

# 廃炉研究開発人材のための 技術マップ試案について

2017年12月12日

**原子力損害賠償・廃炉等支援機構**

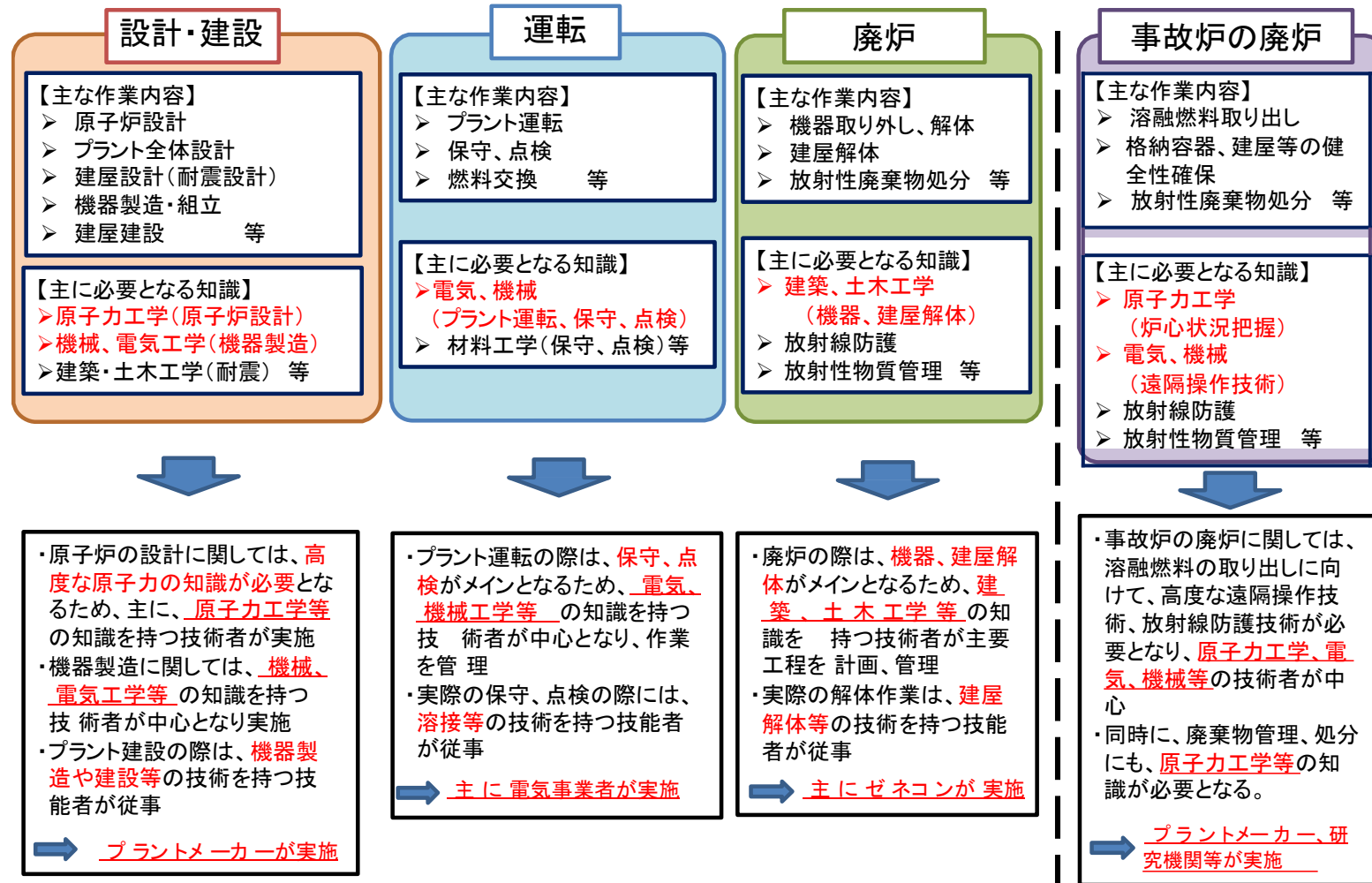
# 1. 背景

1. 第5回廃炉研究開発連携会議（平成29年5月30日）においては、人材育成を議題として、学生段階での育成のみならず、**現場で研究開発・廃炉作業に携わる研究者・エンジニアの長期的な確保・育成が課題**であることから、事業者のニーズ、課題や取組の現状を共有し、議論が行われた。
2. 会議では、1F廃炉推進上の諸課題を念頭に置いて、**今後どのような場面でどのような人材が必要とされていくのかを整理した上で**、今後の1F廃炉に係る人材育成・確保の具体的なビジョンを描いていくべきではないかとの論点が提示された。
3. 更に、「**人材育成に関しては、まずは通常炉の廃炉と異なる1F廃炉のコア技術とは何かを明確にしていく必要があるのではないか**。メーカーでは、例えば原子炉新設に必要な技術マップを作り、そこから人材マップを作っているが、それは過去に新設の経験があるからできている。**これまででない1F廃炉の技術マップでは完璧なものを作ることはできないだろうが、もしそういったものができれば、関係機関での人材の受け持ちなども考えられるようになるのではないか**。」との見解を関係者間で共有し、今後の人材育成の取組について調査検討を進めることとなった。
4. 以上の通り、1F廃炉研究開発のための人材を育成・確保を検討していくためには、**まずは1F廃炉のために必要な技術の全体像について、関係者間で認識を共有する必要がある**と考えられる。
5. このため今般、1F廃炉のために必要なコア技術の全体像、必要とされる1F廃炉人材像を把握するべく、「**廃炉研究人材のための技術マップ試案**」を作成した。

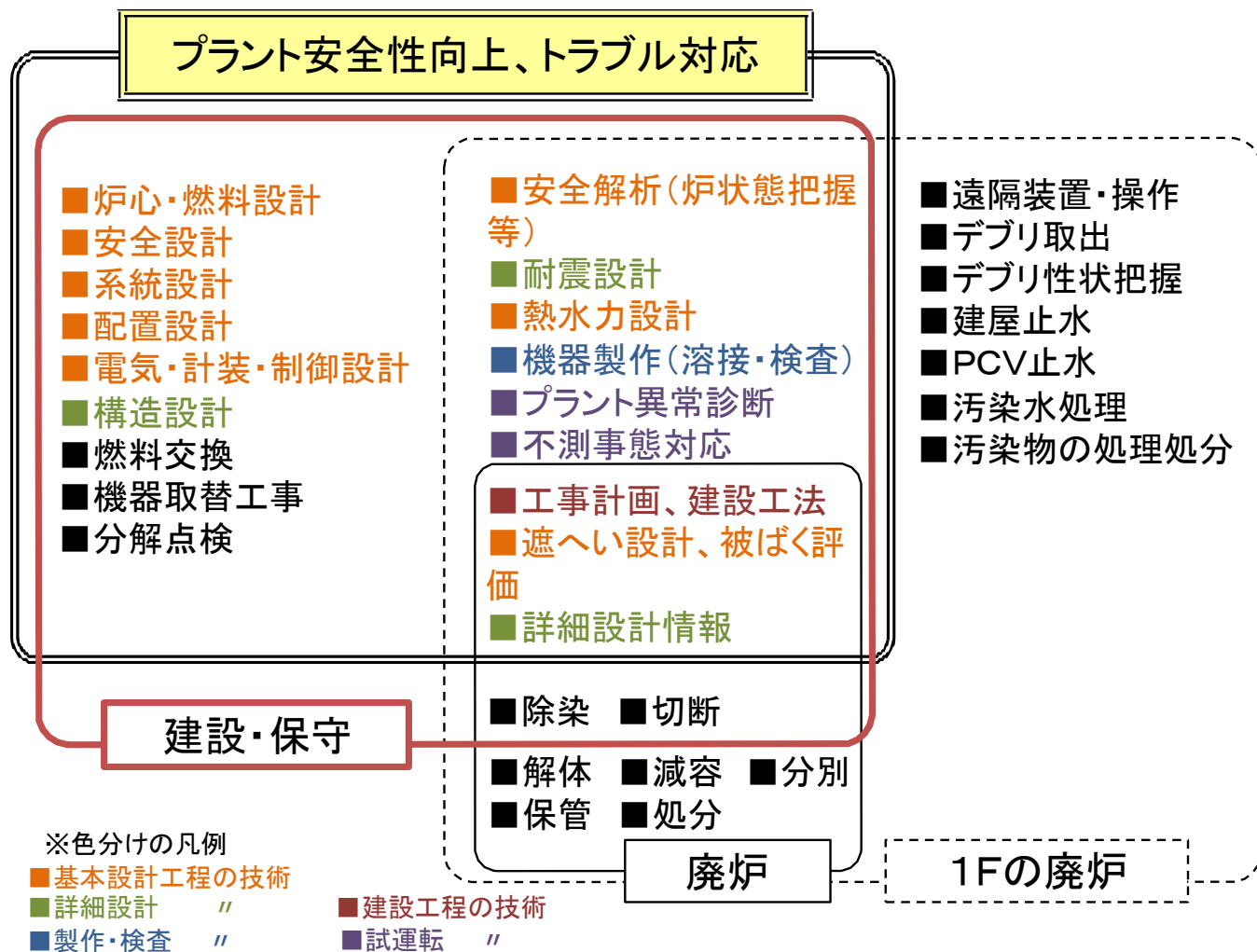
## 2-1. 先行事例(廃炉人材に関する検討)

1. 廃炉人材に関する全体像を把握しようとした先行事例としては、平成24年10月の原子力委員会において、資源エネルギー庁が、必要な技術・人材の大まかなイメージを提示した資料がある。
2. 同資料では、事故炉の廃炉で主に必要となる知識の例として
  - (1) 原子力工学 (炉心状況把握)
  - (2) 電気、機械 (遠隔操作技術)
  - (3) 放射線防護
  - (4) 放射性物質管理 等 が挙げられている。(参考1)
3. 1F廃炉に特有の技術・知識の例としては
  - (1) 遠隔装置・操作
  - (2) デブリ取出
  - (3) デブリ性状把握
  - (4) 建屋止水
  - (5) PCV止水
  - (6) 汚染水処理
  - (7) 汚染物の処理処分 が挙げられている。(参考2)

(参考1) 原子力発電所の建設・運転・廃炉と事故炉の廃炉に必要な技術・人材 (資源エネルギー庁資料)



(参考2) プラント建設・保守に必要な知識・技術とプラント安全性向上・トラブル対応に必要な知識・技術の関係 (資源エネルギー庁資料)



## 2-2. 先行事例(1F廃炉に必要な技術)

1. また、廃炉・汚染水対策事業（国プロ）においては、端的に、1F廃炉に必要な研究開発が行われてきているところ、これまで国プロにおいて実施されてきたプロジェクト名称は、参考3の通り。

### (参考3) 廃炉・汚染水対策事業の事業（プロジェクト）一覧

#### 廃炉R&D「内部調査」

過酷事故解析コードを活用した炉内状況把握

事故進展解析及び実機データ等による炉内状況把握の高度化

総合的な炉内状況把握の高度化

原子炉内燃料デブリ検知技術の開発

燃料デブリ性状把握・処置技術の開発

実デブリ性状分析

燃料デブリの性状把握

燃料デブリの性状把握・分析技術の開発

原子炉圧力容器内部調査技術の開発

原子炉格納容器内部調査技術の開発

原子炉格納容器内部詳細調査技術の開発

#### 廃炉R&D「取り出し工法の開発」

燃料デブリ・炉内構造物の取出技術の開発

燃料デブリ取出し代替工法の概念検討と要素技術の実現可能性検討

燃料デブリ・炉内構造物取り出し工法・システムの高度化事業

燃料デブリ・炉内構造物の取り出し工法・システムの高度化

燃料デブリ・炉内構造物取り出しの基盤技術開発事業

燃料デブリ・炉内構造物取り出しの基盤技術開発事業（小型中性子検出器の開発）

燃料デブリ・炉内構造物の取り出し基盤技術の高度化

#### 廃炉R&D「廃棄物処理等」

事故廃棄物処理・処分技術の開発

固体廃棄物の処理・処分に関する研究開発

#### 廃炉R&D「作業環境の向上」

圧力容器／格納容器の健全性評価技術の開発

圧力容器／格納容器の腐食抑制技術の開発

圧力容器／格納容器の耐震性・影響評価手法の開発

燃料デブリ臨界管理技術の開発

燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発

サブレーションチェンバー等に堆積した放射性物質の非破壊検知技術の開発

原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発

原子炉格納容器漏えい箇所の補修・止水技術の開発

原子炉格納容器漏えい箇所の補修技術の開発

原子炉格納容器漏えい箇所の補修・止水技術の実規模試験

原子炉格納容器漏えい箇所の補修技術の実規模試験

燃料デブリ・炉内構造物の取り出しに向けたサンプリング技術の開発

#### 廃炉R&D「使用済燃料保管」

使用済燃料プールから取り出した燃料集合体他の長期健全性評価

使用済燃料プールから取り出した損傷燃料等の処理方法の検討

使用済燃料プールから取り出した燃料集合体の長期健全性評価

#### 汚染水対策

トリチウム分離技術検証試験事業

海水浄化技術検証事業、土壌中放射性物質捕集技術検証事業、汚染水貯蔵タンク除染技術検証事業、無人ポーリング技術検証事業



(出典) 廃炉・汚染水対策事業事務局ホームページ「事業一覧」(<http://dccc-program.jp/project>)より作成

## 2-3. 先行事例(1F廃炉研究開発ニーズ・シーズに関する検討)

1. 廃炉基盤研究プラットフォーム（事務局：JAEA/CLADS）においてはこれまで、バザールのアプローチのもと、基礎・基盤研究の全体マップの作成作業が行われてきた。資料としては
  - (1) 基礎・基盤的研究課題と対応するシーズを整理した「廃炉に向けた基礎・基盤研究の研究開発マップ」（参考4）  
等が存在する。

# (参考4) 廃炉に向けた基礎・基盤研究の研究開発マップ (抄)

研究項目	研究課題	研究成果の反映先	反映時期	研究の分類	研究への要求事項			研究スケジュール													
					実用化	データ整備	基礎・基盤	2017	2018	2019	2020	2021	～2026	～2031	～2041						
<b>1. デブリ取出し対策</b>																					
1-1 プラントの安定状態の維持・管理	(1) 構造物長期健全性評価技術	① レーザー超音波診断法(探傷技術)による金属亀裂、コンクリート健全性遠隔評価手法の開発	圧力容器、格納容器、ベデスタル、使用済み燃料プール等構造物の長期安全性評価、保守管理	デブリ取り出し時期から廃炉完了(2020-2040)	特殊環境下の腐食現象解明	○	○													▼格納容器周辺物への適用 ▼内部構造物等適用範囲の	
		② 鋼構造物腐食・防食、健全性評価	圧力容器、格納容器、ベデスタル、使用済み燃料プール等構造物の長期安全性評価、保守管理	デブリ取り出し時期から廃炉完了(2020-2040)	特殊環境下の腐食現象解明	○	○														
		③ コンクリート構造物の健全性評価	圧力容器、格納容器、ベデスタル、使用済み燃料プール等構造物の長期安全性評価、保守管理	デブリ取り出し時期から廃炉完了(2020-2040)	特殊環境下の腐食現象解明	○	○														
		④ ライナー腐食・健全性評価	圧力容器、格納容器、ベデスタル、使用済み燃料プール等構造物の長期安全性評価、保守管理	デブリ取り出し時期から廃炉完了(2020-2040)	特殊環境下の腐食現象解明	○	○														
		⑤ タンク腐食・健全性評価	圧力容器、格納容器、ベデスタル、使用済み燃料プール等構造物の長期安全性評価、保守管理	デブリ取り出し時期から廃炉完了(2020-2040)	特殊環境下の腐食現象解明	○	○														
		⑥ 汚染水処理設備腐食・健全性評価	圧力容器、格納容器、ベデスタル、使用済み燃料プール等構造物の長期安全性評価、保守管理	デブリ取り出し時期から廃炉完了(2020-2040)	特殊環境下の腐食現象解明	○	○														
	(2) 検査・モニタリング技術	① クラック状欠陥の検出、サイジングが可能な技術の開発	圧力容器、格納容器、ベデスタル、使用済み燃料プール等構造物の長期安全性評価、保守管理	デブリ取り出し時期から廃炉完了(2020-2040)	特殊環境下の腐食現象解明	○	○														
		② 減肉の検出、サイジングが可能な技術の開発	圧力容器、格納容器、ベデスタル、使用済み燃料プール等構造物の長期安全性評価、保守管理	デブリ取り出し時期から廃炉完了(2020-2040)	特殊環境下の腐食現象解明	○	○														
		③ 漏えい検知が可能な技術の開発	圧力容器、格納容器、ベデスタル、使用済み燃料プール等構造物の長期安全性評価、保守管理	デブリ取り出し時期から廃炉完了(2020-2040)	特殊環境下の腐食現象解明	○	○														
		④ 検査・モニタリングを可能にする遠隔技術の開発	圧力容器、格納容器、ベデスタル、使用済み燃料プール等構造物の長期安全性評価、保守管理	デブリ取り出し時期から廃炉完了(2020-2040)	特殊環境下の腐食現象解明	○	○														
		⑤ 非破壊検査技術	圧力容器、格納容器、ベデスタル、使用済み燃料プール等構造物の長期安全性評価、保守管理	デブリ取り出し時期から廃炉完了(2020-2040)	特殊環境下の腐食現象解明	○	○														
	(3) 補修技術	① 圧力バウンダリーに発生したクラック発生部の補修が可能な技術の開発	圧力容器、格納容器、ベデスタル、使用済み燃料プール等構造物の長期安全性評価、保守管理	デブリ取り出し時期から廃炉完了(2020-2040)	その他(特殊環境下の遠隔補修技術)	○	○														
		② 圧力バウンダリーに発生した減肉発生部の補修が可能な技術の開発	圧力容器、格納容器、ベデスタル、使用済み燃料プール等構造物の長期安全性評価、保守管理	デブリ取り出し時期から廃炉完了(2020-2040)	その他(特殊環境下の遠隔補修技術)	○	○														
		③ シール部の補修が可能な技術の開発	圧力容器、格納容器、ベデスタル、使用済み燃料プール等構造物の長期安全性評価、保守管理	デブリ取り出し時期から廃炉完了(2020-2040)	その他(特殊環境下の遠隔補修技術)	○	○														
④ 漏えい発生部の補修が可能な技術の開発		圧力容器、格納容器、ベデスタル、使用済み燃料プール等構造物の長期安全性評価、保守管理	デブリ取り出し時期から廃炉完了(2020-2040)	その他(特殊環境下の遠隔補修技術)	○	○															

(以下、142件省略)



## 2-4. 先行事例（通常炉の廃止措置）

1. 通常炉の廃炉に関しては、日本原子力発電(株)が電力会社向けに実施する廃止措置に関する研修や、米国でもANL (Argonne National Laboratory)やORAU (Oak Ridge Associated Universities)において廃炉技術者（管理者・専門技術者）と廃炉作業員のそれぞれについて実施する研修カリキュラムが存在している。
2. IAEAは廃止措置に関する訓練と人材確保に関して検討した2008年のレポートで
  - (1) 上位の管理者が身に付けるべきコンピテンシー（参考5）
  - (2) 管理者クラス・専門スタッフへの研修コースの代表例（参考6）
  - (3) 廃炉技術者のための研修コース例（参考7）
  - (4) 現場労働者が身に付けるべき一般的な安全に関する研修コースの例（参考8）などを示している。
3. また、韓国政府は廃炉産業に参入するために韓国が獲得すべき技術を把握する観点から、「原子力発電所解体技術細部分析」を行い、通常炉の廃炉に必要な96件の技術を特定している。（参考9）

(参考5) 上位の管理者が身に付けるべきコンピテンシー (Senior Management Competencies) (抄)

The list of suggested competencies for the members of a senior management team may be used to design the selection, recruitment, training and development programmes for a decommissioning project.

No	Competencies
	<i>General management and technical competencies</i>
1	Vision for the overall management and policies of a comprehensive decommissioning project
2	Strategic vision and main aspects of transferring the organization from Operational to Decommissioning
3	Establishing the appropriate Organizational Culture. Organization's values. Establishing and adhering to the Code of professional ethics: role of managers
4	Management of change
5	Effective Management of Human Resource
6	Reassignments of personnel; motivation; maintaining the appropriate safety and organizational culture
7	Management ownership for Personnel Training, Re-training and Qualification; Basics of a systematic approach to training (SAT): manager role and responsibilities
8	Establishment of integrated Management System
9	Quality Management (how to integrate it into a coherent Management System)
10	Knowledge of main elements of management of a decommissioning project (processes, activities, interface arrangements)
11	Understanding the need for, objective and key issues of the characterization of radiologically and chemically hazardous materials
12	Basics of decontamination and dismantling; and key issues for the site
13	Basics of waste management; and key issues for the site
14	Key issues of spent fuel management (including SF Storage) impacting the decommissioning project
15	Basics of Risk Assessment, Risk Management and Risk-Informed Decision-Making
16	Basics of Project Management (all important aspects, including project risk management)
17	Ability to identify key stages and deliverables and to drive achieving the results
18	Fundamentals of Programme Management (work breakdown structures, earned value reporting, etc.)
19	Basics of planning for decommissioning. Key issues and current status of the Decommissioning Plan (DP)

(以下、No 59まで続く)

(参考6) 管理者クラス・専門スタッフへの研修コースの代表例  
(Typical Courses for Managers and Professional Staff)

COURSE	TYPE
Project management / planning / contingencies analysis*	General management skills
Time management	General management skills
Negotiation	General management skills
Specification and contracting of activities	Technical
Motivation / leadership	General management skills
Configuration / operation of the facility	Technical
Facility technical specifications and surveillance requirements	Technical
Response in emergency	Technical
Human Performance Fundamentals	General management skills
Observation and Coaching	General management skills
Conduct of Project Reviews and Pre-Job Briefings	General management skills
Communication skills	General management skills
“Crisis” management	Technical
Management of records and documents*	Technical
Human Resources Performance Management	General management skills
Legislation/regulations applicable to decommissioning activities*	Technical
Materials management*: categories, requirements, alternative treatment options, etc	Technical
High level RP, ALARA and JHA concepts	Technical
Decommissioning technologies*	Technical
Spent fuel management as precursor to decommissioning*	Technical
Radiological characterisation*	Technical
Project Risk Management*	Technical
Safety Assessment*	Technical
Costs and Funding*	General management skills

\* Courses provided routinely by IAEA. Other courses or seminars are typically provided by national organizations, by contract with private companies, or by the decommissioning organization.

(参考7) 廃炉技術者のための研修コース例 (Example of Courses for a D&D Technician) (抄)

From a U.S. production facility site with facilities undergoing decommissioning

D&D Technician Training Requirements Matrix				
Course No.	Course Title	Length (hr)	Freq.	Setting
<i>Position Specific Training</i>				
CAT00000	Consolidated Annual Training	2	1Y	QQ
TREG0013	First Aid/CPR/Bloodborne	4	2Y	CR
TREG0014	First Aid/CPR/Bloodborne Alternate year	1	2Y	SP
E5200010	SRS Lead Compliance Program	1	1Y	CR
QRIS5007	Behavioural Based Safety	8	0	CR
QRIS5008	BBS Observer Training	8	0	CR
UDC00064	Waste Verifier Training	2	1Y	BR
UDC00050	SDD Waste Certification	4	2Y	BR
UDC00029	SDD Annual RCRA	1	1Y	RS
UFDGO908	SDD Annual Spill Control	1	1Y	RS
TMAMHAZ1	Hazmat (Initial and Recurring (CBT))	4	3Y	CR
MEDHCP00	Medical Hearing Conservation Program Clearance (Medical Exam)	4	2Y	QQ
QRH6085	Hearing Conservation	1	1Y	SP
TREGFW01	Fire watch/Patrol	3	0	CR
UDC00038	Asbestos Awareness	TBD	TBD	TBD
TBD	Heat Stress Training	TBD	TBD	TBD
TBD	Fall Protection/ Ladder Safety	TBD	TBD	TBD
UDC00052	Stop Work	1	0	BR
TBD	SDD New Employee Orientation Training	TBD	TBD	TBD
QHRG0000	Rad Worker Level II	4	2Y	QQ
TBD	SIRIM Reporting Criteria	1	0	BR
NSJGCON1	Conduct of Operations	2	0	CR
FESHAHA0	AHA Orientation	1	0	SP
UDC00018	PAPR Training	2	0	JP
TRPG8000	Dust Mask Training	0	0	RS
TRWG5100	Glovebag Installation and Removal	16	0	CR
QHRG5000	Radiological Containments	12	0	CR
QRRP7000	Respiratory Protection Issuance	2	2Y	SP
QRRP4000	General Respiratory Protection	2	1Y	QQ

(以下、60件省略)

(参考8) 廃止措置施設における安全研修コース例 (Example List of General Safety Courses for Workers)

From a U.S. National Laboratory with operating facilities and facilities undergoing decommissioning

#	COURSE TITLE	LENGTH IN HOURS
TRN1	Fall Protection Competent Person	8.0
TRN3	Portable Breathing Air Compressor Units	0.5
TRN4	Basic Respirator with Fit	2.5
TRN5	Self-contained Breathing Apparatus (SCBA)	1.0
TRN6	Airline Hood	1.0
TRN7	Respirator Issuer	1.0
TRN8	Basic Respirator, Classroom Only	2.0
TRN9	Airline Suit Training	0.75
TRN10	General Hazard Communication Training	1.0
TRN11	Overhead Cranes & Hoists Refresher	2.0
TRN12	Incidental Overhead Crane/Hoist & Rigging Initial	16.0
TRN13	Chemical Hygiene Plan (WB)	1.0
TRN14	Lockout/Tagout for Authorized Employees	7.0
TRN16	Forklift Operator Initial	8.0
TRN17	Mobile Crane Operator Initial	20.0
TRN18	Airline Respirator Training	1.0
TRN20	Scaffold User Course (WB)	1.0
TRN21	Aerial Lift Operator Initial	8.0
TRN22	Incidental Overhead Crane/Hoist & Rigging Refresher	4.5
TRN24	Aerial Lift Operator Refresher (CBT)	1.0
TRN25	Forklift Operator Refresher (CBT)	1.0
TRN26	Mobile Crane Operator Refresher	8.0
TRN27	Hazwoper 40 hour	40.0
TRN28	Hazwoper 24 hour	24.0
TRN29	Hazwoper 8 hour Refresher	8.0
TRN30	Overhead Cranes & Hoists Initial	15.0
TRN31	Hazwoper Supervisor 8 Hour	8.0
TRN32	Hearing Conservation (WB)	0.5
TRN33	Rigging Practices Initial	20.0
TRN34	Rigging Practices Refresher	2.0
TRN35	Lead Worker	1.3
TRN37	Asbestos Worker Initial	32.0
TRN43	Asbestos Contractor Supervisor Initial	40.0
TRN46	Asbestos Awareness	2.0
TRN47	Asbestos 16 Hour Operation & Maintenance Initial	16.0
TRN48	Respirator Fit Test	0.5
TRN49	Asbestos Inspector Initial	24.0
TRN50	Scaffolding Competent Person/Builder/User	6.0
TRN59	Higher Than Normal Risk Electrical Safety	3.0
TRN61	Overview of PRD-5099 & NFPA 70E (Rev. 2000)	4.0
TRN68	Storm Water Pollution Prevention (WB)	0.5

(以下、237件省略)

(参考9) 韓国政府による「原子力発電所解体技術細部分析」(通常炉の廃炉に必要な技術一覧)

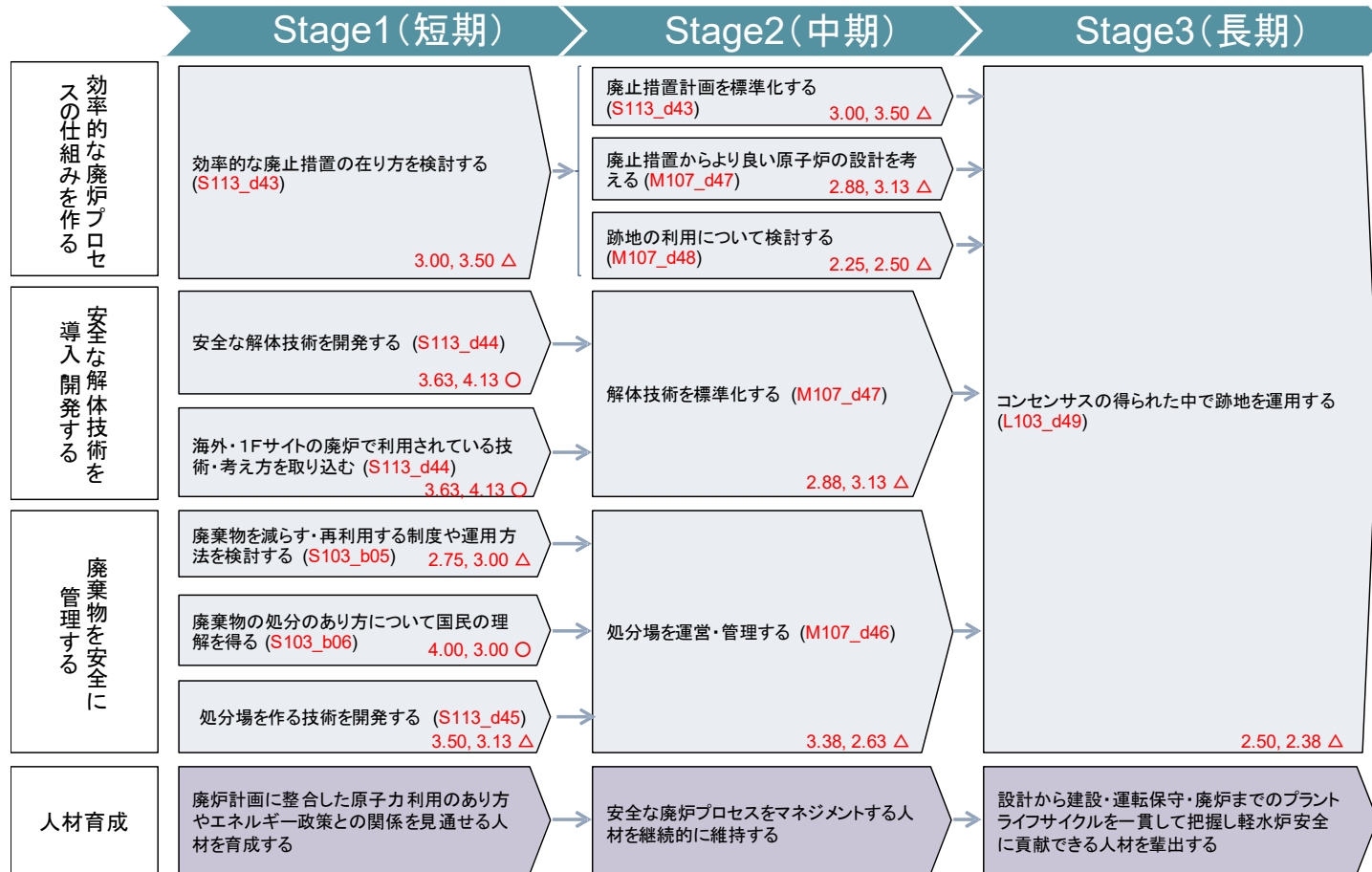
No	大分類	中分類	細部技術名	技術水準 (TRL)
1	設計許認可	事業管理	解体戦略・計画策定技術	8
2			解体工程策定技術	8
3			解体作業管理総合プログラム	7
4			解体物量算定及び費用評価技術	8
5			解体産業安全プログラム	8
6			火災防護プログラム	8
7			維持・保守プログラム	9
8			保安プログラム	8
9			品質保証技術	8
10			解体経済性評価技術	8
11			解体 3Dシミュレーション	8
12			解体工程難易度評価技術	6
13			知識情報管理技術	8
14		エンジニアリング	解体施設構造的診断技術	6
15			解体危険度分析技術	6
16			解体安全性評価技術	6
17			解体廃棄物運搬容器設計技術	8
18			使用済核燃料冷却/安全設計技術	7
19			Defueled安全性評価技術	7
20			解体施設設計変更及び隔離技術	6
21			高放射線原子炉解体方法論	7
22			解体工程評価技術	6
23			切断技術評価及び最適工程	7
24			廃棄物処理技術評価及び最適工程	7
25			除染技術評価及び最適工程	7
26			解体施設構造物系統機器再分類技術	8
27		特性評価	施設の放射線学的特性調査技術	7
28			施設の物理化学的特性調査技術	7
29			ソースターム及びインベントリー評価技術	7
30			表面汚染度測定及び評価技術	7
31			試料採取及び核種分析技術	8
32			非破壊測定技術	8
33			放射線測定及び評価技術	8
34		環境管理	環境影響評価技術	8
35			住民被ばく評価及び分析技術	8
36			放射性流出物監視	8
37		放射線管理	放射線非常計画	8
38			放射線防護プログラム	8
39			汚染管理技術(分類・監視・防止)	8
40			作業被ばく線量評価及び分析技術	8
41			汚染度/線量変化予測評価技術	6
42	除染	系統除染	キレート化学除染技術	6
43			キレート剤分解技術	7
44			非キレート化学除染技術	4
45		機器除染	噴射研磨除染技術	7
46			化学浸水除染技術	7
47			超音波除染技術	7
48			電解研磨除染技術	7
49			ナノ複合除染技術	5
50			プラズマ除染技術	7
51		コンクリート除染	コンクリート表面除染技術(scabbling, shaving)	7

No	大分類	中分類	細部技術名	技術水準 (TRL)
52	解体	機械的切断	のこぎり切断技術(Band, Wire, Wheel)	7
53			高圧水切断技術	7
54			せん断機切断技術	7
55		熱的/電氣的切断	プラズマ切断技術	8
56			酸素切断技術	8
57			高効率熱的切断技術(レーザー)	4
58		遠隔制御	遠隔操作、取扱、制御	5
59			高荷重取扱遠隔精密制御技術	4
60			3Dヒューマンマシンインタフェース技術	3
61			遠隔解体装置耐放射化技術	4
62			実感型遠隔切断シミュレータ	8
63			高自由度遠隔切断統合評価技術	4
64	廃棄物処理	固体・液体・気体廃棄物	コンクリート廃棄物減容技術	8
65			コンクリート廃棄物安全化技術	8
66			金属廃棄物切断及び除染技術	8
67			金属溶融技術	8
68			液体廃棄物処理(濾過・膜分離・IX)	8
69			気体廃棄物処理	8
70			スラッジ処理	6
71		特殊廃棄物	固体特殊廃棄物処理(石綿/PCB)	7
72			汚染Resin処理技術	5
73			トリチウム処理	5
74			放射性炭素処理	5
75		廃棄物再利用	コンクリート廃棄物再利用技術	8
76			金属体放射能評価及び再利用技術	8
77			解体廃棄物再利用安全性評価技術	8
78		その他	解体廃棄物内放射性核種測定及び評価	6
79	敷地復元	残留放射能測定	地下水監視及び汚染評価技術	6
80			試料代表性評価技術	7
81			汚染深度分布測定技術	5
82			実時間放射能現場測定技術	6
83		敷地復元	敷地復元指針開発	6
84			汚染地下水復元技術	6
85			汚染土壌除去及び処理技術	9
86			敷地再利用評価及び戦略策定技術	6
87		敷地規制解除	最終敷地状態評価技術	7
88			敷地規制解除指針/安全性評価技術	6
89	その他原子	運営原子力発電所	除染による材料健全性評価技術	5
90	力施設解体	核周期施設解体技術	有機混成廃棄物水蒸気改質処理技術	7
91			ウラン廃棄物処理技術	7
92			T R U含有廃棄物処理技術	4
93		事故対応技術	大容量高放射性廃液処理技術	5
94			高放射性廃棄物安全化技術	5
95			広域汚染拡散抑制技術	5
96			住居地域汚染復元技術	4

## 2-5. 先行事例（軽水炉安全技術・人材ロードマップ）

1. 原子力人材に係る最近の政策的取組としては、経済産業省と日本原子力学会の「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」（平成27年6月）がある。
2. ここでは、「東京電力福島第一原子力発電所**以外**の廃炉を含めた軽水炉の安全技術・人材の維持・発展に重点」を置いた原子力安全技術・人材に関するロードマップを示すとしており、1F廃炉は除外されている。
3. 通常炉の廃炉に関しては、「⑤既設炉の廃炉の安全な実施」のロードマップが示されており、このうち人材育成に関しては
  - (1) Stage 1（2020年まで）には「廃炉計画に整合した原子力利用のあり方やエネルギー政策との関係を見通せる人材を育成する」
  - (2) Stage 2（2020年から2030年まで）には「安全な廃炉プロセスをマネジメントする人材を継続的に維持する」
  - (3) Stage 3（2030年から2050年まで）には「設計から建設・運転保守・廃炉までのプラントライフサイクルを一貫して把握し軽水炉安全に貢献できる人材を輩出する」とされている。（参考10）

(参考10) 軽水炉安全技術・人材ロードマップ（平成27年6月時点）  
うち「⑤既設炉の廃炉の安全な実施」ロードマップ



(注1) Stage1(短期)は現時点から2020年まで、Stage2(中期)は2020年から2030年まで、Stage3(長期)は2030年から2050年までの期間を表す。

(注2) ロードマップ中、(S101M101L102\_z01)といった要素課題を識別する英数字、◎○△といった重要度分類を示す記号、その横に付された数字(点数)は、日本原子力学会における検討結果である「要素課題に対する重要度評価の結果」より引用。

<ロードマップ中の記載例>

1F事故を踏まえ安全目標の自主的な再設定を行う (S101M101L102\_z01) 4.71, 4.43 ◎

(注3) 各要素課題に関する現状分析、実施機関及び資金担当主体等に関する詳細情報は、日本原子力学会が公開している「課題調査票」を参照。

(出典) 総合資源エネルギー調査会自主的安全性向上・技術・人材ワーキンググループ、日本原子力学会安全対策高度化技術検討特別専門委員会「軽水炉安全技術・人材ロードマップ」(平成27年6月)



## 3-1. 廃炉研究開発人材のための技術マップ試案

1. 以上を踏まえ、NDFでは、東京電力ホールディングス及びプラントメーカー3社と共同で、廃炉研究開発人材のための技術マップ試案を作成した。（資料2-4-2）
2. 作成の方針は次の通り。
  - (1) 人材が活躍する場面で整理するため、原子力産業の各段階で大きく区切った。（行：縦軸）
  - (2) 人材の専門性を検討するため、専門分野ごとに大きく区切った。（列：横軸）
  - (3) それぞれのセルに、人材が有すべき（必要とされる）技術を「技術課題」のレベルでリストアップした。この際、なるべく技術課題の出現順となるよう配列した。
  - (4) その上で、「1F・事故炉の廃止措置」の行にある技術課題のうち、上の行（他の原子力産業の段階）に
    - ① 類似の項目が存在する技術課題は、黄色■で塗りつぶした
    - ② 類似の項目が存在するが、課題の前提や求められる対応のレベルが大きく異なる技術課題は、緑色■で塗りつぶした
    - ③ 類似の項目が存在しない特有の技術課題は、赤色■で塗りつぶした
3. なお、法務・財務やプロジェクト管理など、技術分野ではなく研究開発と直接かかわらない職能についても、1F廃炉に必要な人材という観点からは重要であると考えられるため、便宜上、「その他」に挙げた。

## 3 - 2. 廃炉研究開発人材のための技術マップ試案

資料2-4-2参照

# (参考) 各技術課題のブレイクダウン例

なお、資料2-4-2の各セルの中に列挙された項目（技術課題）をブレイクダウンすると、その解決のためには、さらに細分化された要素技術や知識が必要とされると考えられる。

## 遠隔工作・計測機器（取り出し装置）のブレイクダウン例

- ロボティクス
  - アクセス機構（遠隔移動機能）
  - 位置認識技術
  - 操作性（マンマシンインタフェース）
  - マニピュレータ（多自由度制御）
  - インテリジェント制御機構
- センシング機構
  - 視認性
    - 耐放カメラ
      - 撮像素子（撮像管、CIDカメラ、SiC半導体、ダイヤモンド半導体、…）
      - 像形成（コンプトンカメラ、3D合成技術（逆問題解析）、…）
  - 各種計測機能（中性子、ガンマ線、アルファ線、…）
    - 電離計測（GM計数管等）、シンチレータ、…
    - その他センサー技術
- 取り出し機構
  - 工作機能（切削、破碎）
    - 機械加工技術（ボーリング、ドリリング）、レーザー加工、放電加工（アーク放電）、ウォータージェット、その他切削加工・研削加工
    - 高出力・高トルク性確保（強磁性体、パワーエレクトロニクス、…）
  - 回収機能
    - 吸引装置、接着装置、汲み取り装置、把握保持装置…
- その他
  - システム全体の耐放射線性確保
  - 遠隔通信技術（有線、無線）
  - 遠隔メンテナンス技術

注）ここに挙げた要素技術は、現時点で実際に1F廃炉に適用することを想定されていない技術も含まれており、また、網羅的なものではない。

## 4 - 1. 技術マップ試案の解釈

1. 基本的に、黄色 ■ や緑色 ■ の項目は、既存の原子力産業における技術・人材プールを活用し、トレーニング等により人材を調達することが可能と考えられるのではないかな。
2. 一方、赤色 ■ の項目は、既存の原子力産業に限らない幅広い分野に技術・人材を求め、あるいは計画的に育成していく必要があるのではないかな。
3. その他、技術マップ試案を見るところ、例えば次のような解釈ができるのではないかな。
  - (1) 一般に、事故炉の廃炉は、アルファ核種やFP等を取り扱う化学プラントである再処理技術との共通性が高いと言われるが、「1F・事故炉の廃止措置」と「核燃料・廃棄物」において、技術課題の共通性（黄色 ■ 及び緑色 ■ ）が認められ、こうしたコア技術・人材を活用していくことができるのではないかな。
  - (2) 「1F・事故炉の廃止措置」と「通常炉（非事故炉）等の原子力施設の廃止措置」の間には、1Fの立地（地下水等）による特殊事情、1F内部の不確実性の高さ、アルファ核種やFP等による線量の高さに起因する技術課題の違い（赤色 ■ 及び緑色 ■ ）があり、これをどのようにカバーしていくかが課題ではないかな。
  - (3) 1F廃炉においては、例えば除染や廃棄物保管管理など、一つの技術課題でも複数の専門性からの対応が必要とされるものがあり、複数の専門性をまたぐ、俯瞰的な人材が求められるのではないかな。

## 4 - 2. 技術マップの活用方針

1. 今回の廃炉研究開発人材のための技術マップ試案は、1F廃炉のために必要な技術の全体像、必要とされる1F廃炉人材の像を把握するために作成したもの。
2. 各機関は、この技術マップを
  - (1) 1F廃炉技術の全体像の明示的な把握
  - (2) 自社人材の強みの明示的な把握
  - (3) 研修プログラムの整備
  - (4) 既存の原子力産業にとどまらない幅広い層からの人材確保策の検討など、今後の人材育成・確保のために活用していくことを期待。