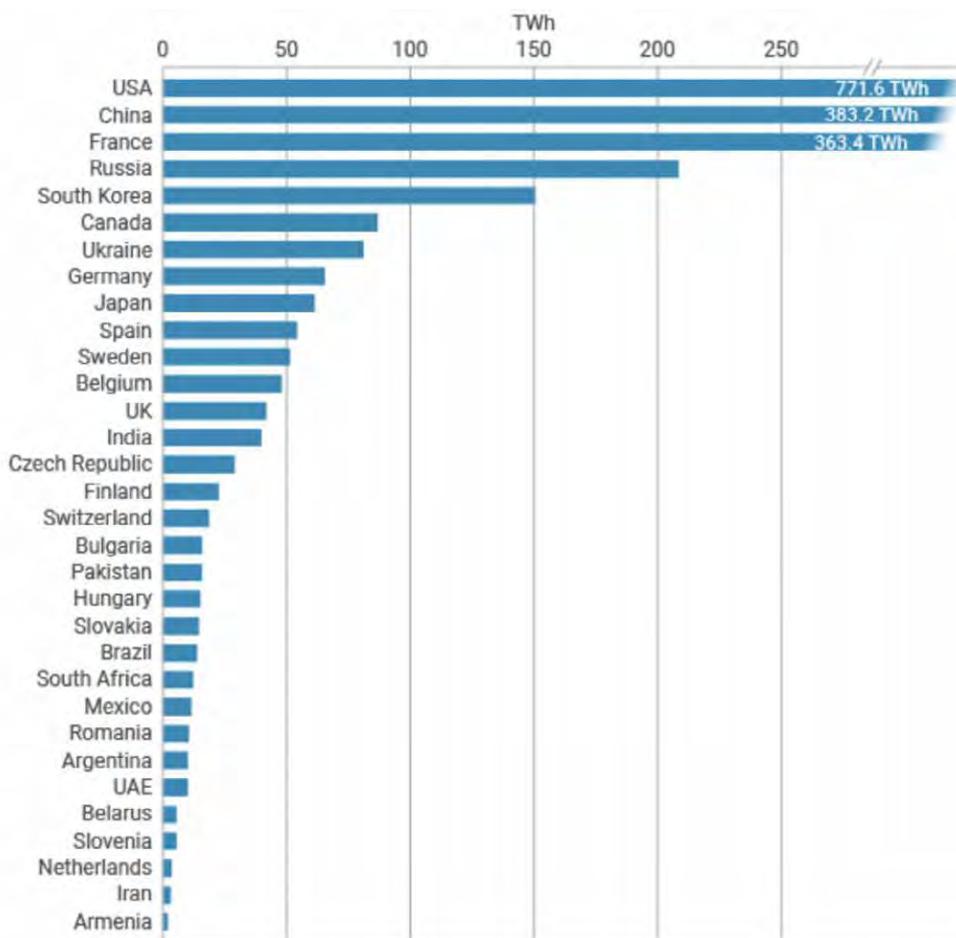


(図 6-9 中国の原子力発電 発電量の推移²⁴⁸⁾)

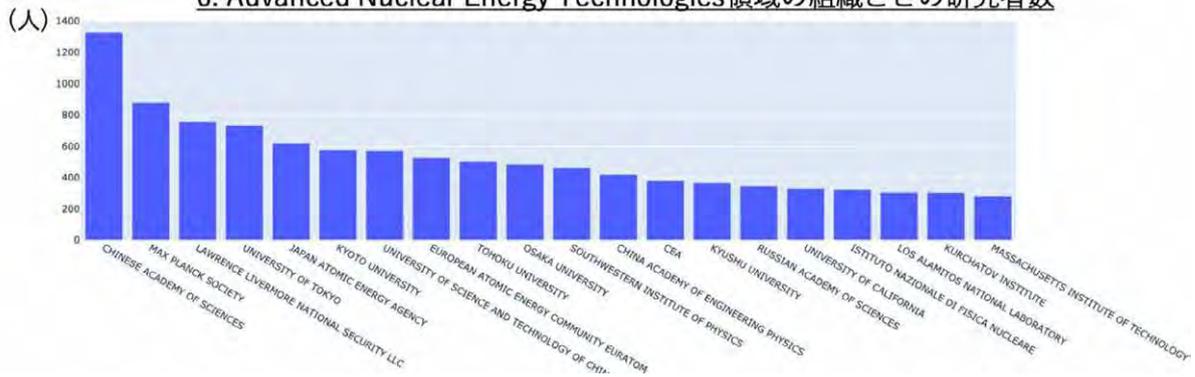


(図 6-10 原子力発電 発電量の各国比較ランキング 2021 年²⁴⁹⁾)

²⁴⁸ World Nuclear Association, <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/china-nuclear-power.aspx>

²⁴⁹ World Nuclear Association, <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx>

6. Advanced Nuclear Energy Technologies領域の組織ごとの研究者数



(図 6-11 原子力エネルギー技術領域の組織ごとの研究者数²⁵⁰)

中国が拡大させているのは、原子力発電所の数だけではない。核融合技術開発においても研究を進めており、日本に先行するとの見解もある(図 6-12)。2022 年 10 月には、四川省にある核融合原子炉 HL-2M で、稼働に必要な十分なエネルギーを発電することができたとの報道がなされている²⁵¹。「実験的超伝導トカマク」(Experimental Advanced Superconducting Tokamak: EAST)は、通称「人工太陽」と呼ばれる商業の核融合炉で使用される世界初の超伝導トカマクであり、2021 年には摂氏約 7000 万度という高温のプラズマを 1056 秒間持続することに成功している²⁵²(図 6-13)。さらに、「中国の発電実証に向けた原子炉計画」(CFETR)は、2007 年に ITER への参画で得た知見をもとに実現可能な比較的大きな核融合炉を建設してきた²⁵³。これは、米英が計画している小型核融合炉に比較すると技術的にもその実現可能性が高いもので、着々に成果を出しながら技術革新を進めたいという中国の意図が窺える。CFETR は、2017 年に設計が開始されたが、これは 2025 年の設計開始を目指す日本の核融合炉 Japan-DEMO

²⁵⁰ アスタミューゼ再委託レポート, 54 頁。

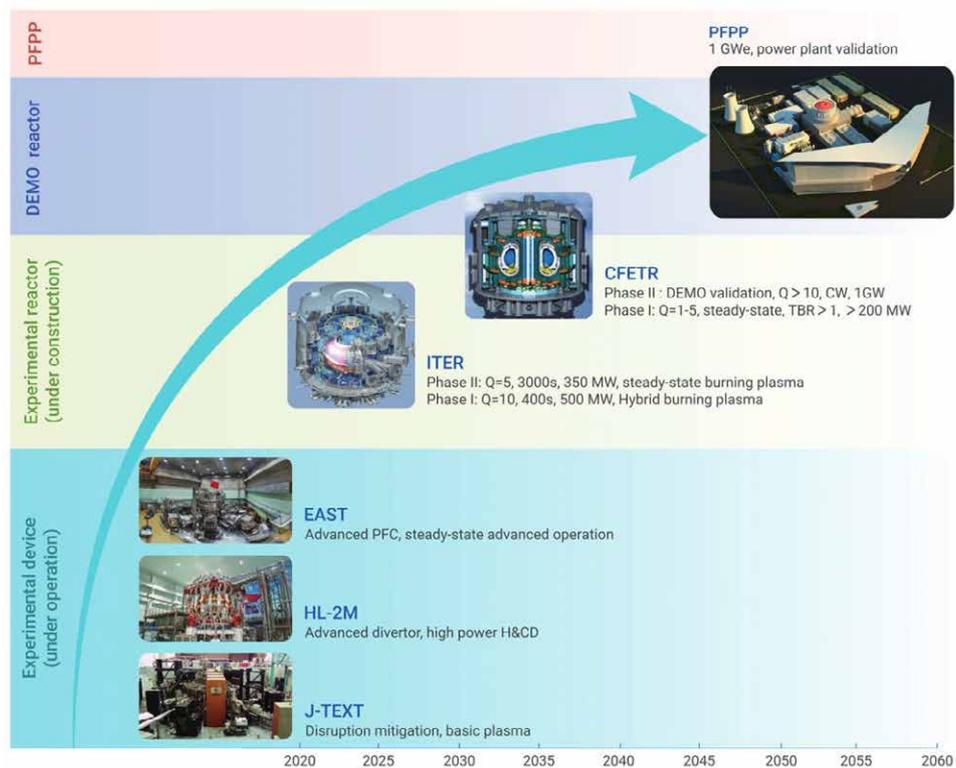
²⁵¹ Chik, Holly, “Chinese scientists hail ‘important step’ towards nuclear fusion from ‘artificial sun.’ ” *South China Morning Post*. (October 21st 2022)

<https://www.scmp.com/news/china/science/article/3196825/chinese-scientists-hail-important-step-towards-nuclear-fusion-artificial-sun>; また詳細な技術情報については以下を参照。Zhuang, Ge, et al. “Progress of the CFETR design.” *Nuclear Fusion* 59.11 (2019): 112010.

²⁵² Institute Of Plasma Physics Chinese Academy Of Sciences, “1,056 Seconds, another world record for EAST.” December 31, 2021. http://english.ipp.cas.cn/sywx/202112/t20211231_295485.html

²⁵³ 岡野邦彦「中国が核融合炉開発で先行する—日本が勝つために必要なことは」(国際環境経済研究所, 2022 年 10 月 11 日) <https://ieei.or.jp/2022/10/expl221011/>

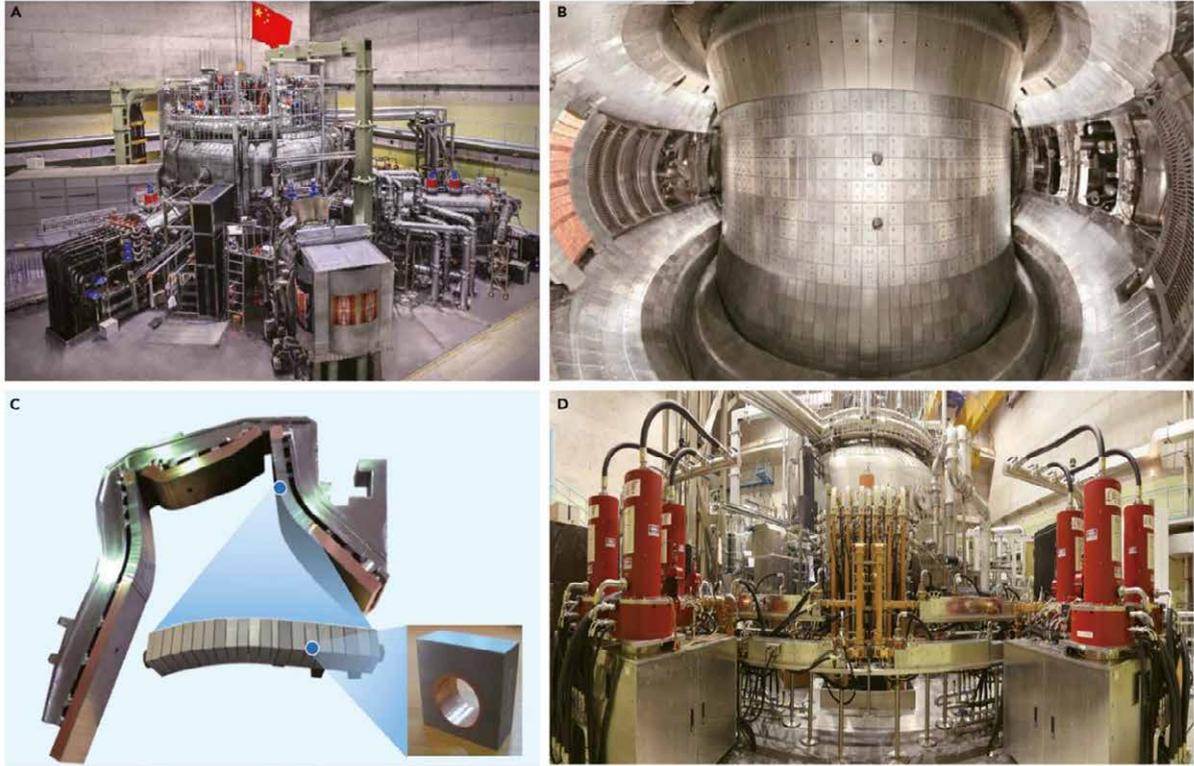
よりも実に 8 年先行するスケジュールである²⁵⁴。2030 年の稼働を目指し現在も研究開発が進められている。



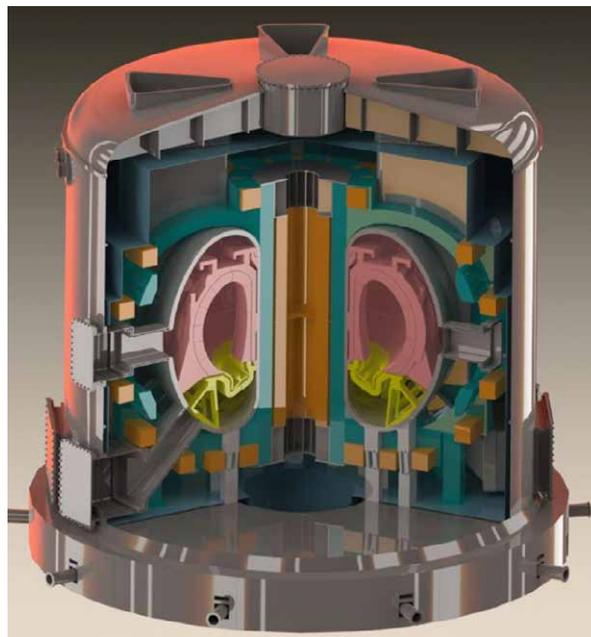
(図 6-12 中国の核融合開発のロードマップ²⁵⁵)

²⁵⁴ Zheng, Jinxing, et al. "Recent progress in Chinese fusion research based on superconducting tokamak configuration." *The Innovation* (2022): 100269.

²⁵⁵ Wan, Yuanxi, et al. "Overview of the present progress and activities on the CFETR." *Nuclear Fusion* 57(10)(2017): 102009.



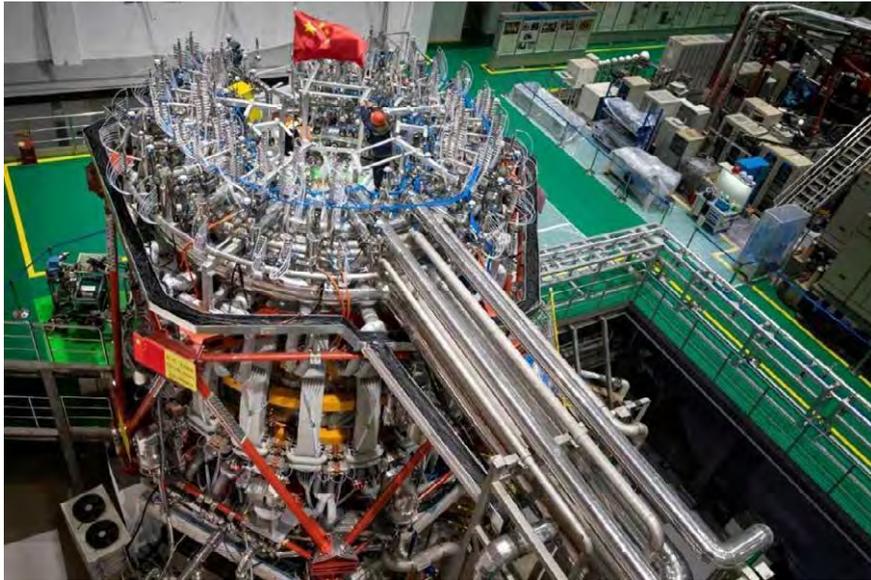
(図 6-13 EAST トカマク²⁵⁶)



(図 6-14 CFETR の構造イメージ²⁵⁷)

²⁵⁶ Zheng, Jinxing, et al. "Recent progress in Chinese fusion research based on superconducting tokamak configuration."

²⁵⁷ Wan, Yuanxi, et al. "Overview of the present progress and activities on the CFETR." *Nuclear Fusion* 57(10)(2017): 102009.



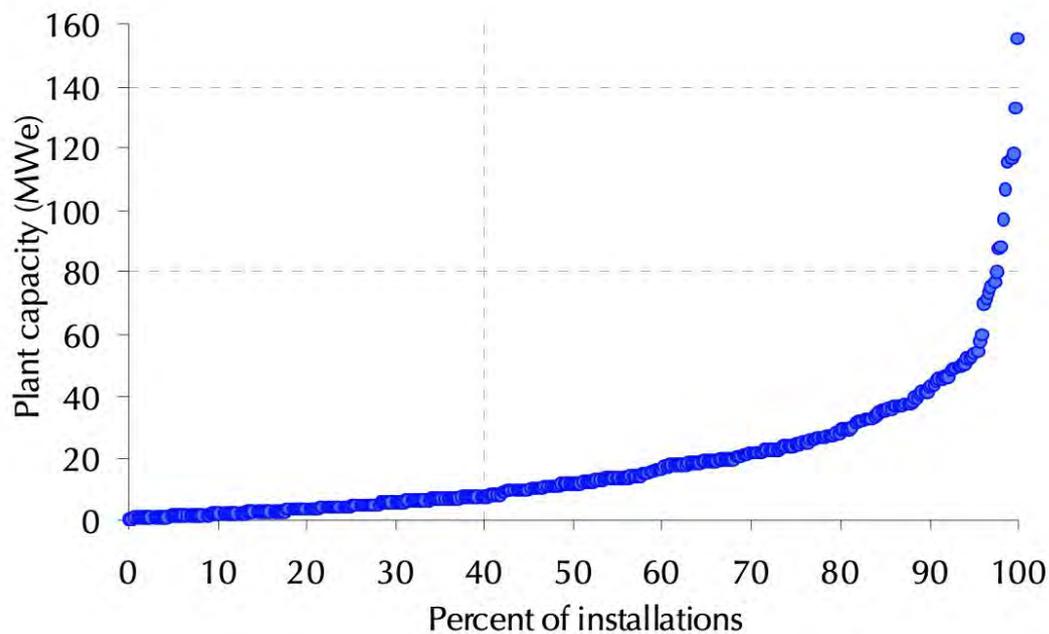
(図 6-15 四川省にある核融合原子炉 HL-2M²⁵⁸)

このように、中国では 2000 年以降極めて早いスケジュールで原子力発電所の増設と核融合炉の設計・建設が進められてきた。2007 年に初めて中国が ITER に参画したことを考えるとこの 10 年間の技術革新のスピードは驚くべきものである。日本はそのほかの民主主義国と国際協調を進めながら、引き続き核融合開発を進める一方で、中国の研究動向を一つのベンチマークとして注視しておく必要があるだろう。日本からの人材流出の懸念もある。具体的な研究テーマや役割等は定かではないが、日本から中国の研究機関に人材が流出している可能性もあり、今後こうした懸念国への研究者の移動にも引き続き、注意が必要となるだろう。

6. 公的利用・安全保障における利用

基地の稼働や軍事オペレーションにおけるエネルギー供給は、米国を中心に国防省や軍の中で大きな検討事項として認識されてきた。軍事技術の発展とオペレーションの複雑化に伴い必要となるエネルギーも増大していることは国防省や軍関係者にとっても大きな懸案事項となってきた。図 9 は 2008-2009 年における米軍の基地のオペレーションとそれに伴って必要になるエネルギーを示している(図 6-16)。これを見ると基地をフル稼働させるために必要なエネルギーは 90-100%の段階に至ると指数関数的増加することがわかる。

²⁵⁸ Ibid.



(図 6-16 基地の稼働とエネルギー需要 FY2008-2009²⁶⁰)

こうした膨大なエネルギー需要を満たすために、民間の電源だけに依存してしまうのは、有事の対応が求められる軍にとって大きなリスクとなる。それゆえに、米国は国防省を中心に独自で電源を確保するための技術革新を模索してきた。特に国防省は、小型モジュール炉 (Small Module Reactor: SMR) やマイクロモジュール炉 (Micro Module Reactor: SMR) の調達を積極的に進めてきた。特に発電向けのマイクロモジュール炉は長期的には米国海軍の基地のエネルギー供給を安定化させることが期待されている²⁶¹。最近では、米国国防省が小型で移動が可能な原子炉の設計と開発を目指す 'Project Pele' を進めており、2022年3月にはアイダホ国立研究所 (Idaho National Laboratory) で Mobile Microreactor の実証実験を行うことを発表した²⁶²。

²⁶⁰ Marcus King, LaVar Huntzinger & Thoi Nguyen, *Feasibility of Nuclear Power on U.S. Military Installations*. (CAN, 2011): 23.

²⁶¹ Robert F. Ichord, Jr. and Jennifer T. Gordon, *Innovation in Nuclear Energy Technologies: Implications for US National Defense*. (Washington, DC: Atlantic Council, 2020).

²⁶² The U.S. Department of Defense, DoD to Build Project Pele Mobile Microreactor and Perform Demonstration at Idaho National Laboratory. Immediate Release on April 13, 2022. Retrieved from <https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/2998460/dod-to-build-project-pele-mobile-microreactor-and-perform-demonstration-at-idaho/>

そもそも原子力エネルギー技術の開発というのは、その黎明期においては民間企業が背負うには高すぎるコストから国防省を中心に国がその技術開発をリードしてきたという背景がある。しかし、こうした技術開発は一旦民間の市場ベースに乗ってしまうと商業目的に展開されることがほとんどで、軍事技術の発展に対しては必ずしも有益なフィードバックを与えてはこなかった²⁶³。こうした歴史的背景もあり、近年では国防省や軍が原子力エネルギーの技術を軍事のオペレーションに積極的に展開していこうという動きがかなり顕在化してみられる。例えば、国防省は2018年度予算に34億ドルもの予算を機材システムや車両等のエネルギーに費やして、エネルギーの確保のプライオリティが軍部においても増加していることがわかる²⁶⁴。また研究開発であれば、国防省は、2018年度に16億ドルもの予算をエネルギー関連の研究開発や試験、評価に費やしたことが報告されており、エネルギー省と並んで、国防省もこうしたエネルギー分野の技術開発でイニシアティブを発揮していることが明確であろう²⁶⁵。

また兵器開発においても原子力エネルギーは新たな技術開発の可能性を後押ししてきた。特に弾道ミサイルや巡航ミサイルの迎撃を目的に用いられる指向性エネルギー兵器開発において、膨大なエネルギーを創出できる核エネルギーの利用が積極的に検討されてきた時期もあった²⁶⁶。レーザーを放射して対象物を破壊ないし無力化させる指向性エネルギー兵器には、これまでの兵器以上の膨大なエネルギーが必要となるため、原子力エネルギーによるレーザーの創出が検討されてきたわけである。しかしながら近年では、原子力エネルギーによるレーザーではなく、個体電子によるエネルギー兵器の開発にシフトしつつある傾向がある²⁶⁷。

7. まとめ

原子力エネルギー技術開発は、従来の電源技術としての発展過程とその他の先端科学技術分野への応用研究が同時並行的に進められてきた。電源技術としての原子力エネルギー技術は、「第

²⁶³ Ichord et al., *Innovation in Nuclear Energy Technologies*.

²⁶⁴ The Department of Defence, Energy Action Month Puts Spotlight on DOD Efforts. (October 1, 2019). Retrieved from <https://www.defense.gov/News/News-Stories/Article/Article/1972916/energy-action-month-puts-spotlight-on-dod-efforts/>

²⁶⁵ Dorothy Robyn and Jeffrey Marqusee, *The Clean Energy Dividend: Military Investment in Energy Technology and What It Means for Civilian Energy Innovation* (Information Technology and Innovation Foundation, 2019).

²⁶⁶ Mark Prelas, *Nuclear-Pumped Lasers*. (Springer, 2016).

²⁶⁷ Ichord et al., *Innovation in Nuclear Energy Technologies*.

4世代」原子炉のより効率的で安全な原子炉の開発が進められると同時に、より柔軟にエネルギー需要に対応できる小型モジュール炉の開発が進められてきた。その一方では、宇宙探索分野で半永久的にエネルギーを生み出す仕組みとして原子力発電の応用が期待されてきた。米国のプロメテウス計画に代表されるように、多額の資金が投じられる宇宙探索プロジェクトにおいて、原子力エネルギー技術が果たす役割は極めて重要であり、今後も原子力エネルギー分野と宇宙科学との相関性には注目すべきであろう。また、核融合技術のような原子力エネルギー発電技術そのものを革新させる技術開発が進められようとしていることは、従来の原子力エネルギー技術と宇宙探索のようなその応用分野の両方で大きな期待をもたらすものである。特に、核融合技術開発から宇宙科学でも応用可能なプラズマ物理学のような学際的研究領域が生み出されたことを考えれば、今後原子力技術と宇宙科学とのより強固なシナジーが期待されるだろう。

こうした民生分野での技術革新と並行して、国防省や軍も電源技術としての原子力エネルギーに強い関心を寄せてきた。民間のエネルギー電源に頼ることは有事対応を含めた軍の安全保障上の役割を考えると好ましくないこともあり、軍は独自でエネルギーを調達できる技術として小型モジュール炉やマイクロ・モジュール炉といった技術の開発を進めてきた。エネルギーの安定供給は民生分野のみならず、軍事技術分野においても重要な問題であり、米国を中心に原子力電源技術開発に国防省や軍部が積極的に関与しているケースが見受けられる。

日本は今後米英仏といった同じく民主主義の理念を共有する国々との更なる技術協力を促進する一方で、中国の技術動向にも引き続き特に留意をしてゆく必要がある。特に2007年から中国がイーターに参画したことを考えると、同じくアジアの国として原子力技術分野における技術交流を可能な範囲で維持しておくことが我が国そして他国にとっても重要となるかもしれない。