

# 次世代原子炉の安全性は どこまで高められるのか？

次世代の原子炉は「安全性」という課題に対し、どのような発展の見込みがあるのか。国内外で開発が進められている次世代型原子炉概念の安全性に焦点を当て、その将来を展望する。

2014年 **10月31日(金)**  
13:15 - 17:30

渋谷エクセルホテル東急  
6F プラネッツルーム  
(定員: 100名)

## プログラム

司会: 葛西 賀子 (フリージャーナリスト・キャスター)

○開会挨拶 (13:15)

三木 千壽 (都市大副学長)

○基調講演

「エネルギー基本計画と原子力」

柏木 孝夫 (都市大特任教授/東工大特命教授)

○主題講演「次世代原子炉の安全性はどこまで高められるのか？」

### 第一部

1) 福島原発事故を踏まえたBWRの安全性向上の考え方

守屋 公三明 (日立GEニュークリア・エナジー 技師長)

2) 高温ガス炉の安全性

橘 幸男 (日本原子力研究開発機構

原子力水素・熱利用研究センター小型高温ガス炉研究開発ユニット長)

休憩 (20分間)

### 第二部

3) ナトリウム冷却高速炉の国際標準化に向けた安全性向上の取り組み

佐賀山 豊 (日本原子力研究開発機構理事長補佐)

4) 小型炉、革新的原子炉の安全性

関本 博 (都市大客員教授/東工大名誉教授)

○総合討論

大学における原子力安全研究と教育 (モデレーター: 都市大 横堀誠一教授)

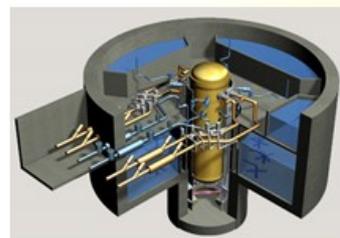
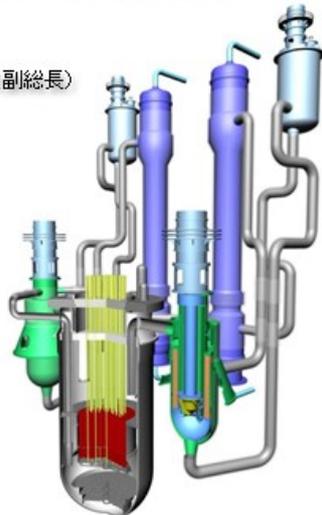
(パネリスト: 都市大 村松健客員教授、高木直行教授、牟田仁講師

早大 師岡慎一教授、講演者)

シンポジウム参加者との討論

○開会挨拶(17:30)

橋本 周司 (早大副総長)



東京都渋谷区道玄坂1-12-2(渋谷マークシティ内 6F)

TEL 03-5457-0109

交通: 各線渋谷駅直結・京王井の頭線渋谷駅上部

○参加費: 無料

○申込み: ①氏名②所属③役職

④E-Mailアドレスを  
下記事務局までメールにて  
10/24(金)

○締切:

○事務局: 東京都市大学

大学院共同原子力専攻

未来エネルギーシンポ事務局

[nuclearsafety@tcu.ac.jp](mailto:nuclearsafety@tcu.ac.jp)

東京都市大学/早稲田大学 大学院共同原子力専攻主催  
第10回未来エネルギーシンポジウム  
— 次世代原子炉の安全性はどこまで高められるのか? —

- 開催趣旨
  - 次世代の原子炉は「安全性」という課題に対し、どのような発展の見込みがあるのか。国内外で開発が進められている次世代型原子炉概念の安全性に焦点を当て、その将来を展望する。
- 開催日時 2014年10月31日(金) PM 13:15-17:30
- 実施場所 渋谷エクセルホテル東急(プラネッツルーム)
- プログラム  
司会： 葛西 賀子(フリージャーナリスト・キャスター)
  - 開会挨拶 13:15-13:30 三木 千壽 (東京都市大学副学長)
  - 基調講演 13:30-14:00  
「エネルギー基本計画と原子力」 柏木 孝夫 (東京都市大学特任教授/東工大特命教授)
  - 主題講演「次世代原子炉の安全性はどこまで高められるのか？」  
第一部 14:00-15:00
    - 1) 福島原発事故を踏まえた BWR の安全性向上の考え方  
守屋 公三明 (日立 GE ニュークリア・エナジー 技師長)
    - 2) 高温ガス炉の安全性  
橋 幸男 (日本原子力研究開発機構 原子力水素・熱利用研究センター小型高温ガス炉研究開発ユニット長)  
休憩 (20 分間)  
  
第二部 15:20-16:20
    - 3) ナトリウム冷却高速炉の国際標準化に向けた安全性向上の取り組み  
佐賀山 豊 (日本原子力研究開発機構理事長補佐)
    - 4) 小型炉、革新的原子炉の安全性  
関本 博 (東京都市大学客員教授/東工大名誉教授)  
机椅子セッティング(10 分間)
    - 総合討論 16:30-17:30
      - ◇ 大学における原子力安全研究と教育  
モデレーター：東京都市大学 横堀誠一教授  
パネリスト：東京都市大学 村松健客員教授、高木直行教授、牟田仁講師、早稲田大学 師岡愼一教授、講演者
      - ◇ シンポジウム参加者との討論
    - 閉会挨拶 17:30 橋本 周司 (早稲田大学副総長)

# エネルギー基本計画 の 概要

平成26年4月  
経済産業省

## はじめに(P3～)

- 化石燃料の大宗を海外に頼る我が国にとって、エネルギー安全保障は常に大きな課題。
- 本計画は、中長期(今後20年程度)のエネルギー需給構造を視野に、2018年～2020年までを集中改革期間と位置付けて、政策の方向を明示。
- 東京電力福島第一原子力発電所事故で被災された方々の心の痛みにしっかりと向き合い、寄り添い、福島の復興・再生を全力で成し遂げる。震災前に描いてきたエネルギー戦略は白紙から見直し、原発依存度を可能な限り低減する。ここが、エネルギー政策を再構築するための出発点。

## I. エネルギー需給に関する施策についての基本的方針(P15～)

### 1. エネルギー政策の原則と改革の視点(P15～)

- ①基本的視点として、「安定供給(エネルギー安全保障)」、「効率性の向上による低コストでのエネルギー供給(経済効率性)」、「環境への適合」及び「安全性」(3E+S)を確認し、「国際的視点」と「経済成長」を加味
- ②各エネルギー源の強みが活き、弱みが補完される、現実的かつ多層的な供給構造の実現
- ③多様な主体が参加し、多様な選択肢が用意される、より柔軟かつ効率的なエネルギー需給構造の創出

※原発再稼働、再エネ導入等を見極めつつ、速やかに実現可能なエネルギーミックスを提示

## 2. 各エネルギー源の位置付け及び政策の方向性(P19～)

### (1) 再生可能エネルギー

- 有望かつ多様で、重要な低炭素の国産エネルギー源。3年間、導入を最大限加速。その後も積極的に推進。
- 再生可能エネルギー等関係閣僚会議を創設し、政府の司令塔機能強化、関係省庁間連携を促進。
- これまでのエネルギー基本計画を踏まえて示した水準※を更に上回る水準の導入を目指し、エネルギーミックスの検討に当たっては、これを踏まえる。

※「長期エネルギー需給見通し(再計算)」(2020年13.5% (1,414億kWh))、「2030年のエネルギー需給の姿」(2030年約2割(2,140億kWh))

### (2) 原子力

- 優れた安定供給性と効率性を有しており、運転コストが低廉で変動も少なく、運転時には温室効果ガスの排出もないことから、安全性の確保を大前提に、エネルギー需給構造の安定性に寄与する重要なベースロード電源。
- いかなる事情よりも安全性を全てに優先させ、国民の懸念の解消に全力を挙げる前提の下、原発の安全性については、原子力規制委員会の専門的な判断に委ね、規制委員会により世界で最も厳しい水準の規制基準に適合すると認められた場合には、その判断を尊重し原発の再稼働を進める。
- 原発依存度については、省エネ・再エネの導入や火力発電所の効率化などにより、可能な限り低減させる。その方針の下で、我が国の今後のエネルギー制約を踏まえ、安定供給、コスト低減、温暖化対策、安全確保のために必要な技術・人材の維持の観点から、確保していく規模を見極める。

### (3) 石炭

- 安定性・経済性に優れた重要なベースロード電源として再評価されており、高効率火力発電の有効利用等により環境負荷を低減しつつ活用していくエネルギー源。

### (4) 天然ガス

- ミドル電源の中心的役割を担う、今後役割を拡大していく重要なエネルギー源。

### (5) 石油

- 運輸・民生部門を支える資源・原料として重要な役割を果たす一方、ピーク電源としても一定の機能を担う、今後とも活用していく重要なエネルギー源。

### (6) LPガス

- ミドル電源として活用可能であり、緊急時にも貢献できる分散型のクリーンなガス対エネルギー源

2

## II. エネルギー需給に関する長期的、総合的かつ計画的に講ずべき施策(P28～)

### 1. 安定的な資源確保のための総合的な政策の推進(P28～)

1. 北米・ロシア・アフリカ等新たな資源供給国との関係強化と上流進出の促進
2. 現在の資源調達環境の基盤強化
3. エネルギーコスト低減のための資源調達条件の改善等
4. メタンハイドレート等国産資源の開発の促進
5. 鉱物資源の安定供給確保に不可欠なサイクリルの推進及び備蓄体制の強化等

### 2. 徹底した省エネルギー社会の実現と、スマートで柔軟な消費活動の実現(P33～)

1. 各部門における省エネルギーの強化
2. エネルギー供給の効率化を促進するデマンドレスポンスの活用

### 3. 再生可能エネルギーの導入加速～中長期的な自立化を目指して～(P37～)

1. 風力・地熱の導入加速に向けた取組の強化
  - (1) 風力①陸上風力、②洋上風力
  - (2) 地熱
2. 分散型エネルギーシステムにおける再生可能エネルギーの利用促進
  - (1) 木質バイオマス等
  - (2) 中小水力
  - (3) 太陽光
  - (4) 再生可能エネルギー熱
3. 固定価格買取制度の在り方
4. 福島の再生可能エネルギー産業の拠点化の推進

### 4. 原子力政策の再構築(P41～)

1. 原子力政策の出発点—東京電力福島第一原子力発電所事故の真摯な反省
2. 福島の再生・復興に向けた取組
3. 不断の安全性向上と安定的な事業環境の確立
4. 対策を将来へ先送りせず、着実に進める取組
5. 国民、自治体、国際社会との信頼関係の構築

### 5. 化石燃料の効率的・安定的な利用のための環境の整備(P49～)

1. 高効率石炭・LNG火力発電の有効活用の促進
2. 石油産業・LPガス産業の事業基盤の再構築

3

## 6. 市場の垣根を外していく供給構造改革の推進(P52～)

1. 電力システム改革の断行
2. ガスシステム及び熱供給システム改革の推進

## 7. 国内エネルギー供給網の強靱化(P55～)

1. 石油備蓄等による海外からの供給危機への対応の強化
2. 「国内危機」(災害リスク等)への対応強化
3. 平時における安定供給の確保

## 8. 安定供給と地球温暖化対策に貢献する水素等の新たな二次エネルギー構造への変革(P58～)

1. 電気をさらに効率的に利用するためのコージェネレーションの推進や蓄電池の導入促進
2. 自動車等の様々な分野において需要家が多様なエネルギー源を選択できる環境整備の促進
3. “水素社会”の実現に向けた取組の加速

## 9. 市場の統合を通じた総合エネルギー企業等の創出と、エネルギーを軸とした成長戦略の実現(P63～)

1. 電力システム改革等の制度改革を起爆剤とするエネルギー産業構造の大転換
2. 総合的なエネルギー供給サービスを行う企業等の創出
3. エネルギー分野における新市場の創出と、国際展開の強化による成長戦略の実現

## 10. 総合的なエネルギー国際協力の展開(P68～)

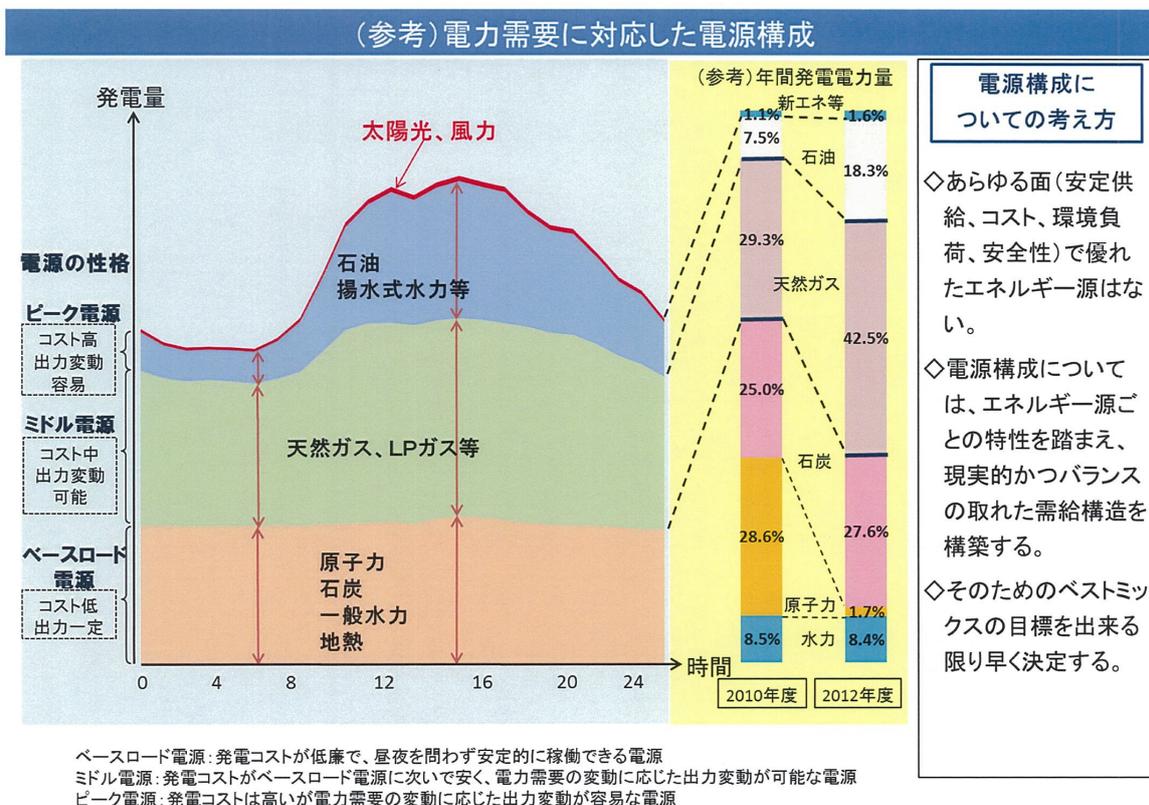
1. エネルギー国際協力体制の拡大・深化
2. 地球温暖化の本質的解決に向けた我が国のエネルギー関連先端技術導入支援を中心とした国際貢献

## III. 戦略的な技術開発の推進(P73～)

(重点的に研究開発するための施策を講ずべきエネルギーに関する技術及び施策)

## IV. 国民各層とのコミュニケーションとエネルギーに関する理解の深化(P75～)

(エネルギー需給に関する長期的、総合的かつ計画的に推進するために必要な事項) 4



東京都市大学/早稲田大学 大学院共同原子力専攻主催  
第 10 回未来エネルギーシンポジウム  
— 次世代原子炉の安全性はどこまで高められるのか? —

福島原発事故を踏まえた BWR の安全性向上の考え方  
Safety Enhancement of BWR for Fukushima Accident

日立 GE ニュークリア・エナジー（株） 守屋 公三明

現在の原子力発電の中核である軽水炉発電は、数十年に亘る安全研究を通して設計基準事故を超えた過酷事故への対策も適宜実施してきた。その効果は、内的誘因事象に対して工学的に十分なレベルであることが PRA で評価されている。

しかしながら、2011 年 3 月 11 日に発生した未曾有の大地震とこれに伴う巨大津波により、福島第一発電所では炉心溶融事故を防ぐことが出来なかった。事故に至る詳細は、今後の継続的な調査研究を必要とするものの、福島事故は原子力発電の安全確保として自然災害などの外的誘因事象に対する安全対策が重要であることを改めて認識させたものであった。

更に、福島事故の分析から、外的誘因事象のリスクは内的誘因事象とは本質的に異なる特質を有しており、想定を越えた自然災害が発電所を襲った場合は重大な共通原因故障を誘発する可能性を有していると考えられる。従って、これまでの内的誘因事象対策とは別の外的誘因事象に対する合理的な安全向上策を見出すことは、軽水炉発電ばかりでなくさまざまな将来炉においても重要であると考えられる。

本発表では、福島事故の分析評価に基づいて外的誘因事象のリスクを考察し、BWR を事例に外的誘因事象に対する安全向上策を提案するものである。

東京都市大学/早稲田大学 大学院共同原子力専攻主催

第10回未来エネルギーシンポジウム

— 次世代原子炉の安全性はどこまで高められるのか? —

高温ガス炉の安全性

Safety of High Temperature Gas-cooled Reactor

日本原子力研究開発機構 橋 幸男

高温ガス炉は、黒鉛減速ヘリウムガス冷却型の原子炉であり、900℃を超える高温の熱を供給できることから、高効率発電に加えて、水素製造、化学工業への熱供給、海水淡水化等の幅広い熱利用が可能な原子炉であるとともに、固有の安全性に優れた原子炉である。

平成26年4月に閣議決定されたエネルギー基本計画においても、「水素製造を含めた多様な産業利用が見込まれ、固有の安全性を有する高温ガス炉など、安全性の高度化に貢献する原子力技術の研究開発を国際協力の下で推進する。」とされており、東京電力福島第一原子力発電所の事故を受け、安全性の高い次世代原子炉である高温ガス炉の研究開発の推進について明示している。

高温ガス炉のうち、超高温ガス炉（VHTR：Very High Temperature Reactor）は、第4世代原子力システム国際フォーラム（GIF）において、6つの第4世代原子力システムの1つとして選定されており、特に、安全性に優れたシステムとして、世界各国で研究開発が進められている。

高温ガス炉は、燃料として、酸化ウランの燃料核を耐熱性に優れた炭化ケイ素等のセラミックスで4重に被覆した被覆粒子燃料を用いていること、減速材（炉心構造材）として、熱容量が大きく、耐熱性や熱伝導性に優れた黒鉛を用いていること、冷却材として不活性なヘリウムガスを用いていることから、優れた固有の安全性を有している。また、出力密度が小さいこともあり、全交流電源が喪失し、かつ、冷却材が喪失するような事故時においても、炉心温度の変化は極めて緩慢であり、安全設備に頼ることなく、熱伝導、熱放射等の物理現象のみにより、原子炉の崩壊熱を除去し炉心溶融事故を起こさない設計が可能である。

日本原子力研究開発機構では、大洗研究開発センターに建設した我が国初の高温ガス炉であるHTTR（高温工学試験研究炉、1998年初臨界）を用いて、（制御棒の位置を固定した状態で）炉心の冷却材の流れを喪失させる試験等を実施しており、高温ガス炉が持つ優れた固有の安全性の実証を行っている。また、水素製造施設等の接続を想定した実用高温ガス炉システムへ適用する安全設計方針の検討を、日本原子力学会の「高温ガス炉の安全設計方針」研究専門委員会で進めている。

東京都市大学/早稲田大学 大学院共同原子力専攻主催  
第 10 回未来エネルギーシンポジウム  
— 次世代原子炉の安全性はどこまで高められるのか? —

ナトリウム冷却高速炉の国際標準化に向けた安全性向上の取り組み  
Efforts on Safety Enhancement for Development of Global Standard SFR

日本原子力研究開発機構 佐賀山 豊

高速炉開発の最大の目的は持続可能性の確保である。即ち、核エネルギー供給および核廃棄物の毒性や放射能の低減による環境負荷低減である。本目標は日本だけでなく幅広く国際的な共通認識となっており 13 か国(加、中、仏、日、韓、露、瑞、米、南ア、EU、英、伯、爾)が参加している第 4 世代原子力国際フォーラム (GIF) の目標とも一致している。世界のエネルギー供給のうち原子力が占める割合は日本では福島第 1 発電所事故以降不透明な状況にあるものの、国際的には露印中を中心に拡大傾向にあり、核燃料の獲得とその持続可能性が焦点となっている。第 4 世代原子炉の重要な使命の一つは持続可能性であり、そのためには高速炉、とりわけナトリウム冷却高速炉が必要不可欠であるという点で日米仏を中心に GIF 参加国の共通認識となっている。ナトリウム冷却高速炉は液体金属を冷却材としており下記の安全上の特徴を有している。

- 高い冷却材の沸点
- 低い運転圧力 (≒大気圧)
- 高い熱伝導率
- 高い自然循環力
- 固有の炉心特性

特に、低圧システムであるため冷却材バウンダリ破損時においても急激な系統全体の減圧や炉心部の蒸発等はなく液位確保を行うだけで安定な冷却が可能である。また、高い自然循環力により完全自然循環による崩壊熱除去が可能であり全電源喪失に強い耐性を有しており、世界の実験炉(日:常陽、米:EBR-II、FFTF)、原型炉(仏:Phenix)で実証試験が行われている。また、実験炉(米:EBR-II、FFTF、仏:Rapsodie)において出力運転から冷却材流量が喪失(強制循環を喪失)した場合に炉停止が失敗するという厳しい事象においても、固有の炉特性により静定することが実証されている。

現在世界では仏露印中韓を中心に競争的にナトリウム冷却高速炉の開発が進む中、高い安全性目標を掲げる日本は、仏米と協力して高い安全性を世界標準とすべく安全設計クライテリア (SDC) を GIF において提案し、2013 年に参加国の承認を得るに至っており、GIF に属さない印国においても、その適用を表明している。また、日本において次世代炉が採用すべき技術として開発してきた安全評価・対策技術は仏原子力庁や仏電力公社により高く評価され、仏の次世代実証炉である ASTRID での協力項目ともなっている。

東京都市大学/早稲田大学 大学院共同原子力専攻主催  
第10回未来エネルギーシンポジウム  
— 次世代原子炉の安全性はどこまで高められるのか? —

小型炉、革新的原子炉の安全性  
Safety of Small Innovative Nuclear Reactors

東京都市大学 関本 博

日本においては、福島第一原子炉事故の後しばらく、廃炉・脱原発の嵐が吹き荒れていた。民主党政権から自由民主党政権に代わるとともに、従来の軽水炉路線に戻りつつある。安全性について徹底的に見直し、必要な改良を加えれば、現在の軽水炉でも格段に安全なものとなるであろう。しかし選択肢はこれだけではない。本シンポジウムにおいては、第3の途として、固有安全炉と呼ばれている革新的原子炉、特に小型炉について説明する。

歴史は繰り返すところがある。最初に、原子炉の重大事故と固有安全炉を軸として原子炉の歴史を振り返ってみる。原子力潜水艦の原子炉として開発された軽水炉は発電炉として成功し、第2次世界大戦後の経済発展にあわせて多くの炉が建設運転された。

1970年頃日本はまだ発展を続けていたが、アメリカ経済は行き詰まり感がただよい、原子力に対して安全面での危惧が大きくなってきていた。これに答えるべくラスムッセンによるPRA(確率論的リスク解析)の解析結果が発表された。それはリスクが極めて小さいことを示しており、原子炉の安全性を保証するかにみえたが、しばらくしてTMI事故が発生した。

この後アメリカでは新規の炉が建設されることはなかったが、PRAを見直すことにより、安全性と経済性をともに改善することに成功した。

これとは別に、将来人類が原子力を利用しようとするならば軽水炉より格段に安全な炉を開発しなければならないという考えが示され、これに応える形でいくつかの固有安全炉が提案された。

これらはいずれも小型炉になっていた。小型にすると、事故が起こった時に、人の介入や動的機器に頼らなくても、未臨界にしたり、温度が上がりすぎたりしないように設計することが容易になる。

固有安全炉の呼びかけがあって10年もしないうちに、ほぼすべての概念が勢ぞろいした。1991年に東工大で開催された小型炉の国際会議では、ほぼすべての概念が発表された。それらが発展し、初期の軽水炉の建て替えを迎えた現在において、多くの小型炉が提案されている。

小型炉はスケールデメリットにより、大型炉に比べて経済性で劣るとされていて、実用化が遅れている。しかし、小型炉は電力網に繋がらない僻地や、電力以外の小型地域エネルギー源として導入していこうという考えもある。

総合討論

この討論では原子力を学ぶ大学生および大学院生を対象に、その安全性をいかに教えるかについて、教員、学生および参加者で自由討論を行い、今後の教育カリキュラムに役立てたいと考えます。まずモデレータおよび話題提供者から短時間でモットーの紹介を行い、次いでフロアの学生から意見を頂いた後、参加者で自由討論して頂きます。閉会時にできれば簡単なまとめをさせて頂きたいと計画しています。安全性の教育論やメソッドなどの討論は意外になされていないように思われます。貴重な機会といたしたく、お気軽に発言くだされば幸甚です。当日の話題提供者のモットーを下表に示しておきます。

表 原子力の安全性を教えるにあたっての抱負

(登壇順)

姓 名	心がけること
横堀 誠一	概念的な深層防護を中核とする古典的な安全知識は最小限にして同じ内容を繰返し教えるようにしている。原子力発電システムを諳んじて書けることを勧めている。これをベースにすればシステムの健全と破綻が論じられるという信念から。自分の専門である熱流体的な挙動を教えているが卒業生からは役に立っているとの意見も頂いている
師岡 慎一	安全性に限りませんが、私の指導の基本は ①自分で考えさせる。②基礎力を身につける 事です。 指導していること、①原子炉冷却が私の研究アイテムです。安全システムとともに、冷却の基礎の伝熱そして流体の基礎を身につける。②研究する場合、”自分の考えた安全システムの独自性はどこにあるのか”、を常に考える。③安全性は工学だけで解決できる問題ではありませんので、社会科学系の面から、どうしたら原子炉安全を専門外の人に理解してもらえるかを考える。
高木 直行	原子炉とは、本来、莫大な放射能を内包する装置であり、潜在的危険性が高いこと、また兵器転用という特殊なリスクを有しているとの認識が出发点。一方で「存在すること＝危険」ではなく、技術によりリスクを顕在化させず、実効的安全を高めることが原子力技術者、工学の役割。規制や AM だけでなく、原子炉自体が備えた固有の性質で安全を確保する炉概念を追求。
村松 健	人材育成の目標は健全な責任感とたくましい技術力をもったエンジニアの輩出にあると考える。研究室では解析コードを用いて重大な事故に関する研究を行っている。その中で熱水力、核動特性、リスクなどの解析や、文献調査の基本技術を使いこなす力をつけるとともに、その中で、改善の可能性を主体的に考える気概と自由な発想を育んでもらいたい。
牟田 仁	将来、原子力に係わるエンジニア或いは安全技術者として、以下を心に留めておいて貰いたいと考えている。(1) 絶対的な安全はなく、残余のリスクは必ずあること。(2) リスクの受容は社会が決めることであること。(3) 安全性向上には、ハードウェアの進歩とリスクを可視化し広く理解を得る努力とが必要であること。