

第5章 方法ワーキンググループ

EMWG：経済モデリングワーキンググループ

経済モデリングワーキンググループ（EMWG）は、次の2つの経済関連の目標に対する第4世代システムの評価方法を提供するために2003年に設立された。

- ライフサイクルコストを他のエネルギー源よりも有利にすること（つまり、均等化発電原価を低くする）。
- 他のエネルギープロジェクトに匹敵するレベルの財務リスクを持つこと（つまり、商業運転時に同様の総投資コストを持つこと）。

2007年、EMWGは、2つの性能指数（GIF経済目標に対して第4世代システムを評価するための均等化発電原価と総投資コスト）を計算するためのコスト見積もりガイドラインとExcelベースのソフトウェアパッケージG4ECONSV2.0を発表した。これらのEMWGツールは、GIF技術事務局を通じて公開され、それにより、第3世代および第4世代システムの経済性評価、および水素製造などのコージェネレーションアプリケーションのEMWG方法論を示すいくつかの出版物が作成された。

G4ECONSV2.0は、国際原子力機関（IAEA）の経済ツール、つまり、原子力経済支援ツール（Nuclear Economics Support Tool：NEST）と水素経済評価プログラム（Hydrogen Economic Evaluation Program：HEEP）に対してもベンチマークされており、その結果は専門家の査読を受けた出版物に掲載されている[2、3]。ベンチマークの実施から学んだ教訓とユーザーからのフィードバック情報が、G4ECONSV2.0ツールの改良に役立った。EMWGは、2018年10月、ユーザーインターフェースが改良された新バージョンG4ECONSV3.0をリリースした。

2016年、EMWGは、再生可能エネルギー資源のシェアを拡大しながら、新興エネルギー市場に第4世代システムを導入するための課題と機会の調査を開始した。EMWGの考慮事項は、2018年に修正され、第4世代システムの将来の展開に必要な政策と研究開発のニーズについてGIF政策グループと専門家グループに情報を提供するために、拡張された権限が組み込まれた。

2016年10月以降、EMWGは上級産業諮問パネル（SIAP）と協力して、再生可能エネルギー資源の大幅な普及を伴う電力市場での第4世代システムの展開の課題と機会を調査し、政策グループのポジションペーパーを作成した。再生可能エネルギーのシェアの増加が第4世代システムの展開の見通しに与える影響に関するEMWGポジションペーパーの要約版が、第4回GIFシンポジウムで発表され、エグゼクティブサマリーがGIF外部Webサイトに掲載された。この調査から、第4世代システムは、低炭素エネルギーシステムを導入するために、現在の原子炉と比較してより柔軟でなければならないことが分かった。また、そのような要件はすでに電力会社によって提案されている。大規模なエネルギー貯蔵およびコージェネレーションアプリケーションは、大容量の使用率を確保しながら、柔軟な給電を可能にする。したがって、適切なエネルギー貯蔵およびコージェネレーションアプリケーションを備えた原子力再生可能ハイブリッドエネルギーシステムは、発電機をフル稼働させながらグリッドからの柔軟な需要に対応し、概して、経済的に実行可能な運用を保証できる。ただし、このような柔軟性を考慮すると、第4世代システムの研究開発にさらなる要件が課せられる。

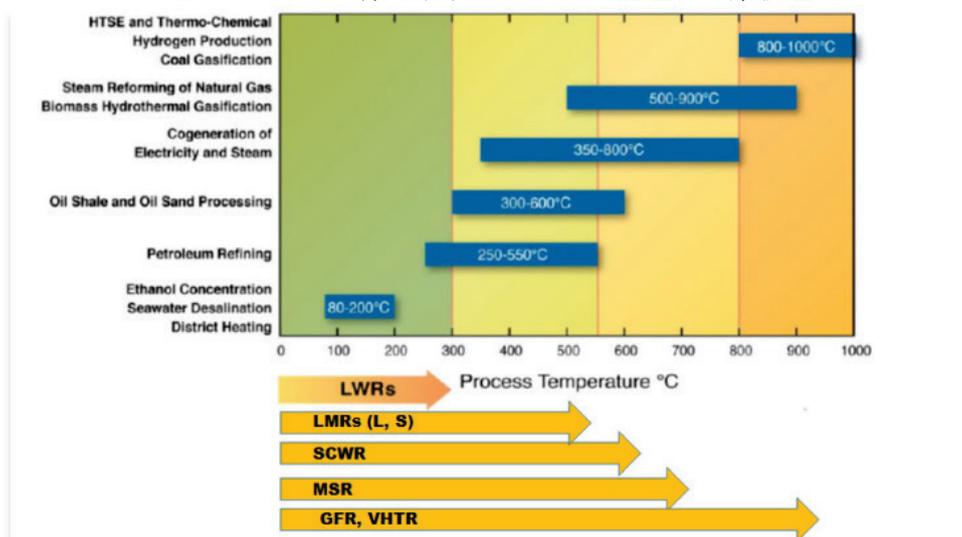
2019年の活動

2019年のEMWG活動の主な焦点は、第4世代システムの柔軟性に関する考慮事項であった。高度な第4世代原子炉は、第3世代原子炉とは大きく異なる。第4世代原子炉は、さまざまな燃料、さまざまな冷却材を使用し、より高い温度で動作するため、発電以外の用途にも適している。そのため、第4世代原子炉の柔軟性を評価するために、電力研究所（Electrical Power Research Institute : EPRI）は、拡張された柔軟性基準を開発し、第4世代システムなどの先進原子炉の技術準備性尺度（Technology Readiness Scale）を提案した。EPRIの拡張された柔軟性基準は、次の3つのサブ基準または特性のセットから成る。

- 運用の柔軟性
- 展開の柔軟性
- 生産物の柔軟性

これらを基礎として使用して、EMWGは、6つの第4世代システムの研究開発において柔軟性の側面がどの程度取り組まれているかに関する情報を収集するための質問票を作成した。その後、2019年5月にワークショップが開催され、6つのシステム運営委員会、SIAPおよびEMWGの代表者が共同で参加し、柔軟性に対するR&Dのニーズについて話し合い、分野横断的なR&Dの機会を確認した。すべての第4世代システムは、展開の柔軟性（拡張性と構築性）および生産物の柔軟性（コージェネレーションアプリケーション）の点で、第3世代システムと比較してより柔軟になるように開発されている。図EMWG1に示すように、すべての第4世代システムは出口温度が高いため、複数の産業用途に熱エネルギーを供給することができる。

図 EMWG 1. 第4世代システムの生産物の柔軟性



運用の柔軟性の評価には、多次元物理計算による検証が必要であり、これは、システムが十分に高い技術的準備レベルにまで開発された後に実施できる。EMWGは、アンケート調査と合同ワークショップの結果に基づいてポジションペーパーを作成し、システム開発者にR&Dの一部に柔軟性要件を盛り込み、6つの第4世代システムのR&Dにおける分野横断的な機会を特定する指針を提供するために、専門家グループに対する勧告事項を作成

した。EMWG は、原子力再生可能統合システムの最適化に利用できるさまざまな経済モデルの機能も文書化した。

2018 年後半にリリースされた最新バージョンの G4ECONsv3.0 に伴って、トレーニングスライドが作成され、GIF コミュニティで使用できるようになった。

最後に、EMWG は、EMWG ツールの使用、ベンチマーク、経済評価の性能指数、および再生可能エネルギーとの統合、柔軟性要件、システムコストなどの原子力の経済的実行可能性に影響を与える外部要因を含む、幅広い関連トピックを扱う GIF 外部 Web サイトの「よくある質問と回答」を作成した。



EMWG の Ramesh Sadhankar 副議長とすべての貢献者

PRPPWG : 核拡散抵抗・核物質防護の評価方法ワーキンググループ

第 4 世代ロードマップでは、将来の原子力システムに関する次の核拡散抵抗・核物質防護 (PR&PP) の目標が定められている。

第 4 世代の原子力エネルギーシステムは、それらが非常に魅力的という訳ではなく、兵器に使用可能な材料の流用または盗用の最も望ましくないルートであるという確信を高め、テロ行為に対する核物質防護を高める可能性がある。

核拡散抵抗・核物質防護ワーキンググループ (PRPP WG) は、GIF PR&PP の目標に関して、第 4 世代原子力システムを評価するための評価方法の開発、実施、および使用の促進を行うために作られた。方法の現在のバージョンは、2011 年に一般配布用にリリースされた「Evaluation Methodology for Proliferation Resistance and Physical Protection of Generation IV Nuclear Energy Systems, Rev. 6」というタイトルの文書に記載されている。

この方法は、設計者と政策立案者にとって、先進原子力システムの核拡散抵抗 (PR) と核物質防護 (PP) の特性を、測定と測定基準を用いて評価するための一般的で正式な包括的手法となる。そのため、評価方法を使用することで、開発サイクル全体を通じてシステム概念の PR および PP のロバスト性を向上させる機会が得られる。このグループのその他の主な成果物は、GIF コミュニティで利用でき、仮想的ナトリウム高速炉 (Example Sodium Fast Reactor : ESFR) のケーススタディレポート、SSC と共に作成された 6 つの GIF 原子力システムの各 PR&PP 特性に関する白書を含む要約レポート、およびワークショップからの一連の「よくある質問」と資料など、GIF の公開 Web サイトを通じて広範に利用できる。2016 年、PRPPWG は、白書を更新する必要性を評価するために SSC にアンケートを開始した。その後、2017 年 4 月にパリで開かれた OECD NEA で SSC と PRPPWG の合同ワークショップを開催した。PR&PP WG と 6 つの SSC/pSSC は現在、いくつかの設計の変更と更新、およびこれらシステムのいくつかの新しい作業を反映するために、6 つの白書を更新している。

最初のタスクとして、白書のテンプレートが更新された。SSC は最初に、システムの説明を更新し、2011 年白書で考慮されていなかった新しい設計と設計の変更の両方を盛り込んだ。システムの説明を更新した後、PRPPWG は、SSC と協力して、検討対象の設計の PR および PP 特性に関連するパーツの更新を開始した。各設計オプションについての PRPP の評価は、考えられる敵対者のターゲットと適用可能な保障措置および核物質防護手法に関して、関連するシステム要素を特定することから開始され、次に、システムの応答を測定するために技術設計情報を使用して、考えられる脅威に対して設計の評価が行われる。2018 年の秋、SSC/pSSC は、6 つの GIF システムの技術特性と設計開発のステータスの概要を示す最初の草稿を完成させた。2018 年 10 月、SSC/pSSC との特別セッションが PRPPWG の第 29 回会議中に開催された。共同チームのメンバーは、PR&PP 白書で最新のステータスを示した。討論会では、白書内の情報のギャップが特定され、チームは 2019 年に白書のすべての部分に対処するための作業計画を作成した。2019 年、PRPPWG は以下の活動に集中した。

- 6 つの GIF システムの PR&PP の側面に関する白書の更新において、SSC/pSSC との共同作業を継続する。
- GIF 内外の方法論とその応用を公表する。
- GIF プログラムとの関連性のために、核拡散抵抗と核物質防護の分野で関連する活動を監視する。

更新された白書の草稿は 2019 年 11 月に完成し、各白書の詳細なレビューが第 30 回会議で計画された。表 PRPP1 は、高レベルな白書の構成を示している。

この会議中、ワーキングセッションが 1 日半延長され、PR&PP 白書更新の議論と修正が行われた。6 つの GIF システムの各 PRPPWG 連絡窓口は、次のことを行う必要があった。

- 2011 年版に関する更新の理由および白書を紹介する。2011 年版に関する主な違いを明示する。
- 白書の構造と内容を説明する。全体およびセクションごとに、白書に関する議論を推進する。白書を深く掘り下げてフィードバックを得る。不足している部分を説明し、前進する方法とタイムラインを提案する。
- 調査を主導するために、分野横断的な考慮事項と可用性に関するトピックを提案する。

IAEA のオブザーバーと RSWG の代表者も会議に出席した。

表 PRPP 1. 更新された SSC/pSSC の高レベルな PR&PP 白書の構成

セクション	情報の種類
技術の概要	炉心構成、燃料の形態と組成、運転計画と燃料交換方式、未使用/使用済み燃料の貯蔵と輸送、安全アプローチと重要な機器、コンポーネントの物理的レイアウトと分離など、主要な原子炉パラメータに関するさまざまな設計オプションの説明。
燃料サイクルの概要	この第 4 世代システムとその主要な設計オプションに固有の燃料サイクルの 1 つまたは複数のタイプの高レベルな説明。リサイクル手法、リサイクル技術、リサイクル効率、廃棄物形態などの情報。
PR&PP 関連のシステム要素と考えられる敵対者のターゲット	各設計オプションについて、関連するシステム要素とその考えられる敵対者のターゲット、保障措置、および物理的安全手法の特定と説明。
核拡散抵抗の特徴	代表的な拡散のそれぞれの脅威の潜在的な利点や問題をもたらすシステム基準設計の特性を特定して議論するための SSC と PR&PP ワーキンググループが共同で開発した高レベルな定性的概要。理想的には、このセクションでは、a) 隠れた材料の転用または生産、b) ブレイクアウト戦略でのシステムの使用、および c) 秘密施設での技術の複製に対するシステムの対応を強調する必要がある。
核物質防護の特徴	PP 脅威 (a) 拡散装置または核爆発物用材料の盗難および b) 放射性妨害) の一般的なカテゴリに関する具体的な議論とともに、考えられるサブナショナルの脅威の潜在的な利点または問題をもたらすシステム設計の要素について議論するための SSC と PR&PP ワーキンググループが共同で開発した高レベルな定性的概要。
PR&PP の問題、懸念、および利点	概念とその燃料サイクルの PR&PP に関連する未解決の問題、概念の既知の強みの分野、および概念の PR&PP の統合と評価の計画のレビュー。このセクションは、システム概念に対して特定された PR&PP R&D ニーズの箇条書きリストで終了するのが理想的である。

白書チームは、レビューセッション中のコメントを組み込んだ白書の新しい草稿を作成している。チームは、2020年春までにSSC/pSSCの承認用に最終草稿を発表する予定である。対応する白書で取り上げられている6つのGIF原子炉技術のそれぞれの特性に加えて、6つすべてに共通のトピックもある。2011年白書では、いくつかの分野横断的な領域が特定されたが、更新の過程で他の領域も特定されている。分野横断的なトピックは2020年中に対処される。

2019年、PRPPWGに新しいメンバーが指名された（英国から2人の代表、カナダから1人の追加代表、韓国から2人の代理オブザーバー）。

ワーキンググループは、国内および国際的なフォーラムでのプレゼンテーションや科学雑誌での発表を通じて、GIF内外でその方法論を公表し続けている。同グループは、PR&PPに関する資料を2018年の第4回GIFシンポジウム、2018年の国際保障措置に関するIAEAシンポジウム、2019年の第41回ESARDA保障措置および核物質管理に関するシンポジウムに提供した。これらの国際フォーラムでのPRPPWGの作業、その方法論および結果の発表は、他の専門家と議論し、認識されているメリットとデメリット、および改善と協力の可能性についてフィードバックを得る機会をもたらした。

知識管理をサポートするために、グループは、主要な国際会議で発表された論文や科学雑誌の出版物の包括的なリストとなる文献目録を維持し、PR&PP方法論とGIF内外でのその応用のすべての側面をカバーしている。文献目録の2019年の改訂はほぼ完了している。

GIF内では、各グループの会議での個人的な交流によってリスクと安全性ワーキンググループ（RSWG）との協力が強化された。RSWGとPRPPWGの方法論を含んだ統合フレームワークの確立、安全性とセキュリティのインターフェースといった2つのアプローチと評価における相乗効果と補完性の特定など、2つのグループ間のさらなる議論のトピックが確認された。

PRPPWGは、IAEAとの取り組みにおいて、IAEA INPROプロジェクトおよびIAEAの保障措置部門との定期的な交流を維持している。IAEAのワーキンググループのオブザーバーは、第29回PRPPWG会議で、SSCとの特別セッションのために、第4世代原子炉の保障措置の必要性、GIF-IAEAの交流、およびIAEA INPROの更新についていくつかのプレゼンテーションを行った。



PRPP WG の Giacomo Cojazzi 副議長とすべての貢献者

RSWG：リスクと安全性ワーキンググループ

リスクと安全性ワーキンググループ (RSWG) は、6つの第4世代システムのリスクと安全性を評価するための調和のとれたアプローチと一貫した方法を提供するために2005年に作られた。RSWGは、発足以降、特定の第4世代設計トラックのR&D計画への情報提供として、GIFの安全性と信頼性の目標に基づいて、一連の幅広い安全原則、目的、および特性を提案した（安全アプローチの基礎に関する2008年のレポートを参照）。

- リスクと安全性に対処するための一貫したプロセスを確保するために、技術に中立的な統合安全性評価手法（Integrated Safety Assessment Methodology：ISAM）を開発した。
- 概念開発から基本設計およびライセンス供与までの設計サイクル全体のツールキットとして、特定の第4世代設計トラックに関するISAMの実行を支援した。
- 国際原子力機関（IAEA）、OECD/NEAの原子力規制活動委員会（Committee on Nuclear Regulatory Activities：CNRA）の先進原子炉の安全に関するワーキンググループ（Working Group on Safety of Advanced Reactor：WGSAR）、およびその他の国内規制関係者および設計者との技術的インターフェースを確立した。

RSWGメンバーシップには、現在、設計者と規制当局のフォーラムとして、カナダ、中国、フランス、日本、南アフリカ、ロシア、英国、および米国の代表者が参加している。同グループは年2回の会議を開催している。同グループにより以下が進められた。

- 福島第一原発事故から学んだ教訓を反映するためのGIF基本安全アプローチの2008年版の更新。
- GIFPR&PPおよびETTFワーキンググループとのインターフェース。
- ライセンスベースのイベントを選択し、第4世代システムに共通のシステム、構造およびコンポーネントの安全性を分類するための、技術を含むリスク情報に基づいたアプローチの開発に関するWGSARとの新しい共同イニシアチブの組織。

SSCとの進行中のRSWG協力には以下が含まれる。

- 選択した第4世代設計トラックのセルフ評価のために、その有用性を評価するISAMのパイロットアプリケーションに関する白書の作成
- 高レベルな安全設計の特性/課題の現在の状態の要約およびGIFでのシステム開発の最初の10年後の残りのR&Dニーズの概要としてのシステム安全性評価レポートの作成
- 各システムの安全設計基準の開発への貢献

2019年末までに、1つを除くすべての白書が完成し、RSWGフィードバックに基づく改訂が保留されているのはMSR pSSCのMSR白書だけである。SFR、VHTR、SCWRシステムのシステム安全性評価レポートも完成しているが、LFRおよびGFRレポートはどちらもRSWGフィードバックに基づくSSCの更新が保留されている。完成した白書とシステム安全性評価レポートは公開されており、GIF RSWG公開Webページからアクセスできる。SFRシステム（SDC-TFによって完成）以外に、安全設計基準の開発プロセスは、他の第4世代システムの準備のさまざまな段階にある。

進行中のGIF基本安全アプローチレポートの更新は、最初の発行から10年以上後に必要となった改訂を明らかにすることを目的としており、主に福島第一原発事故後の勧告事項

と要件を統合して、安全当局の期待に適合するレベルの安全性を確保することに重点を置いている。以下のために、この更新によって RSWG の取り組みも拡張され、GIF メンバーの安全アプローチを調和させている。

- 共通のビジョンに集中する。
- 設計で考慮されるプラントステータスの共通定義と、多層防御レベルとの整合性を提供する
- さまざまな多層防御レベルでの予防/緩和機能の独立性を強化する
- 実質的に排除された事故の定義と選択プロセスを明確にする

以下の 2 つの異なるレポートが作成されている。

1. 「第 4 世代原子力システムの設計と評価に関する安全アプローチ更新の基礎」。2008 年版の大幅な改訂版であるが、概要は類似している。
2. 第 4 世代システムの設計と安全性評価におけるそれらの適用性の洞察を提供するために、2011 年以降、規制当局および国際機関が発表した福島原発事故後の勧告および要件に焦点を当てることの延長として、「福島原発事故の影響および第 4 世代原子炉の安全アプローチに関する最近の規制」に関する要約レポート

GIF-WGSAR 共同イニシアチブは、ライセンスベースのイベントの選択とシステム、構造、およびコンポーネントの安全分類のためのリスク情報に基づくアプローチの開発に焦点を当てている。この技術を含むアプローチは、固有および受動的な安全機能に重点を置いて、さまざまな多層防御レベルに対応するプラントステータスの共通理解を強化し、信頼性を高め、安全マージンを改善するための決定論的手法を補うために、リスクの洞察を安全性評価および規制上の決定に組み込む構造化されたアプローチを提供することを目的としている。

これは、GIF/CNRA 共同イニシアチブとして、国際的な設計者と規制当局間の構造化された対話を促進することを目的としている。期待される結果は、次のような方法でリスク情報に基づくアプローチを適用するための重要な考慮事項に関するレポートである。

- a) 特有のさまざまな独立した規制構造を認識する柔軟さを備えた 6 つの第 4 世代システムすべてが含まれている。
- b) 既存の GIF 安全アプローチと手法（基本的な安全アプローチと ISAM など）に基づいている。
- c) リスク情報に基づくアプローチの主な構成要素、およびその実行に関するプロセスを説明する。2 年間のプロジェクトは、GIF システム運営委員会と安全設計基準タスクフォースからの調整された情報を使用してレポートを完成させてから、その後のレビューとフィードバックのために WGSAR に提示することが想定している。

RSWG は、原子力安全規制コミュニティ、国際機関、および第 4 世代原子炉システムの利害関係者との交流について GIF 政策および専門家グループに引き続き助言を行う。2019 年、RSWG は、中国が後援および主催する 1 週間の ISAM トレーニングも提供し、GIF 教育訓練タスクフォースが主催する第 4 世代のリスクおよび安全性ウェビナーを開催した。



RSWG の Tanju Sofu
議長とすべての貢献者