

第5回原子力人材育成作業部会

原子力人材・技術の維持について

2016年3月17日

一般社団法人 日本電機工業会
原子力技術委員会 委員長

吉村 真人

1.原子力を支える技術

原子力発電プラントやサイクル施設の設計・建設・運転・保守・廃止措置にあたっては、**S+3E**という**社会的な使命**にこたえる必要がある。

そのためには**原子力固有の技術**が必要であるのはもちろんのこと、**電気・機械などの高度な設計能力、製造能力**のほか、高度な**プロジェクトマネジメント**や**エンジニアリング**能力が求められる。

継続的な原子力発電プラントの建設により、これまでは必要な人材の維持が可能であった。

1.1 原子力を支える固有の技術

○原子力を活用する点で、**原子力固有の技術が必要になると共に**、火力発電等以上の**安全性**が要求され、**膨大な物量の部品や厚肉の部品を高精度に取り扱う技術が求められ**、かつ**高い品質要求**を満足させながらの作業となるため、**高度なプロジェクトマネジメント、エンジニアリング能力が必要**とされる。

プラント建設
の各工程

基本設計



詳細設計



製作・検査・建設



試運転

●炉心・燃料計画

- ・核的・熱的な安全上の制限を満足する炉内燃料配置、制御棒パターン等を決定
- ・中性子や核分裂挙動等の原子炉物理に関する専門知識、核熱特性の高精度シミュレーション技術が必要

●安全設計、安全解析

- ・深層防護の思想的確に機器・系統・構造物に展開・反映、各種の異常・事故事象を解析してその妥当性を確認
- ・原子炉の異常・事故事象に特有な核熱現象の把握やシミュレーション技術（炉心動特性計算技術、伝熱流動計算技術）が必要

●系統設計

●配置設計、プロットプラン

●遮蔽・被ばく評価

- ・放射性物質を内包する配管等からの放射線を遮蔽し、従業員の過度の被ばくを防ぐとともに、事故時や通常運転時における周辺公衆や従業員への被ばく影響を評価
- ・放射性物質の挙動の物理的知識、内包流体等の化学的挙動等の幅広い知識が必要

●炉構造・熱水力設計

- ・高温高速流体の中で使われる構造物の設計等
- ・常温から高温までの温度変化、中性子照射の影響や流動振動を考慮した設計技術や、耐震設計技術が必要

●制御・保護設計

●電気計画、計装計画

●材料計画 …等

●原子力特有の特殊設備の設計・製造

- ・原子炉容器、炉内構造物、制御棒駆動装置、原子燃料、燃料取扱装置、蒸気発生器、安全系のバルブ等

●構造設計

●耐震設計

- ・基準地震動の設定条件が他産業プラントと比較し非常に厳しく、また、プラント個別設備（機器、配管等）ごとに重要度に応じて耐震クラスが設定されるのが特徴

●工事計画

●建設計画

●各種技術規格・基準

●高精度厚肉設計

…等

●機器製造、調達

- ・大型鋼塊の鍛造技術、火力プラント等よりも高精度な溶接・加工・組立・検査技術が必要（電子ビーム溶接、超大型複合工作機による大型機械加工等）

●溶接等、資格取得

●成形加工：

鏡、管台、管曲

●機械加工：大物加工

●組立：重量物、低歪

●清浄度：副資材、異物

●溶接事業者検査

- ・高放射線環境下での遠隔操作による高精度な溶接と検査技術

●非破壊検査、特殊検査

●使用前検査対応 …等

●工事安全計画・管理

●工程管理、人員管理

●ヤード計画

●クレーン計画

●使用前検査対応

●高度な重機器据付技術

●格納容器据付技術

●マテハン技術

●建設工法高度化技術

- ・建設プロセス改革、IT活用、大型クレーン活用、機電・建築一体モジュール工法

…等

●単品機能試験

●試験工程・計画（使用前検査含）

●試運転プラント操作

●全系統フラッシング

●プラント異常診断

●不測事態対応

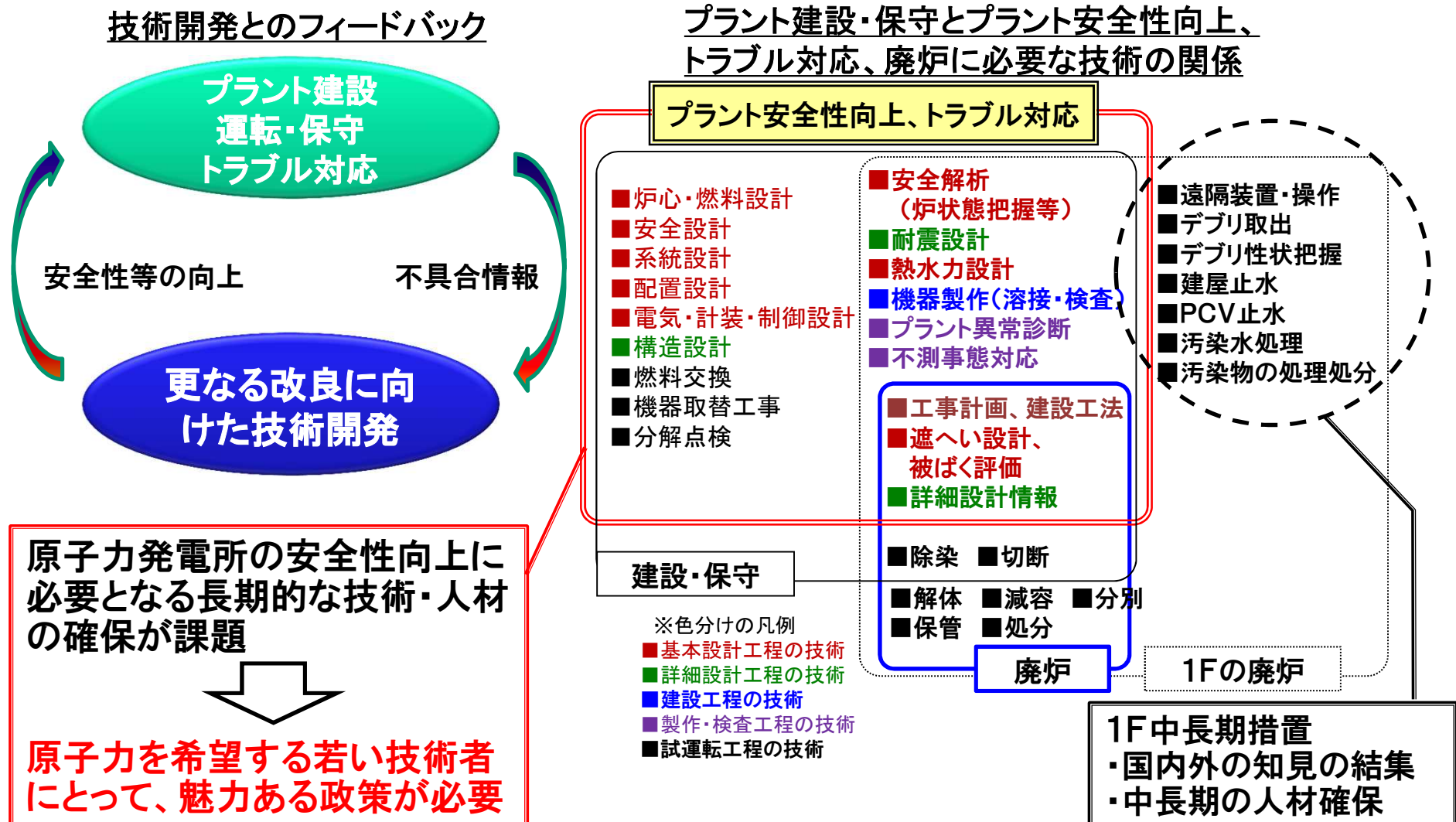
… 等

・原子力固有のもの：●色

・他電源でも共通するが、原子力と要求レベルが異なるもの：●色

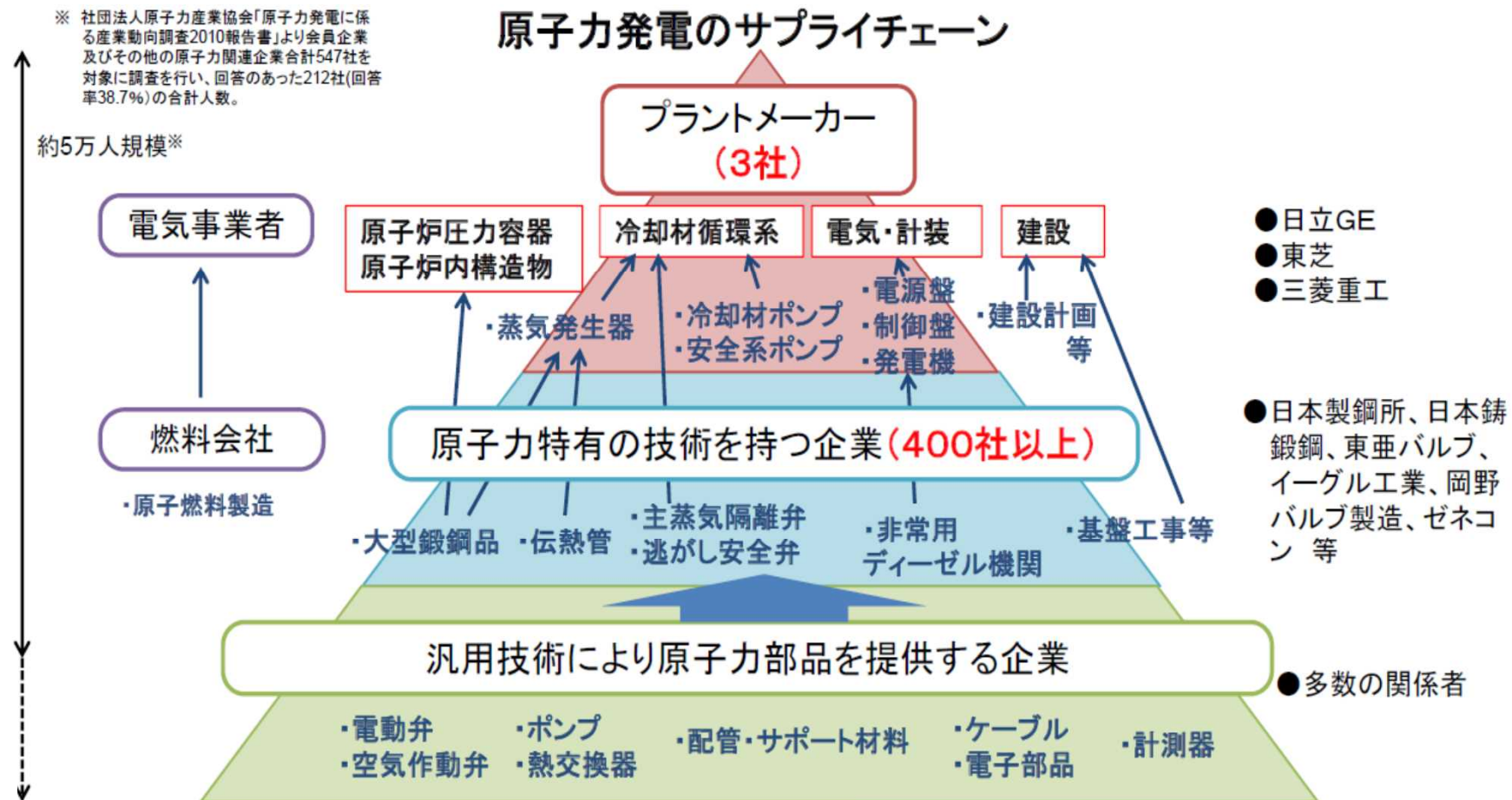
1.2 原子力支える技術分野の広がり

- 原子力発電所の安全な運用には、幅広い技術と人材の厚みの維持が必要
- 教育機関の継続的な人材供給と基礎・基盤研究を期待



1.3 原子力を支える国内のサプライチェーン

○ 国内の原子力建設は、**400社以上の原子力関連企業**によって支えられており、**地場産業等(素材、弁、各種補機・部品メーカ)**を含めた**国内企業全体で技術伝承・向上が必要**



1.4 核燃料サイクルにおける技術・人材の維持

- 「エネルギー基本計画」では、原子力を重要なベースロード電源と位置付けるとともに、**核燃料サイクルの推進を基本的方針**としている
- 核燃料サイクル(高速炉・再処理)についても、**高度な軽水炉技術を基盤**としている
- 加えて、**核燃料サイクルに特有の技術維持・伝承が必要**

高速炉特有技術

高速中性子

- ・高速炉燃料・炉心設計・評価 等

ナトリウム冷却材

- ・Na熱流動・熱過渡設計・評価
- ・Na漏洩対策技術
- ・Na特有機器設計・製作技術 等

高温・低圧

- ・高温構造設計・評価
- ・薄肉機器設計・製作 等



再処理特有技術

未臨界維持

- ・濃度管理・形状管理設計・評価 等

化学処理(溶媒抽出)

- ・化学溶解・抽出技術
- ・耐腐食材料
- ・溶解・抽出特有機器設計・製作 等

負圧・閉じ込め

- ・負圧制御設計・評価 等

軽水炉の安全性向上に必要なメーカの技術

基本設計

- ・炉心・燃料設計
- ・安全設計・安全解析
- ・系統設計
- ・熱水力設計
- ・配置設計
- ・電気・計装・制御設計
- ・遮蔽・被曝評価 等

詳細設計

- ・構造設計
- ・耐震設計
- ・技術規格・基準
- ・許認可対応
- ・設置許可・工認
- ・高精度厚肉設計
- ・詳細設計情報 等

製作

調達

- ・燃料製造
- ・主機・補機・配管
- ・調達・検査
- ・溶接等、資格取得
- ・成形・機械加工
- ・組立・溶接・清浄度 等

据付

- ・現地据付工事 (CV,重機器・設備)
- ・建設工程・人員
- ・納入品管理
- ・クレーン計画
- ・使用前検査対応
- ・工事計画・工法 等

試運転

- ・単体機能試験
- ・試験工程・計画
- ・プラント操作
- ・系統フラッシング
- ・プラント異常診断
- ・不測事態対応 等

保守

- ・予防保全計画
- ・点検・検査
- ・診断・モニタリング
- ・健全性評価
- ・劣化緩和
- ・設備改善・補修
- ・機器取替 等

2. 原子力事業の現況と人材需給

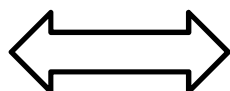
東京電力福島第一原子力発電所の事故

社会的受容性低下

既存発電所の安全性向上

廃炉プラント数の増加

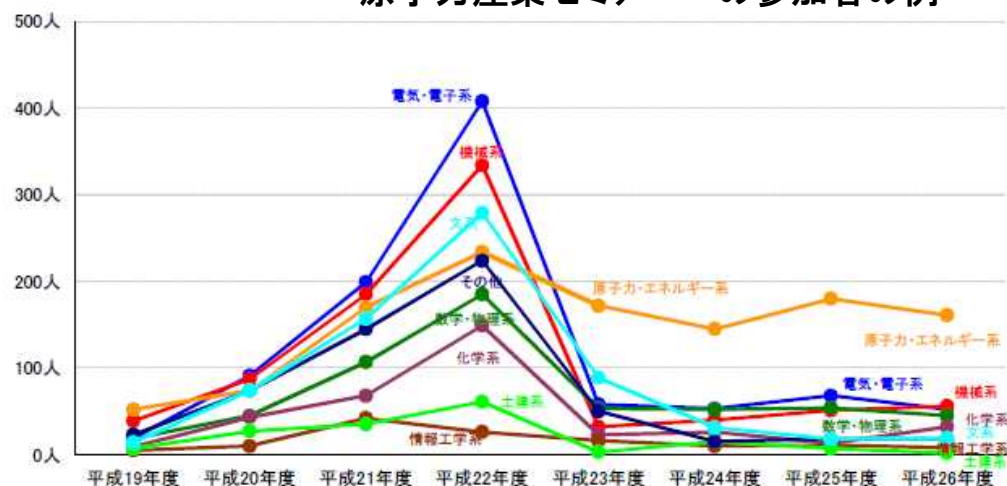
志望学生数の低下



原子力産業人材維持・増加が必要

来場学生の学科別人数の経年変化
(東京会場+大阪会場)

原子力産業セミナーへの参加者の例



海外での原子力発電需要

3. 教育段階に求められる施策

●原子力人材・技術の維持のためには社会的受容が前提

➢エネルギー情勢・環境問題・原子力の社会的意義などの教育を初等教育から実施

➢廃炉だけでなく、国内新設炉計画の存在が有効

(廃炉の人材は、総合的なプラント設計の理解が必須である)

●専門知識習得者の質・量も必要であるが、それにも増して基礎学力(科学的思考力)のしっかりした人材が必要

➢原子力の専門知識は産業界においても習得が可能である

➢プロジェクトマネジメントや総合的エンジニアリングの能力が求められる

これらにおいては、基礎学力が前提

●上記には、国家的な研究開発も有効

➢ 研究開発プロジェクト ・ 試験研究設備の充実

施策	国	大学	事業者	メーカ
社会的受容性の向上	◎	○	○	○
基礎学力の向上	○	◎	○	○
専門知識習得者の増加	○	◎	◎	◎

4. 次世代人材育成へのメーカ取り組み①

1) 「原子力人材育成ネットワーク」を通じた活動

● 原子力基礎教育シリーズセミナー

我が国の16大学が連携協力して国内外の原子力教育を実施する、国際原子力人材育成大学連合ネット(代表:東京工業大学)で、TVシステムを用いた講義配信による原子力基礎教育シリーズセミナーを開催。産業界は事業協力機関として講師派遣、研修受入等。(毎年度シリーズ開催)



● 「未来を担う原子力施設」見学会

原子力に興味を持ってもらい原子力産業を肌で感じてもらうため、日頃、原子力、放射線とはなじみの少ない原子力を専攻していない大学生や高専生を主な対象に、業界施設の見学機会及び原子力学習機会を提供。(関東/関西各年2回)



● 原子力産業セミナー

大学生・大学院生、高専生を主な対象に、学生及び原子力産業に関わる企業・機関の就職・採用活動の支援、ならびに原子力産業への理解促進・情報提供を目的とした合同企業説明会に参加。出展ブースでの会社説明、若手社員の講演等を実施。(関東/関西毎年開催)



4. 次世代人材育成へのメーカ取組み②

2) 日本原子力学会を通じた活動

- 若手研究者発表討論会参加

企業・研究機関等の若手研究者、大学等教育機関の若手職員及び学生を対象に毎年開催される討論会。若手研究者同士の討論やベテランの学会員からのアドバイスなど若手研究者の双方向の交流の場として活用。

- その他の学会企画活動参加

- ✓ 施設見学会
- ✓ 学生研究発表会

3) その他の活動

- 社外PA・教育支援活動

- ✓ 大学等への講師派遣、諸機関の活動への協賛
- ✓ 寄附講座 など

5. メーカ技術者育成の取組と課題

継続的教育・研修を通じてのプロフェッショナル人材育成

- 技術者倫理教育
 - ✓ コンプライアンス教育
 - ✓ 原子力安全文化醸成 等
 - ✓ 予防倫理/志向倫理学習
- スキル教育(各種資格取得支援)
 - ✓ 技術士・プロジェクトマネジメント資格
 - ✓ 原子炉等規制法、放射線障害防止法等に定める国家資格 等
 - ✓ 博士号
- グローバル教育研修・派遣
 - ✓ 原子力国際人材養成コース
 - ✓ グローバル ビジネススキル研修
 - ✓ 海外ビジネススクール、海外社費留学、海外業務研修 等

OJTを通じてのマネジメント・エンジニアリング能力向上

- 国内プラント建設/保守
- 研究開発プロジェクト
- 海外プラント建設

継続した機会創出が必要

5.1 国内プラント新設による人材・技術維持の必要性

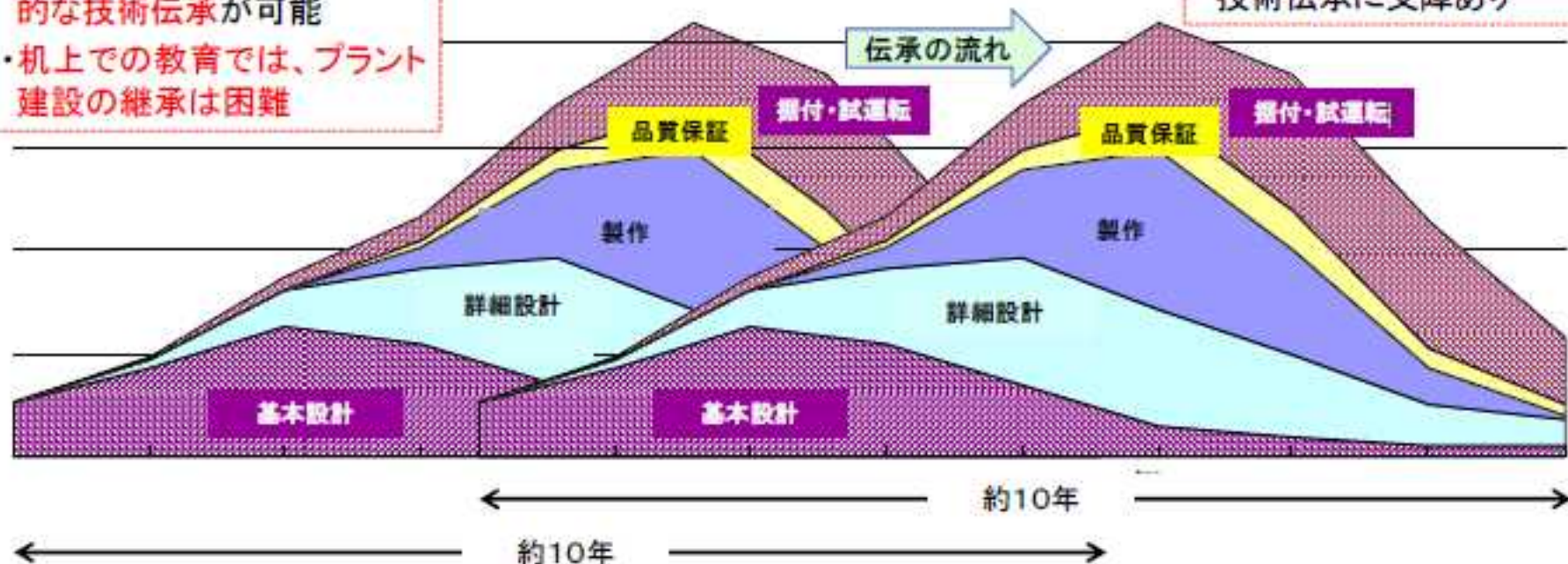
- 国内プラントの安全性維持・向上は、約50年に亘り継続的に積み重ねてきた建設・保守経験とその技術伝承によって実現
- 引き続き、これらの安全性向上に必要な高度な技術力・人材を維持していくためには、既設プラントの保守業務の継続に加え、2プラント以上/10年・メーカーの新設プラントの建設が必要
- 尚、運転プラント数減少により保守業務が減少する場合においては、継続的に質の高い技術・人材を維持するために、更なる新設プラントの建設が必要

・経験者と若手との連携の下、**実プラントを通じた経験(OJT)**があって初めて、具体的な技術伝承が可能

・机上での教育では、プラント建設の継承は困難

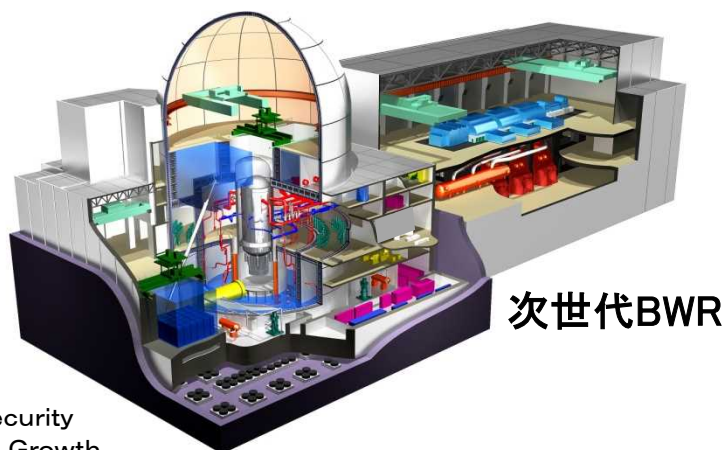
《プラント建設と技術の継続性》

・製作、据付・試運転、品質保証等については、海外新設、廃炉業務だけでは技術伝承に支障あり



5.2 技術・人材の維持・向上に資する研究開発の必要性

○原子力発電所全体をカバーする技術開発は、国を挙げた取り組みが必須



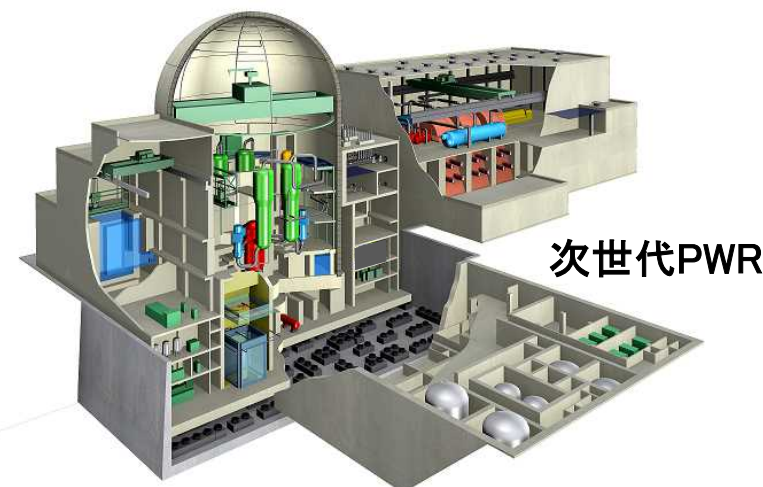
次世代BWR

Safety
Energy Security
Economic Growth
Environment

S+3Eに必要な技術

- ・ 安全性向上技術
- ・ 炉心・燃料の高度利用技術
- ・ 免震・建設工法等プラント技術
- ・ 構造・材料・化学・IT等基盤技術

+



次世代PWR

事故の教訓の反映

- ・ 深層防護の強化
- ・ 炉心損傷の防止
- ・ 放射性物質放出の抑制

安全性を高めた原子力発電所で国際社会に貢献

- 諸外国からの日本の技術に対する高い期待
- 研究開発による安全性向上及び継続した建設と適用
- 研究開発を通じて新しい技術にチャレンジ
- 産業界、官民研究機関、大学等のノウハウ結集

国際社会への貢献

原子力発電への信頼

人材の維持・向上

5.3 研究開発を支える施設・設備強化の必要性

- 原子力発電の利用計画が不透明では、企業の研究開発投資が維持できない
- 基礎基盤研究の継続は重要（ウラン資源持続的活用、高レベル廃棄物減容等を含む）
- 大学や国の研究機関の研究施設の維持、性能向上が中期的課題



- 国全体として、共通のインフラ整備が必要
- インフラの相互利用など、国際連携の枠組み強化が必要



JRR-3



日本原子力研究開発機構
ホームページより

国内の研究用原子炉に関する現状と課題

- ・国、大学等の試験研究炉では、寿命延長するのか廃止するのか、次の研究炉はどうするのかといった現実的な課題に直面しているが、**実習や実験**を通じて**原子核現象を教育・研究していく場**を確保しておくことが重要。
- ・原子力の安全を考えるためにも、基礎工学研究・安全研究等の基礎・基盤研究の強化とともに、それらの**研究を支える施設・設備の維持**や、安全を担う人材の継続的な育成・確保が重要。
- ・日本原子力研究開発機構や大学等の試験研究炉や量子ビーム照射施設、ホットラボ等の原子力施設については、老朽化が進む中、継続的な維持・管理や新規整備が困難な状況にあるため、高経年化対策に加えて、**戦略的・集約的整備及び共有**の在り方について検討を進めることが必要。なお、**国においても必要な支援を行っていくことが必要**。

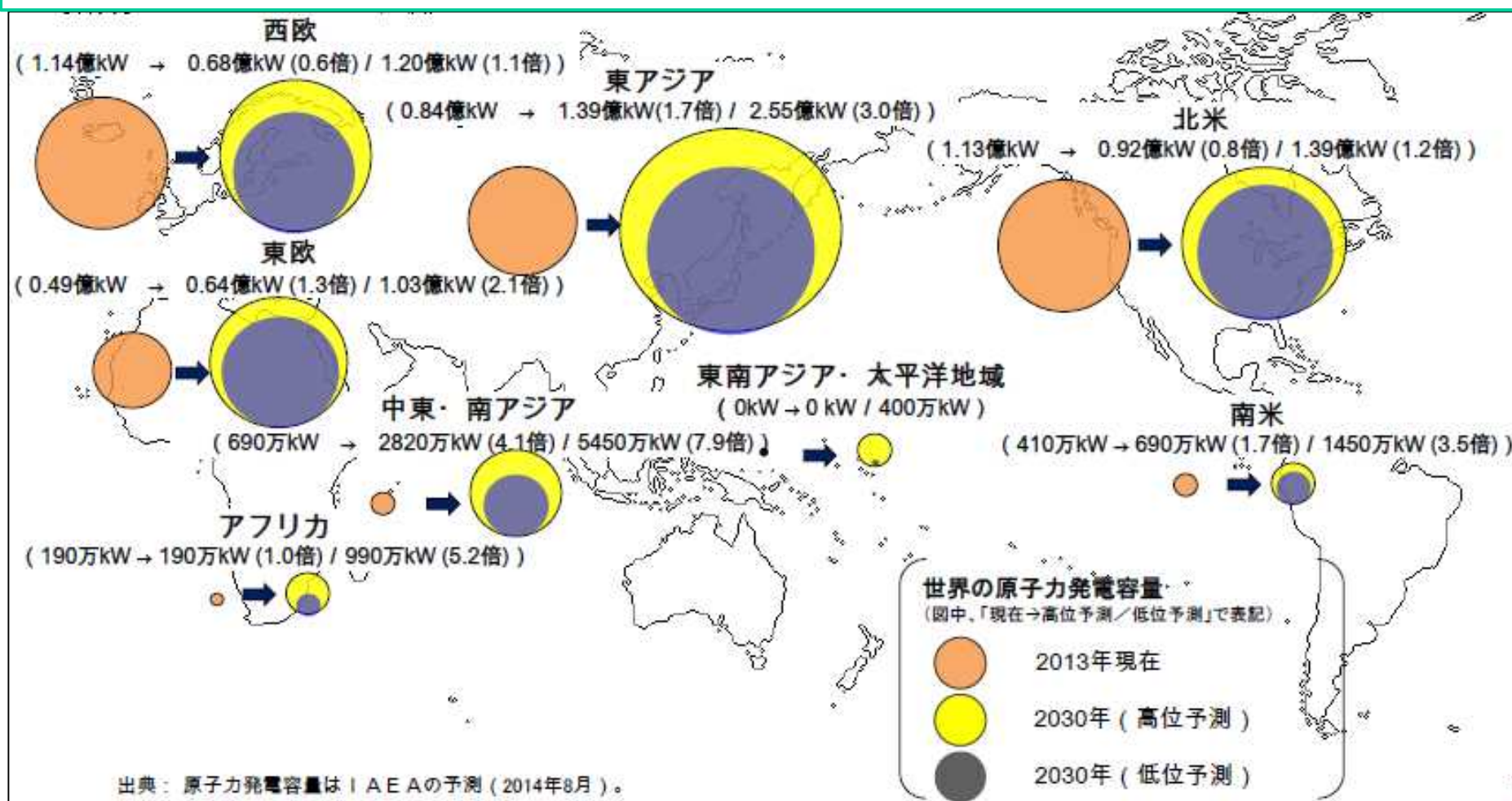
5.4 国内実績に基づく国際展開

○新興国を中心とする世界の需要に応える為には、国内基盤の維持が前提

○国内実績や利用政策を前提に、メーカ各社が世界市場にチャレンジ

○国際協力の枠組みを強化する為には国の支援が必要

- ・ 二国間協定
- ・ 国際人材の育成
- ・ 原賠法
- ・ 資金協力



5.5 最新設計の原子力発電プラントによる国際展開

- 福島第一原子力発電所(1F)事故後も、日本の技術に対する期待は大きい
- **1F事故の教訓を反映した技術で世界に貢献**することは、日本の責務



5.6 海外プラント新設では技術・維持に限界

- 海外新設プラント建設で維持できる国内の技術・ノウハウは、プロジェクトマネジメント(一部)、基本設計、詳細設計、主要機器の製作、検査等。
- 汎用機器の供給、建設・試運転等の作業については、ローカル企業等が実施。
- 海外新設プラントの建設は、我が国の原子力に関連する汎用技術を有する企業や地場企業の高度な技術・人材の維持に対する貢献が期待できない。

プラント建設におけるフェーズ	海外新設プラントの建設で得られる技術・ノウハウの国内産業へのフィードバック
プロジェクトマネジメント (プラント計画・設計・製造・工事の全体とりまとめ)	△ (現地特有のビジネス習慣に沿った技術の習得)
基本計画／基本設計 (構造設計、制御・保護設計、系統構成等)	△ (基本設計は国内実績をベースに現地要求に合わせて変更)
詳細設計 (材料手配、公認解析、製作情報、原子力特有の要求に応じた特殊設計等)	△ (主要機器の設計・製造は国内技術適用) (現地の条件に合わせて詳細設計を実施) (現地のサプライチェーンに合わせた調達)
製作 (成形加工、組立、溶接等)	
建設 (工事計画、仮設計画、納入品管理、施工管理、設備点検・保守管理等)	△ (基本計画は国内技術、現地の技能に合わせたマネジメント)
試運転 (フラッシング*、プラント運転、系統管理、プラント異常診断、不測の事態への対応等)	△ (国内基準の適用、先進国は現地の法令で実施)
検査 (品質保証計画、非破壊検査、溶接事業者検査、据付検査等)	△ (主要機器についても、調達で対応する可能性が出てくる)

*フラッシング: 耐圧・機能試験との整合

6. 原子力産業界で働くことの意義・魅力

社会的使命と課題の解決へ向けて技術で挑戦

- エネルギー安定供給への貢献

- ✓ 核燃料サイクル(再処理、プルサーマル等)の確立を通じて純国産資源を活用

- 日本経済の発展への貢献

- ✓ 新規制基準適合プラントの再稼動を通じて安定・低廉電源を供給

- 環境問題への貢献

- ✓ 地球温暖化対策としての原子力発電の役割
- ✓ 放射性廃棄物の減容、有害度低減の研究開発

- 国際社会への貢献

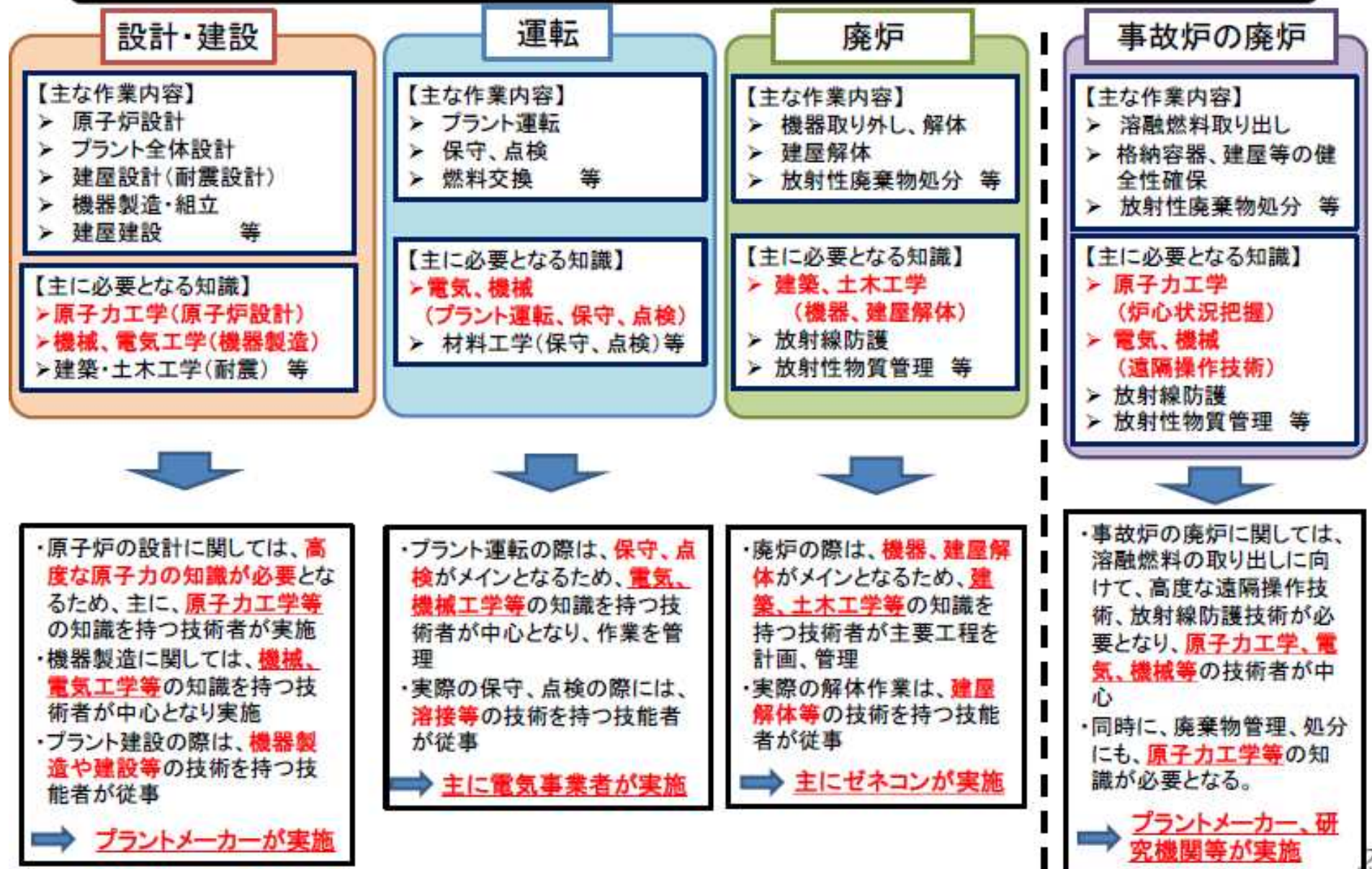
- ✓ 安全性の高い原子力プラントを世界に供給し、グローバルなニーズに対応

7. まとめ

- 原子力施設の設計から廃炉に至るまで、原子力安全の維持や健全な事業運営には、一貫した高度な原子力技術が、継続的に維持・向上されることが必要
- 福島第一原子力発電所事故の反省を踏まえた高い安全性を有する技術及び原子力発電プラントの供給により、原子力への必要性に応えていくことはメーカの責務
- それに必要な技術・人材の維持向上には、産官学の協力が必要
- 国を挙げた取組みによる原子力の社会受容性向上が前提
- 技術開発推進と基礎研究基盤強化は国のイニシアティブが必要
- 教育界には十分な基礎学力を有する次世代を担う人材の継続的な供給を期待
- 原子力技術の維持・向上においては、国内炉新設計画の存在が有効
- メーカは原子力の技術・人材を向上させて、国内外の原子力事業発展に貢献を継続

参考資料

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



原子力発電の各段階ごとの必要人員の規模感と主要な課題

主体 段階	研究機関・大学	プラント メーカー	関連部品 メーカー	工事会社	電力会社
研究・開発					
設計・建設					
運転・保守					
廃炉・廃棄物 処理／処分					
事故炉の 廃止措置					

＜各段階ごとの主要な課題＞

魅力的かつ挑戦的な課題に立ち向かう研究開発プロジェクトがないと優秀な若手人材の確保は困難ではないか。

設計・建設という国内外における「生きた仕事」がなければ、建設・保守の観点を反映した設計ノウハウの取得等、人材・技術の維持は困難ではないか。

海外建設があったとしても、国内の熟練技能者の維持、運転・保守に係る情報蓄積等、運転・保守に係る人材・技術の維持は困難ではないか。

廃炉において求められる知見は、主に建築、土木工学等であり、原子力安全に関しては放射線防護・管理等の一部の知見。廃炉だけでは原子力安全全般に係る必要な人材の確保は困難ではないか。

※ 円の大きさは各主体における必要人員の規模の大きさを表している