

# 増殖機能材料の照射後試験 仕様書

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構  
六ヶ所フュージョンエネルギー 研究所  
ブランケット研究開発部 増殖機能材料開発グループ

## 1 一般仕様

### 1-1 件名

増殖機能材料の照射後試験

### 1-2 目的

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構(以下「QST」という。)は、国際熱核融合実験炉(ITER)に関連して日本と欧州で核融合エネルギー開発の早期実現を図ることを目的として行う研究開発である幅広いアプローチ(BA)活動の一環として、先進増殖機能材料の製造技術開発及び特性評価を行っており、増殖機能材料における中性子照射特性を評価するために、ベルギー原子力研究センター(SCK・CEN)のBR2試験炉における照射後試験(PIEs、Post Irradiation Experiments)のための中性子照射試験を実施している。

本件は、SCK・CEN の BR2 で中性子照射した Be 関連サンプル(中性子増倍材料)と Li 関連サンプル(トリチウム増殖材)をドイツのカールスルーエ研究所(Karlsruhe Institutes of Technology, 以下「KIT」という)に輸送し、KIT にて照射後試験を行うものである。

受注者は中性子照射実験に関する知見を十分に有すると共に、SCK・CEN 研究所及び KIT とコンタクトが可能な体制を有していること。

### 1-3 作業範囲

- 1) 支給品(照射試験用サンプル)の保管・管理
- 2) BR2試験炉での照射済 Li サンプルのKIT輸送及び照射試験用関連部品の廃棄
- 3) KIT での照射後試験
- 4) 報告書の作成
- 5) その他

### 1-4 作業内容

#### 1) 支給品(照射試験用サンプル)の保管・管理

QST から支給する照射試験用サンプル(表2-2)を SCK・CEN の研究施設において第1-7項に定める期間までのサンプル保管管理作業を行う。サンプルは高温多湿を避けた環境下で保管を行い、サンプルの保管状態について QST へ報告する。またサンプルは質量及び数量の管理を行い、装荷するサンプル量及びサンプル残量についての記録を行い、記録表を作成する。また、SCK・CEN より、KIT へ輸送される照射済サンプル(未照射サンプルも含む)についても、保管管理作業及び記録表を作成し、QST へ報告する。

2) BR2試験炉での照射済 Li サンプルのKIT輸送及び照射試験用関連部品の廃棄  
照射試験を完了した Li 関連サンプルについて、放射熱を取り除くために十分な冷却期間を設けた後でKITへの輸送を行う。また、不用となった試験用関連部品の廃棄を行うこと。

なお、輸送に係る詳細については、QST と協議の上、決定する。

### 3) KITでの照射後試験

Be関連サンプルにおける機械特性評価等を実施する。R8年度に SCKCEN より、KIT へ輸送する予定の照射済 Li 関連サンプルを用いて、QST が指定する照射後試験（密度、表面観察、トリチウム放出試験等）を実施する。試験項目については、技術仕様様の表2-1 に示す。実験条件などの詳細については、QST と協議の上、決定する。

### 4) 報告書の作成

1)－5)の業務に関する報告書(英文)を作成する。

### 5) その他

本件に係る、SCK・CEN 又はKITと QST との協議の際の、各研究所との調整作業をおこなうこと。その他 QST 又は各研究所の担当者との協議の上、必要な作業となった事項。

## 1-5 支給品の保管場所

### (1) 保管場所

SCK・CEN 研究所: Research Centres, Boeretang 200, 2400 Mol - Belgium

Phone: +32 1433 2111

KIT : Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen,  
Germany

Phone: +49 721 6080

※荷受人の詳細は別途指示する。

## 1-6 提出図書

受注者は下記の図書を提出すること。

表1-1 提出図書一覧

図書名	部数	提出時期
照射試験用サンプルの保管状態が確	1部	納期内

認できる書類(写真を含む。)		
照射試験用サンプルの質量・数量記録表	1部	納期内
作業実施計画書・作業工程表	2部	契約後速やかに
打合せ議事録	1部	各打合せ終了後速やかに
最終報告書	2部	納期内
その他、QSTが必要と認めた図書	必要部数	随時

#### 1-7 納期

令和9年3月31日

#### 1-8 納入場所

青森県上北郡六ヶ所村大字尾駁字表館2番地166

QST 六ヶ所フュージョンエネルギー研究所

管理研究棟指定場所

#### 1-9 検査条件

作業の完了、第1-6項に記載の提出図書の内容確認をもって検査合格とする。

#### 1-10 支給品(照射試験用サンプル)

照射試験に関わるサンプルを QST より支給する。既に支給済のサンプルの詳細は表 2-2を参照すること。比較調査のため、KITへ未照射試料を QST から支給する。支給品は受注者の責任で保管・管理を行うこと。万が一、紛失等があった場合には直ちに QST へ報告を行うこと。

#### 1-11 グリーン購入法の推進

(1) 本契約において、グリーン購入法(国等による環境物品等の調達法の推進等に関する法律)に適用する環境物品(事務用品、OA機器等)が発生する場合は、これを採用するものとする。

(2) 本仕様に定める提出図書(納入印刷物)については、グリーン購入法の基本方針に定める「紙類」の基準を満たしたものであること。

#### 1-12 知的財産権等

##### (1)知的財産権等

本契約に関して生じる知的財産権の取扱いについては、別に定める「BA 協定の調達に係る情報及び知的財産に関する特約条項」によるものとする。事業期間中に取得した、

実験データについては、徹底管理を行うとともに、データ取扱・管理・保管・事業完了後の処理などについては、QSTと協議の上、決定する。

#### (2)技術情報

受注者は、本契約を実施することによって得た技術情報を第三者に開示しようとする際には、あらかじめ書面によりQSTの承認を得なければならない。また、QSTが本契約に関し、その目的を達成するため受注者の保有する技術情報を了解する必要がある場合は、QSTと受注者の協議の上、受注者は当該技術情報を無償にてQSTに提供するものとする。

#### (3)成果の公開

受注者は、本契約にもとづく業務の内容及び成果について、発表若しくは公開し、又は特定の第三者に提供する場合には、あらかじめ書面にてQSTの承認を得なければならない。

### 1-13 協議

本仕様書に記載されている事項及び本仕様書に記載のない事項について疑義が生じた場合は、QSTと協議の上、その決定に従うものとする。

## 2 技術仕様

増殖機能材料における中性子照射特性を評価するために、SCKCEN の BR2 試験炉にて中性子照射を実施し、KIT に照射済サンプルを輸送し、照射後試験を実施するものである。R5年度に中性子照射試験における照射試験体等の設計開発や安全ケーススタディを実施し、その後は最終設計や照射費用・スケジュールの策定を行った。R6年度から照射を開始し、R7年度に照射を完了した。R8年度は照射を終えたLi関連サンプルをKITに輸送し、照射後試験を実施する。

図2-1に SCK・CEN で計画されている中性子照射試験に係る工程表(案)を示す。

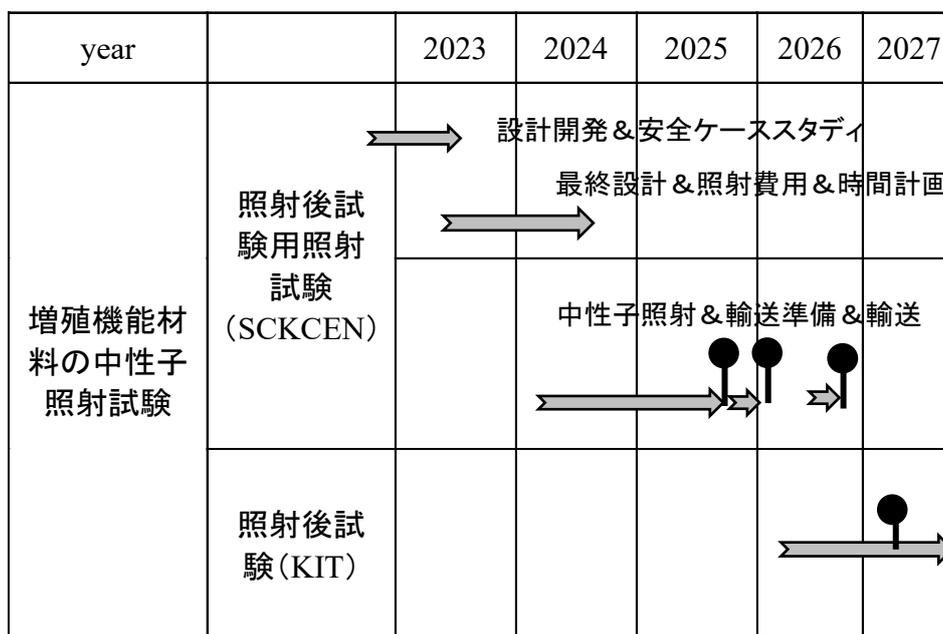


図2-1 中性子照射試験に係る工程表(案)

2-1 BR2試験炉での照射済 Li 関連サンプルのKIT輸送及び照射試験用関連部品の廃棄  
BR2試験炉における Li 関連サンプルの照射完了に伴い、次工程としてこれらのサンプルをドイツのKIT 研究所(Karlsruhe Institute of Technology)のホットセルにて照射後試験(PIEs; Post Irradiation Experiments)を行うため、表面放射能を確認するとともに、輸送準備を行う。

輸送するサンプルの詳細については、表 2-2 に示したように、500℃と 700℃で中性子照射済の  $\text{Li}_2\text{TiO}_3$  微小球である。BR2試験炉から、KIT のホットセルへのサンプル輸送を行うが、輸送容器・輸送手段手配の詳細については、QST 及び BR2と KIT 担当者との協議の上、調整・決定する。

併せて、増殖機能材料試験体の中性子照射試験の完了に伴い、放射化されている照

射用試験体の容器などを廃棄する。廃棄物には、R6年度と R7年度に照射試験が完了した Be 関連と Li 関連サンプルの容器部品などを含む。

## 2-2 KITでの照射後試験

R6年度に照射試験が完了した Be 関連サンプルと、R7年度に照射試験が完了した Li 関連サンプルを用いて、KIT のホットセルにて実施する照射後試験 (Post-Irradiation Experiments, PIE) 項目は、表2-1で示す。数量など詳細に関しては、QST と協議の上、決定する。

表2-1 PIE 項目と試料種別

PIE 項目	試料種別
照射後膨張率と外見観察 (OM)	Be P, Be12V P, Be D, Li2TiO3 P
密度測定	Be P, Be12V P, Be D, Be12Ti D, BeTiV D, Li2TiO3 P
表面及び断面写真 SEM の準備・観察	Be P, Be12V P, Be D, Be12Ti D, BeTiV D, Li2TiO3 P
TEM 準備と観察	Be D, Be12Ti D
XRD 分析	Be P, Be12V P, Be D, Li2TiO3 P
圧縮試験 (RT、高温)	Be12Ti C, BeTiV C
トリチウム放出試験	Be P, Be12V P, Be D, Be12Ti D, BeTiV D Li2TiO3 P

D:Disk, C: Cylinder, P: Pebble



表2-2 照射試験用提供サンプル

	装荷サンプル	数量	価格 (税関申告用)	サンプル形状等
			EUR	
In-situ(その場)トリチウム放出試験用サンプル(INP への輸送)				
Li セラミック (トリチウム増殖材料)	Li <sub>2</sub> TiO <sub>3</sub>	12.0 g	136.71	約φ1mm 微小球 95 重量% 6Li 濃縮チタン酸リチウム
照射後試験用照射試験用サンプル(SCKCEN への輸送)				
Li セラミック (トリチウム増殖材料)	Li <sub>2</sub> TiO <sub>3</sub>	9.0 g	102.53	約φ1mm 微小球 95 重量% 6Li 濃縮チタン酸リチウム
	LTZO	9.0 g	102.53	約φ1mm 微小球 95 重量% 6Li 濃縮 20wt% Li <sub>2</sub> ZrO <sub>3</sub> 混合 Li 添加型チタン酸リチウム
ベリリウム金属間化合物 (中性子増倍材料)	Be	4.0 g	12.66	約φ1mm 微小球
	Be <sub>12</sub> V	8.0 g	25.32	約φ1mm 微小球
	Be	9 枚	2.84	約φ7mm×t1.4mm ディスク形状
	Be <sub>12</sub> TiV	40 枚	15.41	約φ7mm×t1.4mm ディスク形状
	Be <sub>12</sub> Ti	40 枚	15.41	約φ7mm×t1.4mm ディスク形状
	Be <sub>12</sub> TiV	62 枚	4.38	約φ2.2mm×t2.6mm シリンダ形状
	Be <sub>12</sub> Ti	180 枚	12.72	約φ2.2mm×t2.6mm シリンダ形状
Total		42.0g + 331 枚	437.51	

※本表の価格欄に記載されている価格は、税関申告用価格(DDP Almaty)である。受注者は各研究所までの関税、輸送費の費用を負担する。なお、本照射試験用サンプルの輸出は、決済を伴わない無為替輸出である。

※本照射試験用サンプルは QST が照射試験を行うために無償で支給するものである。

※In-situ(その場)トリチウム放出試験用サンプルは、INP の WWR-K での照射試験を終えた後、INP において廃棄を行う計画である。照射後試験用照射試験用サンプルは、SCK・GEN の BR2での照射試験を終えた後、照射後試験を行うためドイツの KIT 研究所(Karlsruhe Institutes of Technology)に輸送を行う計画である。

※一部は、照射計画の変更により、照射試験を実施しないサンプルがある場合、照射サンプルおよび未照射サンプルは、全て KIT に輸送すること。

別添

表 A-1 物性値(増倍材)

	Be		Be12V		Be12Ti	Be12Ti01V09
	bulk	pebble bed	bulk	pebble bed	bulk	pebble bed
1 化学式	Be	Be	Be12V	Be12V	Be12Ti	Be12Ti0.1V0.9
2 化学組成 (at.%)	Be-100at%		Be-92.3, V-7.7(at%)		Be-92.3, Ti-7.7(at%)	Be-92.3, Ti-0.8, V-6.9(at%)
3 同位体組成	9Be:100% 50V:0.25% 51V:99.75%		9Be:100% 50V:0.25% 51V:99.75%		9Be:100% 46Ti:8.25% 47Ti:7.44% 48Ti:73.72% 49Ti:5.41% 50Ti:5.18%	9Be:100% 46Ti:8.25% 47Ti:7.44% 48Ti:73.72% 49Ti:5.41% 50Ti:5.18% 50V:0.25% 51V:99.75%
4 結晶構造	hexagonal close-packed		tetragonal		tetragonal	tetragonal
5 熱安定性	Table 4.11[1]		stable[2]		similar to Be12V	similar to Be12V
6 相図	Beryllium becomes Body-centered cubic (BCC, beta phase) structure at about 1250 oC while Be is mainly HCP structure (alpha phase) at most of temperature range [4]		I. ohnuma et al., Be-V binary phase diagram [5]		H. Okamoto, Be-Ti binary phase diagram [6]	J.H. Kim, Be-Ti-V ternary phase diagram [7]
7 有効熱伝導率	E. Ishitsuka 0 to 700 oC [10] $k=(1.85E-04)xT^2 - (2.77E-01)xT + 1.89E+02$	D. M Dalle 0 to 650 oC, 63% packing factor [11] $k=2.499+2.07 \times 10^3 \times Tm$	M. Makamichi, 25 to 600 oC [13] $k= (9E-06)xT^2 - (0.0089)xT + 30.509$	M. Nakamichi, 0 to 1000 oC, 60.5% packing factor [12] $k = (6.51E-07)xT^2 + (9.13E-04)xT + 1.34E+00$	L. Chen, 25 to 600 oC [14] $k = (-2E-05)xT^2 + 0.0317xT + 35.817$	similar to Be12V
8 照射後の熱伝導率	See reference [10], slight decrease of thermal conductivity confirmed by neutron irradiation. $k = (1.83E-06)xT^2 - (2.49E-03)xT + 1.72E+00$  D. N. Syslov, [37], slight decrease was confirmed $k=(0.0005)xT^2-(0.2306)xT+150.0376$	No data	similar to Be12Ti material	No data	The degradation of thermal conductivity by neutron irradiation was confirmed. And it was not recovered by annealing with heating up to 600 oC, but recovered by heating up to 1000 oC [36]	similar to Be12V or Be12Ti
9 熱膨張係数	●Fig.4.14 RT-900d $y/(^{\circ}C) = -7E-12x(^{\circ}C)^2 + 1E-08x(^{\circ}C) + 1E-05$ [21]BERYLLIUM CHEMISTRY AND PROCESSING ●Fig.8 RT-1200K $y/(K) = -1E-13x(K)^2 + 8E-09x(K) + 1E-05$ [22]Fusion Engineering and Design 124(2017)805-808	●Fig.2 RT-700d $y/(^{\circ}C) = -2E-11x(^{\circ}C)^2 + 2E-08x(^{\circ}C) + 1E-05$ [23]Fusion Engineering and Design 27 (199) 263-268	Fig.8 RT-1200K $y/(K) = -4E-12x(K)^2 + 1E-08x(K) + 9E-06$ [22]Fusion Engineering and Design 124(2017)805-808	No data	Fig.8 RT-1200K $y/(K) = -3E-12x(K)^2 + 1E-08x(K) + 1E-05$ [22]Fusion Engineering and Design 124(2017)805-808	No data
10 構造材料との両立性	●Fig.5 Be-316LN up to 800°C [26]Journal of Nuclear Materials 329-333 (2004) 112-118 ●Fig.3 Be-SUS up to 750°C [27]Journal of Nuclear Materials 191-194 (1992) 163-167 ●Fig.7 Be-SUS316L 800°C1000h [28]Journal of Nuclear Materials 307-311 (2002) 638-642 > see the reference [38]	Similar to Be block	Be12V has similar stability to Be12Ti or is more stable than Be12Ti	Be12V has similar stability to Be12Ti or is more stable than Be12Ti	Fig.5 Be12Ti-316LN up to 800°C [26]Journal of Nuclear Materials 329-333 (2004) 112-118 Fig.7 Be12Ti-SUS316L 800°C1000h [28]Journal of Nuclear Materials 307-311 (2002) 638-642 [33] K. Tsuchiya, compatibility between Be-Ti alloy and SS316LN at 600, 700, 800 oC	similar to Be12V
11 T、He、H2O、H2雰囲気下における耐腐食性	●Fig.6 Be-Air [26]Journal of Nuclear Materials 329-333 (2004) 112-118  See reference [39] similar to Be pebble	●Fig.6 H2 generation rate 15%H2O/Ar [22]Fusion Engineering and Design 124(2017)805-808	similar to Be12V pebble	Fig.6 Be12V-H2 generation rate 15%H2O/Ar [22]Fusion Engineering and Design 124(2017)805-808	Fig.6 Be12Ti-Air Fig.7 Be12Ti-H2O [26]Journal of Nuclear Materials 329-333 (2004) 112-118  Fig.2 Be12Ti Air [29]Fusion Engineering and Design 84 (2009) 319-322	Fig.6 H2 generation rate-water vapor [30]Fusion Engineering and Design 109-111(2016)1764-1768

表 A-2 物性値(増殖材、構造材)

		Li2TiO3		Li2TiO3-20wt%Li2ZrO3		F82H
		bulk	pebble bed	bulk	pebble bed	bulk
1	化学式	Li2TiO3	Li2TiO3	Li2TiO3-20wt%Li2ZrO3	Li2TiO3-20wt%Li2ZrO3	Fe-8Cr-2W-V-Ta
2	化学組成 (at.%)	Li-33.3, Ti-16.7, O-50.0(at%)		Li-33.3, Ti-13.3, Zr-3.3 O-50.0(at%)		Fe-89.25, Cr-8.71, W-0.62, V-1.11, Ta-0.31(at%)
3	同位体組成	6Li:90% 46Ti:8.25% 48Ti:73.72% 50Ti:5.18% 17O:0.038% 7Li:10% 47Ti:7.44% 49Ti:5.41% 16O:99.757% 18O:0.205%		6Li:90% 48Ti:73.72% 17O:0.038% 92Zr:17.15% 7Li:10% 49Ti:5.41% 18O:0.205% 94Zr:17.38% 46Ti:8.25% 50Ti:5.18% 90Zr:51.45% 47Ti:7.44% 16O:99.757% 91Zr:11.22% 96Zr:2.8%		54Fe:5.845% 58Fe:0.282% 53Cr:9.501% 182W:26.5% 186W:28.43% 180m1Ta:0.012% 56Fe:91.754% 50Cr:4.345% 54Cr:2.365% 183W:14.31% 50V:0.25% 181Ta:99.988% 57Fe:2.119% 2Cr:83.789% 180W:0.12% 184W:30.64% 51V:99.75%
4	結晶構造	monoclinic		monoclinic		cubic
5	熱安定性	stable[3]		similar to Li2TiO2		
6	相図	Li2O- TiO2 binary phase diagram [8]		similar to Li2TiO2		[9]Fe-Cr phase diagram
7	有効熱伝導率	T. Hoshino, 0 to 700 oC, 95Li2TiO3, 86.3% T.D. [15] k = (2E-06)xT2 - (0.0053)xT + 5.0246	A.S. Ali, 50 to 500 oC, packing factor 61% [16] k = (1E-06)xT2 - (0.0017)xT + 1.4669	similar to Li2TiO2	similar to Li2TiO3	20 to 600 °C [17,18,19] k = 27.69 + (7.84 × 10-3)xT - (9 × 10-6)xT2
8	照射後の熱伝導率		H. Kawamura, 450 to 600 oC under irradiation [20], mentioning no change of thermal conductivity up to 1 x1024 n/m2. Owing to too short temperature range, approximation is so rough. This will be just reference for comparison for before and after irradiation. This value is diffusivity of Li2TiO3 pebble bed. k = (2E-05)xT2 - (0.0309)x + 11.248	similar to Li2TiO3	similar to Li2TiO3	no data
9	熱膨張係数	Fig.5 RT-600d $\gamma(^\circ\text{C}) = -4\text{E-}11\text{x}(^\circ\text{C})^2 + 4\text{E-}08\text{x}(^\circ\text{C}) + 1\text{E-}05$ [24]Journal of Nuclear Materials 367-370 (2007) 1052-1056	Fig.3-4RT-1000K 1.31[10-5/K](constant) [25]Fusion Engineering and Design 82 (2007) 2259-2263	similar to Li2TiO3	similar to Li2TiO3	20 to 600 °C [17,18,19] Formula 4-1-1: $\gamma(^\circ\text{C}) = 10.55 + (3.37 \times 10^{-3})\text{x T} + (6.0 \times 10^{-8})\text{x T}^2$
10	構造材料との両立性	K. Mukai, demonstrated that compatibility between Eurofer (similar to F82H) Li2TiO3 at 550 and 800 oC for long times, indicating variation of thickness of reaction layer focusing on diffusion coefficient and activation energy [35]	similar to bulk material	similar to Li2TiO3	similar to Li2TiO3	
11	T、He、H2O、H2雰囲気下における耐腐食性	Fig2-3 Li2TiO3 powder vaporization behavior D2,D2O [31]Journal of Nuclear Materials 248 (1997) 111-115	Li2TiO3 with excess Li pebble BET,pore volume,XRD under water vapor [32]Nuclear Materials and Energy 9 (2016) 242-246	similar to Li2TiO3	similar to Li2TiO3	Corrosion rate and weight loss for RAFM steels in pressurized water at 523 K [34]

- [1] Kenneth A. Walsh, Beryllium chemistry and processing, p32-33
- [2] T. G. Nieh, Mechanical properties of vanadium beryllide, VBe<sub>12</sub>, Journal of Materials Science volume 27, pages2660–2664(1992)
- [3] Tsuyoshi Hoshino, Investigation of phase transition in Li<sub>2</sub>TiO<sub>3</sub> by high temperature X-ray diffraction, Journal of Nuclear Materials Volumes 367–370, Part B, 1 August 2007, Pages 1052-1056
- [4] Kenneth A. Walsh, Beryllium chemistry and processing, p151
- [5] I. Ohnuma et al., Phase equilibrium in the Be-V and Be-Ti binary systems, JAERI-Conf 2004-006, 172-184
- [6] H. Okamoto, Be-Ti (Beryllium-Titanium). J. Phs. Eqil. and Diff 29, 202 (2008). <https://doi.org/10.1007/s11669-008-9265-4>
- [7] Jae-Hwan Kim, et al., Synthesis of Be-Ti-V ternary beryllium intermetallic compounds, J. Alloys Compd., 640 (2015) 285-289
- [8] G. Izquierdo, A. R. West, Phase equilibria in the system Li<sub>2</sub>O-TiO<sub>2</sub>, Mater. Res. Bulletin, 15, 11 (1990) 1655-1660
- [9] Okamoto, H., Binary Alloy Phase Diagrams. 2nd ed. 1990: ASM International.
- [10] E. Ishitsuka, and H. Kawamura, Beryllium neutron irradiation study in the Japan Materials Testing Reactor, Fusion eng. des., 41.1-4 (1998) 195-200.
- [11] Donne, M. Dalle, et al., Experimental Investigations on the Thermal and Mechanical Behavior of Single Size Beryllium Pebble Beds, Fusion technol., 38.3 (2000) 290-298
- [12] M. Nakamichi, et al., Characterization of vanadium beryllide pebble bed for the Japan DEMO blanket application, Fusion Eng. Des., 136 (2018) 125-127.
- [13] M. Nakamichi, Jae-Hwan Kim, P. Kurinskiy, Characterization of vanadium beryllide pebble bed for the Japan DEMO blanket application, Fusion Eng Des. 136 (2018) 125-127
- [14] L. Chen, Y. Chen, K. Huang, S. Liu, Investigation of effective thermal conductivity for pebble beds by one-way coupled CFD-DEM method for CFETR WCCB, Fusion Eng Des 106 (2016)1-8
- [15] T. Hoshino, et al. Non-stoichiometry and its effect on thermal properties of Li<sub>2</sub>TiO<sub>3</sub>. Fusion eng. and des. 61 (2002) 353-360.
- [16] A. S. Ali, et al., Experimental measurements of the effective thermal conductivity of a lithium titanate (Li<sub>2</sub>TiO<sub>3</sub>) pebbles-packed bed, J. mat. Process. Technol. 181.1-3 (2007) 206-212.
- [17] K. Shiba et al., JAERI-Tech 97-038.
- [18] A.-A.F. Tavassoli et al., Fusion Eng. Des. 61-62 (2002) 617-628.
- [19] T. Hirose et al., Fusion Eng. Des. 89 (2014) 1595-1599.
- [20] H. Kawamura, "Evaluation of effective thermal diffusivity of Li<sub>2</sub>TiO<sub>3</sub> pebble bed under neutron irradiation." Fusion engineering and design 69.1-4 (2003): 263-267.
- [21] Kenneth A., Walsh BERYLLIUM CHEMISTRY AND PROCESSING ASM INTERNATIONAL, The Materials Information Society
- [22] Jae-Hwan Kim et al., Thermal analyses of beryllide pebbles in water vapor atmosphere as

advanced neutron multipliers

Fusion Engineering and Design 124 (2017)805-808

[23] Etsuo Ishitsuka et al., Thermal and mechanical properties of beryllium pebbles

Fusion Engineering and Design 27 (1995) 263-268

[24] T. Hoshino et al., Investigation of phase transition in Li<sub>2</sub>TiO<sub>3</sub> by high temperature X-ray diffraction

Journal of Nuclear Materials 367–370 (2007) 1052–1056

[25] Hisashi Tanigawa et al., Measurement of thermal expansion of Li<sub>2</sub>TiO<sub>3</sub> pebble beds

Fusion Engineering and Design 82 (2007) 2259–2263

[26] H. Kawamura et al., Present status of beryllide R&D as neutron multiplier

Journal of Nuclear Materials 329–333 (2004) 112–118

[27] T. Flament et al., Compatibility of stainless steels and lithium based ceramics with beryllium

Journal of Nuclear Materials 191-194 (1992) 163-167

[28] H. Kawamura et al., Compatibility between Be<sub>12</sub>Ti and SS316LN

Journal of Nuclear Materials 307–311 (2002) 638–642

[29] Christopher K. Dorn et al., A review of physical and mechanical properties of titanium beryllides with specific modern application of TiBe<sub>12</sub>

Fusion Engineering and Design 84 (2009) 319–322

[30] Jae-Hwan Kim et al., Synthesis and characteristics of ternary Be–Ti–V beryllide pebbles as advanced neutron multipliers, Fusion Engineering and Design 109-111 (2016) 1764-1768

[31] Atsushi Suzuki et al., Study on the sweep gas chemistry effect on vaporization behavior of Li<sub>2</sub>TiO<sub>3</sub> by means of HT mass spectrometry, Journal of Nuclear Materials 248 (1997) 111-115

[32] K. Katayama et al., Pebble structure change of Li<sub>2</sub>TiO<sub>3</sub> with excess Li in water vapor atmosphere at elevated temperatures, Nuclear Materials and Energy 9 (2016) 242-246

[33] K. Tsuchiya, et al, General properties on compatibility between Be-Ti alloy and SS 316LN, Fusion Eng Des 81 (2006) 1057-1063

[34] D. De. Meis, Corrosion resistance of RAFM steels in pressurized water for nuclear fusion applications, Technical report, 4, ENEA, (2017)

[35] K. Mukai et al., Corrosion characteristics of reduced activation ferritic martensitic steel EUROFER by Li<sub>2</sub>TiO<sub>3</sub> with excess Li, Nucl. Mater. Energy 15 (2018) 190-94

[36] M. Uchida, Thermal conductivity of neutron irradiated Be<sub>12</sub>Ti, Fusion Eng Des 69 (2003) 499-503

[37] D.NSyslov, Influence of high dose neutron irradiation on thermal conductivity of beryllium  
Journal of Nuclear Materials Volumes 307–311, Part 1, December 2002, Pages 664-667

[38] Hiroshi Kawamura, Compatibility of structural materials up to 1000 C, Journal of Nuclear Materials 212-215 (1994) 1524-152X

[39] P.D.Miller and W.K.Boyd, CORROSION OF BERYLLIUM, Page 9

## 選定理由書

1. 件名	増殖機能材料の照射後試験
2. 選定事業者名	丸紅ユティリティ・サービス株式会社
3. 目的・概要等	<p>量子科学技術研究開発機構（以下、「QST」という）では、国際熱核融合実験炉（ITER）に関連する「幅広いアプローチ（BA）活動」の一環として、先進増殖機能材料の製造技術開発および特性評価を推進している。</p> <p>本件は、QST が独自に開発・製造した先進増殖機能材料について、ベルギー原子力研究センター（SCK・CEN 研究所）の BR2 照射施設で照射を完了したサンプルを、ドイツのカールスルーエ工科大学（KIT）へ輸送し、照射後試験を実施するものである。これにより、中性子照射による諸特性変化やトリチウム放出特性等を評価し、BA 活動として増殖機能材料の特性データを取得することを主な目的とする。</p>
4. 希望する適用条項	<p>契約事務取扱細則第 29 条第 1 号第 1 項へ</p> <p>（研究開発、実験等の成果の連続性、接続性の確保のため、契約の相手方が一に限定されているとき）</p>
5. 選定理由	<p>本件は、欧州との BA 活動の一環として実施される増殖機能材料の照射後試験に関するものであり、2023 年度からの協定に基づき、ベルギー原子力研究センター（SCK・CEN、BR2 照射施設）で照射を完了したサンプルをドイツのカールスルーエ工科大学（KIT）へ輸送し、照射後試験を実施するものである。</p> <p>日本側と EU 側サンプルの同一照射施設での照射後試験は既におこなわれ IFERC DDA および DEMO R&amp;D Planning activities 会合でも当該施設での照射後試験実施方針が合意済みである。照射履歴・サンプル管理・輸送・試験条件の設定等は継続的かつ一体的管理が不可欠であり、条件整合や成果の一貫性が求められるため SCK・CEN、KIT と連携を図り照射後試験を実施する必要がある。また、その的確な遂行には、それぞれの照射施設との協力体制と綿密な連携・連絡調整作業が求められるが、SCK・CEN および KIT のレター（添付）に記載のあるとおり、丸紅ユティリティ・サービスが本件にかかる各研究所との唯一の契約相手先として指定されている。以上を踏まえ、研究開発・実験成果の連続性と接続性を確保する観点から丸紅ユティリティ・サービス株式会社を唯一の契約相手として指定し、選定事業者とする。丸紅ユティリティ・サービス株式会社は本件に係る各研究所との唯一</p>

	<p>の契約相手として指定されていることから、同社を選定事業者とする。</p>
--	---