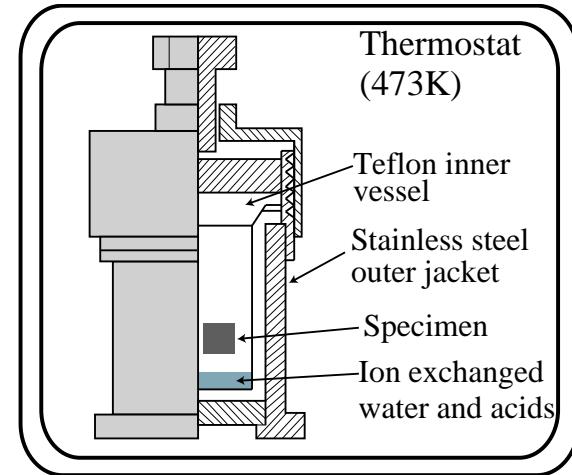
** This method has proposed [to measure tritium in JT-60 vacuum vessel](#) to check the clearance level of tritium in the vessel.

Advantage

1. This method [can detect very small amount of tritium less 10 Bq per one specimen in the vessel.](#)

Disadvantages

1. If tritium amount in materials is very much, one must not measure the tritium amount using this method. Because it is very danger to use the tritium water under high pressure condition.



The vessel is designed for a maximum pressure of 15 MPa and maximum temperature of 500 K.

Measurement of tritium in tritium contaminated materials

❖ Conventional gas flow method

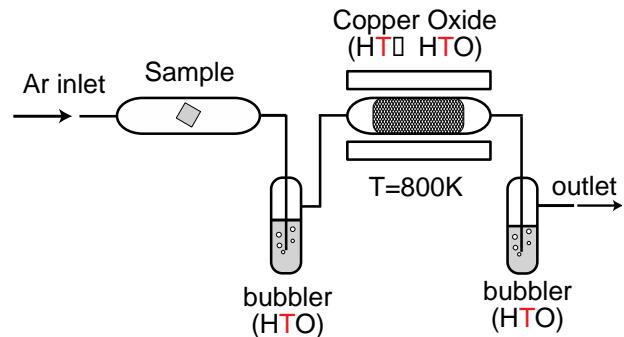
Tritium contaminated materials are placed in an quartz tube and heated at up to 1073 K. Tritium in specimens are moved to water in water bubbler. Tritium in water are measured by liquid scintillation counter.

Advantage

1. This method **can detect large amount of tritium** in specimens.
2. It is not need the high pressure condition.

Disadvantages

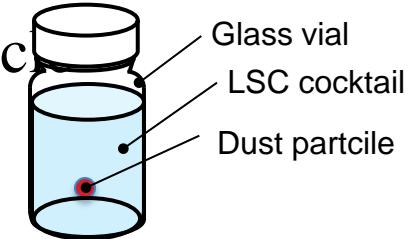
1. This method can not detect very small amount of tritium in the specimen.



Liquid Scintillation Counting (LSC) technique

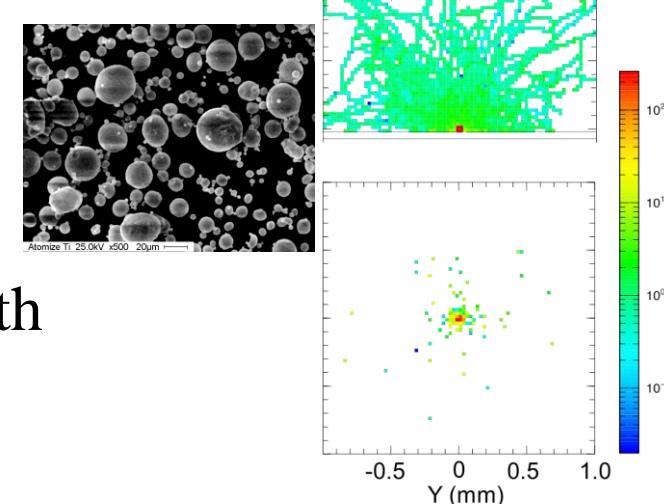
> 0.1 Bq (Spectrum analysis may be necessarily if several isotopes were included in the dust particle)

- Monitoring of tritium release from one dust particle into the LSC cocktail @ RT
- Acid dissolution of the dust particles
- Measurement of total amount of tritium in the dust particle



Tritium Imaging Plate (TIP) technique

- SEM observation of the dust particles
- Shape, elemental contents in the dust particles and their distribution



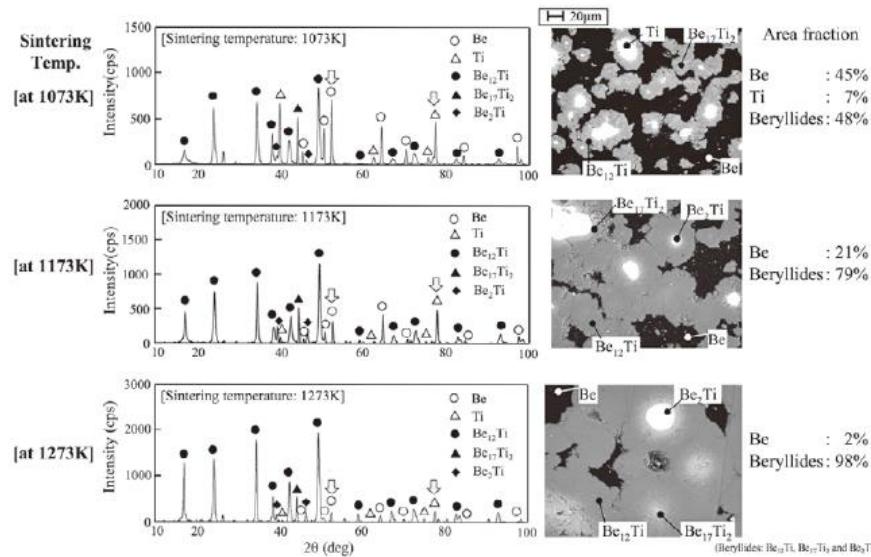
- Observation of distribution of tritium with relation to that of the dust particles

ベリリウムの検出:ダスト@六ヶ所

FE-EPMA : morphology, element, spatial distribution

六ヶ所にある既設の装置を利用可能

JXA-8530F: 3ch X-ray spectroscope



*K.Nakamichi, J. Plasma
and Fusion Res. 87(2011)
p.262, in Japanese*

X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)
: element, chemical bindings, spatial distribution

- ・JET関連のBA研究のために新たに購入
- ・C(1s:285eV), Be(1s:112eV), W(4f:31eV)の分離は容易
- ・化学結合状態を評価可能

まとめ

- BA共同研究として、JET ILW運転時のタイルおよびダストの一部がJAEA六ヶ所サイトへ輸送され、評価が行われることになった。
- これまでに事前打ち合わせを実施し、初期計画書の提出を経てEUからの移管に関する承諾の締結が得られた。
- 日本からの参加メンバーはBA共同研究へ参加し、活動が開始されている。
- JETダストは2014年度中にJAEA六ヶ所サイトへ到着する予定であり、今後分析が開始される。特にILWダストは日本のみで分析を行うため、EU側からも結果が期待されている。