

事故耐性燃料（ATF）の実現に向けた課題の整理

昨年度ワークショップの全体討論を踏まえて

東京大学 阿部 弘亨

昨年度の総合討論（一部再掲、一部追記修正）を踏まえた議論

+

提案

ATFを、Advanced Technology Fuelと読みましょう。

そして、ATFは、燃料被覆管に限定されない、

新しい高性能燃料の開発であることを意識していきましょう。

このWSでは、課題を整理し、新たな提案を行いたい。

技術成熟度 (TRL)

TRL			燃料設計及び製造・品質管理に関する各TRLレベルの一般定義	
			燃料設計 (核設計、熱水力設計、安全性評価含む)	製造・品質管理
実用 開発 段階	実用システムの運転	9	商用炉で使用されている状態	商用製品として生産されている状態
	実用システムの検証	8	製品の設計が認可された状態 (詳細設計)	採算性を伴って量産が可能な状態
		7	商用炉での安全性が認められた状態	工場規模での生産が可能な状態
工学 実証 段階	工学技術の証明	6	商用炉において燃料集合体として使用可能と判断できる状態	燃料集合体の製造が可能であり、かつ製品検査技術が確立された状態
	工学技術としての開発	5	商用炉において燃料棒として使用可能と判断できる状態	商用炉で使用可能な燃料棒の製造が可能な状態 (フルスケール燃料棒)
		4	商用炉のためのプロトタイプ燃料棒の設計に必要な材料特性が把握されている状態	燃料棒としての性能試験 (炉外試験及び照射試験) で使用可能なプロトタイプ燃料棒の製造が可能な状態
原理 実証 段階	フィジビリティの証明	3	原子炉環境での材料特性が把握されており、燃料棒の設計成立性が評価されている状態	原子炉環境での材料特性試験 (炉外試験及び照射試験) で使用可能な管状試験片の製造が可能な状態
	要素技術の提案と調査	2	概ねの材料特性が把握されており、それに基づいた概略評価により実用化された場合の影響 (利得) 評価がなされている状態	材料特性を把握するために必要な試験片が製造できている状態
		1	原理的に実現可能性のある候補技術が立案され、主な開発課題が抽出されている状態	原理的に製造可能な状態

日本の開発体制

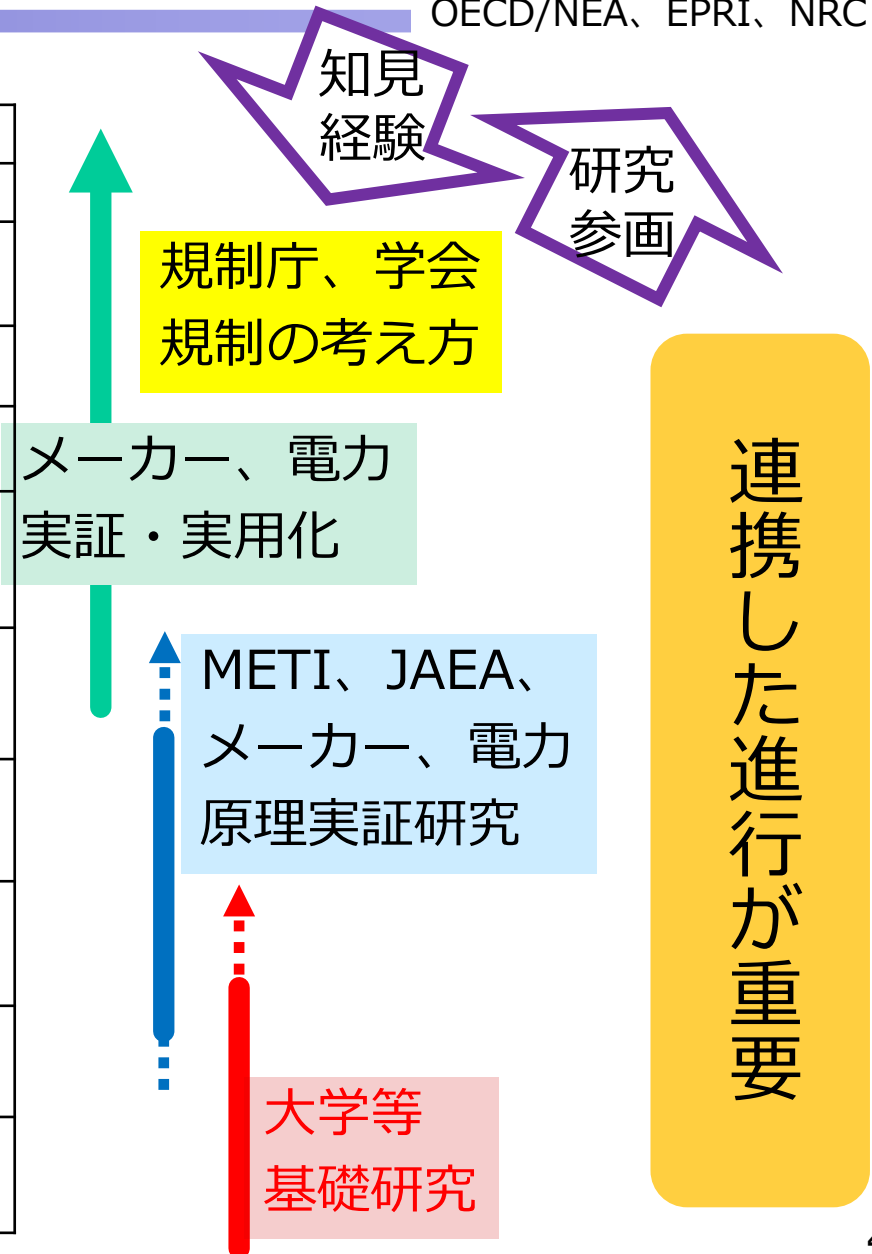
海外機関

OECD/NEA、EPRI、NRC

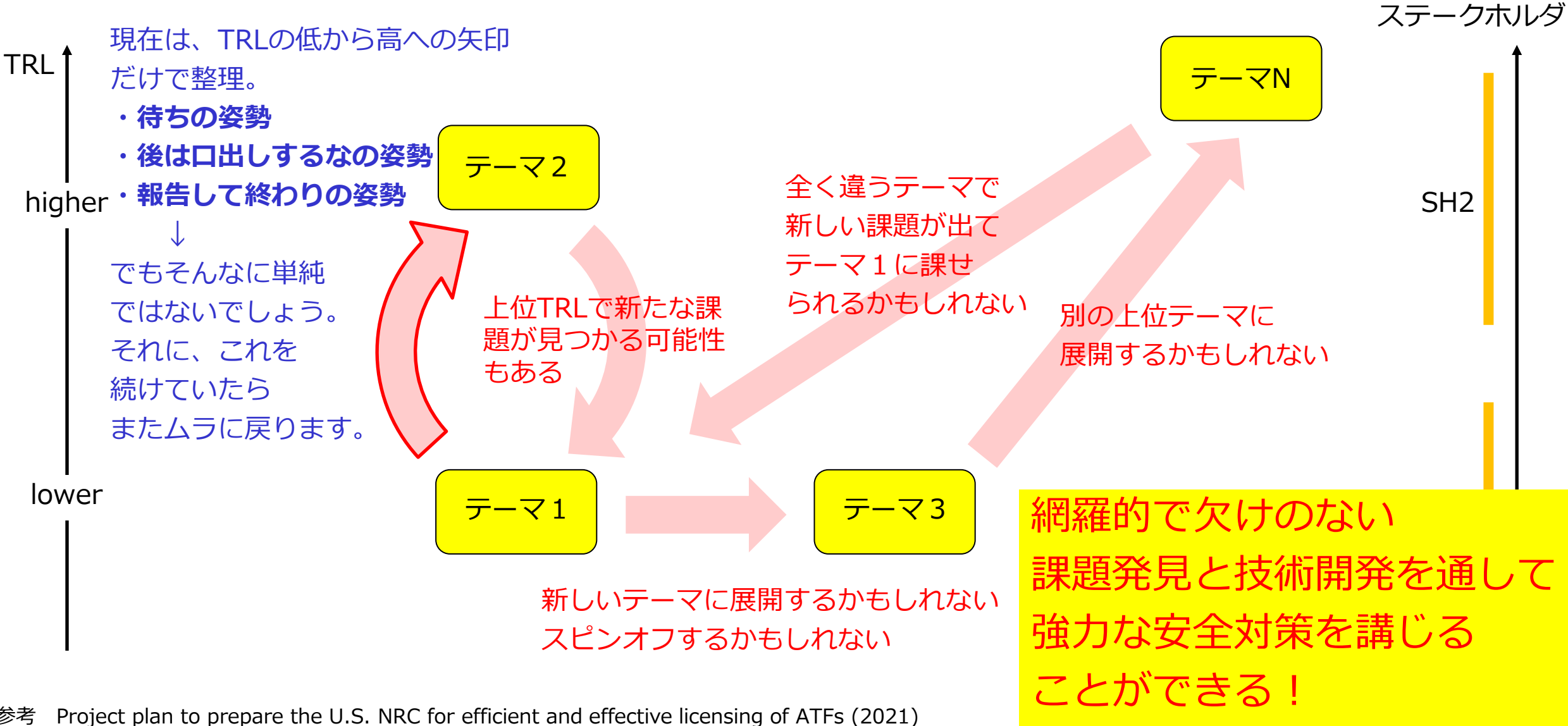
技術成熟度

TRL			燃料設計及び製造・品質管理に関する定義	
			燃料設計	製造・品質管理
実用開発段階	実用システムの運転	9	商用炉で使用されている状態	商用製品として生産
	実用システムの検証	8	製品の設計が認可	採算性を伴って量産が可能
		7	商用炉での安全性が確認	工場規模での生産が可能
工学実証段階	工学技術の証明	6	商用炉燃料集合体として使用可能	燃料集合体の製造が可能であり、かつ製品検査技術が確立
	工学技術の検証	5	商用炉において燃料棒として使用可能	商用炉で使用可能な燃料棒の製造が可能なる状態
原理実証段階	要素技術の提案と調査	2	燃料棒の材料特性が明らか	試験片が製造
		1	原理的に実現、主な開発課題抽出	原理的に製造可能

技術成熟度（TRL）の大半の階層が同時進行し、実装に向けた知見のフィードバックが適切に行われる体制の構築に成功している。



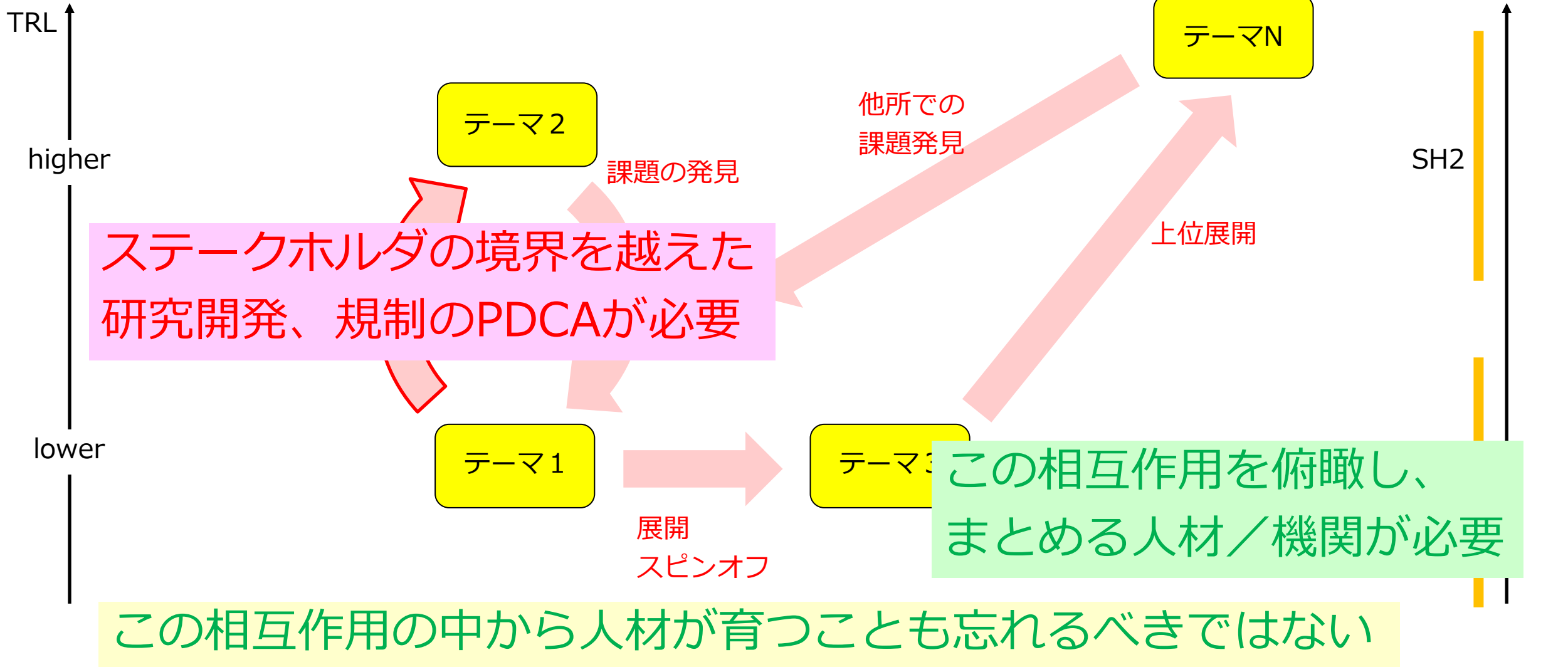
TRLの考え方



参考 Project plan to prepare the U.S. NRC for efficient and effective licensing of ATFs (2021)
原子力学会標準委員会 燃料技術レポート、ATF技術レポート 他

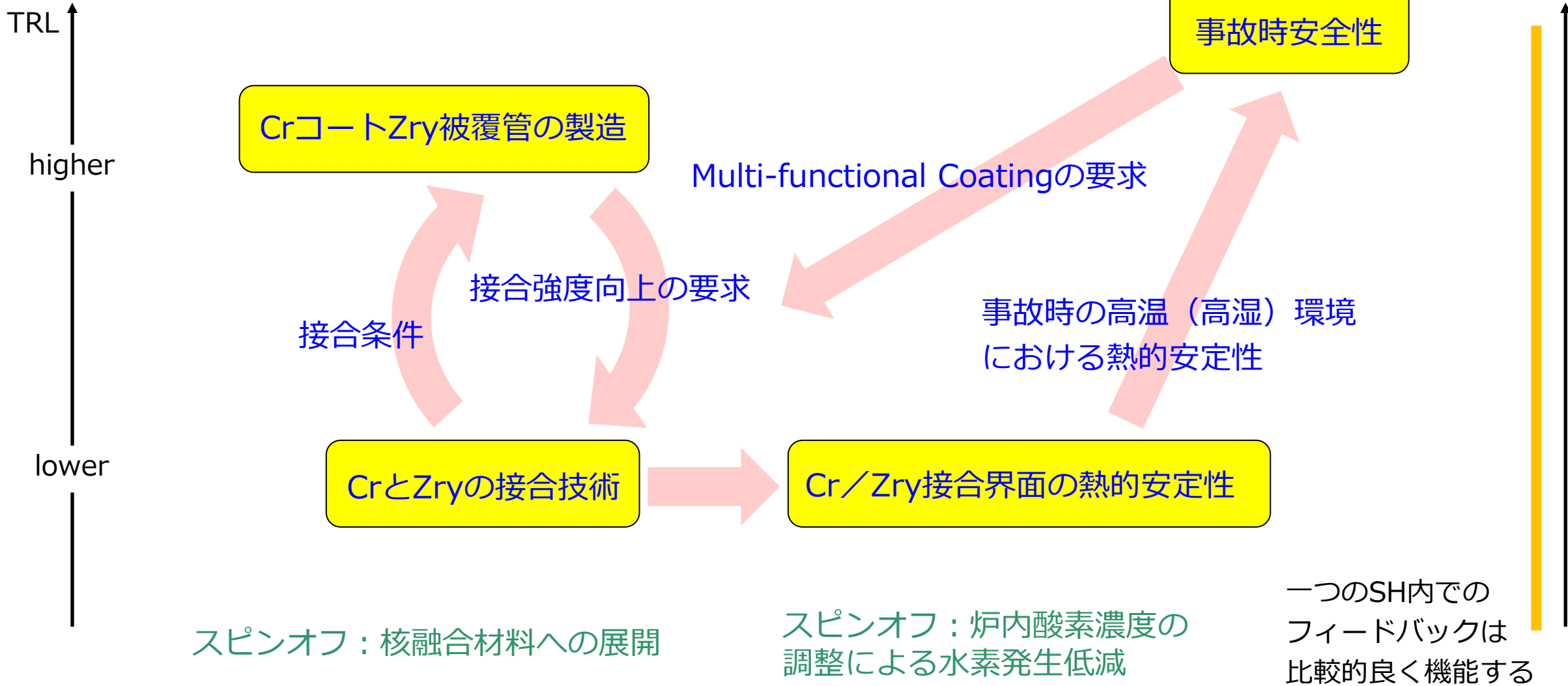
パラダイムシフトが必要である！

ステークホルダ

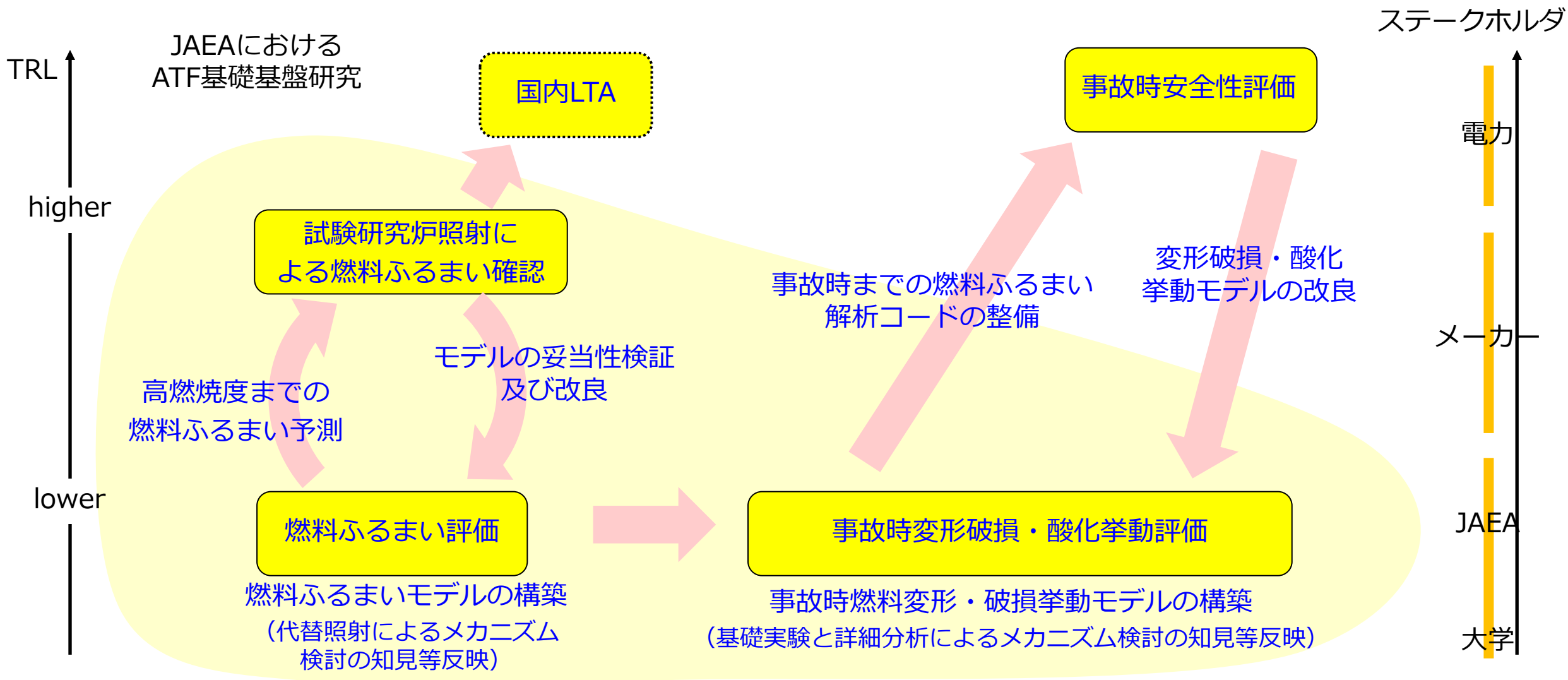


東大のプロジェクトの事例

ステークホルダ



経産省JAEAのプロジェクトの事例



スピノフ：新型燃材料／革新炉開発等への展開

複数のSH内でフィードバックが良く機能した例

今回ワークショップでの議論

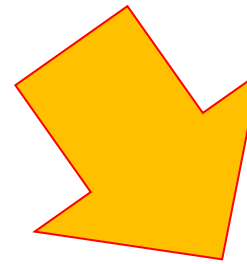
その後の情勢変化

- ワークショップは成功裏に終了
 - 課題：今後の国内の研究開発体制をいかに作り上げるか

- 米国実験炉ATRにて燃料棒の照射試験開始
- 米国商用炉でのLUAも進みつつある

革新炉等ではSHの集いの場が
作られつつある

- 規制庁による安全研究も開始



以下のような検討をする場が必要

- 開発と規制の技術対話の場
- 許認可に向けた技術的検討の場
- 技術課題の重要性の客観的評価の場
- 新たな技術の開発要請の意見づくり

今後の発展に重要な視点

- 小さな積み重ねが事故前の日本の体制を作っていた。良いこともあったが、良くないこともあった。
- ステークホルダー（SH）が強く独立していて、相互の知見、経験、問題意識の共有がうまくいっていなかったこともその一つ。
- 事故とその後の外的刺激が日本のパラダイムシフトにつながり、より良い方向へ舵を切ることができた、と評価するのであれば、我々はこれを劣化させることなく維持発展させる必要がある。
- 技術成熟度（TRL）に基づく各ステークホルダーの役割の明確化と、TRLの進展は、技術の実用化に向けて重要であるが、
- あるTRLにおける気づきや問題が、上位だけでなく下位のTRLにも共有されることにより新しい知見、知識、発見、技術の改善と創出に至り、
- そこから新たな技術が生まれ、知見が共有され、人材が育っていく



今回提案へ

これまでの本ワークショップの取り組みを経て、今回の提案

事故耐性燃料の早期実現、さらなる技術創出、漏れなき安全の確認を図るため、多くのステークホルダで知見を共有し、智慧を蓄積し、技術開発に接続する場、さらに利用者の導入インセンティブを高め、規制者の安全確認の視座を高める場の創成を提案する。

そのために

- 現在、原子力委員会にて実施の燃料プラットフォームの思想を参考に、**Advanced Technology Fuelに関するプラットフォーム**を作ること
を提案する。
- 原子力委員会、METI、規制庁、電力、研究所、大学といったステークホルダー
が集い、全てのTRLの視点で技術の創成に寄与するプラットフォームを作る。
- さらに、安全研究と基礎基盤研究の双方を担うJAEAが、プラットフォームの
実施母体となり、国内の研究開発を主導することが適する。

プラットフォームで期待される技術的成果とその波及

- 腐食および水素脆化の低減が達成できれば、被覆管の長寿命化が可能となる。
- 安全は第一義的に守り抜くものとの前提の下で、
- 現行ジルカロイ（Zry）の規制基準は変更が必要になる。
- 燃料の高燃焼度化が達成可能となる。
- 炉水温度を高くする（アップレート）も可能となる。
 - Crの延性脆性遷移温度とその照射量依存性を考慮するとよい方向に働く可能性もある。
- これに伴い、U-235の濃縮度調整（5%超燃料）も視野に入れた検討も必要。
 - 次世代材料（FeCrAl-ODS、SiC）を狙う上でも必要な検討。

規制

安全性向上

経済性向上

次世代技術への展開

プラットフォームへの参加モチベーション

- <メーカー> ATFの実現可能性について、技術的、科学的、安全の観点から具体的かつ包括的な検討を進める。
- <規制庁、メーカー、電力> 現在のジルカロイを対象とした基準の、ATFへの適合性について検討し、必要に応じ改定を視野に入れた検討を進める。
- <電力> これにより燃料コストの効率化等のベネフィットを明確にし、導入インセンティブの向上を図る。
- <研究機関> この実現にとって必要な研究課題を抽出する。
- <規制庁> 規制安全研究としての課題を抽出する。
- <研究機関> 研究所や大学が担うべき基礎研究課題を抽出する。

※留意事項として、知財等については別途取り決め要

プラットフォームの波及効果

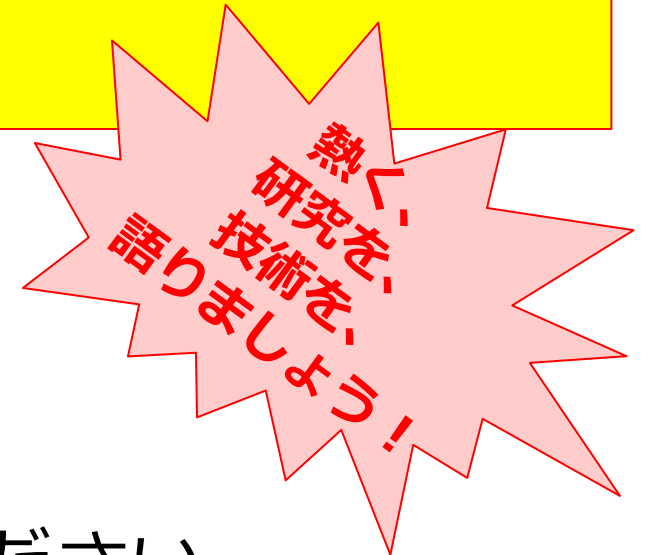
事故耐性燃料は、数ある原子力革新技術の中で、最も早期実現性の高い新技術であり、この取り組みが革新炉、SMR等の開発にとって良き手本となることが期待される。

総じて、

わくわくするような魅力ある技術として
Advanced Technology Fuels (ATFs) を位置づけ、
All Japanで建設的に協力して研究開発と実現を
進めましょう！

という提案になります

ご清聴ありがとうございました
積極的なご意見をぜひともお聞かせください



パネル討論の論点

研究開発のシナリオ

- 重要技術課題解決に向けた効果的な研究開発の枠組み
- 例として、革新炉の先行事例
- ステークホルダが集い智慧を創成する場の創出

研究ハブ
としての
JAEA

メーカー

事業者の期待

原子力学会安全部会の取り組み

プラットフォーム

早期導入のシナリオ

こちらにも機能

- 照射試験、LUAを含めた国内での試験の体制
- 安全研究

民間規格
規制

やはり、
国内試験炉は
必要！

規制が考える課題と
技術的意見交換

人材育成の重要性

- 長期的視点に基づく人材育成（研究人材、開発人材等々）
- 継続的人材育成（電力の技術者、運転員、規制人材等々）
- 幅広く原子力を支える人材の育成

大学
研究所

電力
メーカー
規制庁