

# ウラン資源の上流部門

## Upstream of Uranium Resources

横田 恵美理 \*

Emiri Yokota

### 1. はじめに

現在日本では、原子力発電所の安全審査が長期化し再稼働時期が見通せない状況である。さらに、再稼働した発電所についても、特定事故等対処施設の設置期限の問題や訴訟リスクにより計画外の運転停止をせざるを得ない状況となっている。そのため、原子燃料の調達についても、従来の長期計画に基づいた調達方法だけではなく、計画外の運転停止にも対応できるようフレキシブルな戦略が必要となるだろう。このような状況で、ウラン資源の上流部門の現状を確認し将来的な展望を予測することは、フレキシブルかつ新しい原子燃料調達戦略を検討する材料を提供するものと考えられる。

ウランは、ウラン鉱山から採取し、精錬、転換、濃縮、成型加工の工程を経て、燃料集合体となり原子炉に装荷される。この一連の工程を、原子燃料サイクルの中でフロントエンドとよぶ。フロントエンドの工程ごとに各々の市場が存在し、様々なプレイヤーが活動している。今回はフロントエンドの中でも最も上流に位置するウラン精鉱市場（転換の前まで）を取り上げ、ウラン資源量や生産量、サプライヤーの変遷、需給とスポット価格の推移をまとめるとともに、将来的な展望について述べる。

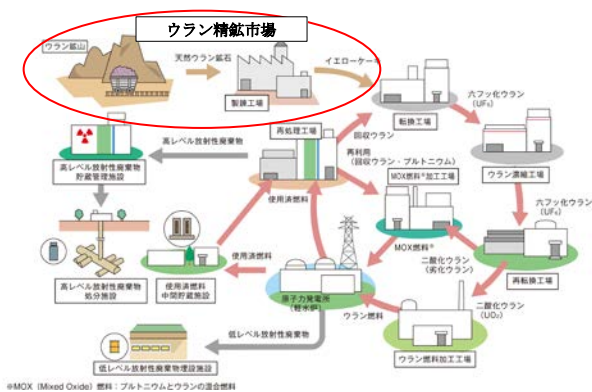


図1 原子燃料サイクル図

(出所) (一財) 日本原子力文化財団「原子力・エネルギー」図文集より作成

\* 一般財団法人 日本エネルギー経済研究所 戦略研究ユニット 原子力グループ 研究員

\*\*アンダーフィーディングとは、濃縮会社が濃縮ウランを製造する際に、使用する天然ウラン量を減少させる代わりに濃縮役務量を増加させることをいう。濃縮会社は、濃縮役務価格の低迷時にアンダーフィーディングを行うことによって天然ウランを在庫として確保し、天然ウラン価格の上昇時に高値で在庫を放出するために用いられる戦略である。

本稿はエネルギー・資源学会誌3月号の論考に加筆し、学会の許可を得て掲載するものである。

### 2. 主なウラン資源について

ウラン資源には、一次供給源と二次供給源の2つが存在する。一次供給源とは、自然界に存在する天然ウランに由来するものであり、在来型資源と非在来型資源に区分できる。在来型資源は、ウラン鉱山から生産されるウラン資源や金・銀鉱山の副産物として生産されるウラン資源のことをいう。非在来型資源は低品位のウラン資源や副産物として回収可能ではあるが経済性の低いウラン資源をいう。

二次供給源とは、民生用や軍事用として備蓄された天然ウランや濃縮ウラン、使用済燃料や余剰となった軍事用プルトニウムを再処理後に抽出した核燃料のほか、アンダーフィーディング\*\*や劣化ウランの再濃縮によるウランをいう。

#### 2.1 ウランの資源量について

ここでは在来型資源のうち発見済みの既知資源について見ていく。既知資源は、鉱床の規模、品位、形状が明確な確認資源と鉱床の規模・特性に関するデータが不十分な推定資源から構成され、世界各地に存在する。一般的に「ウラン資源」という場合、確認資源と推定資源を合計した既知資源を指すことが多い。図2に示すとおり既知資源の多くは豪州をはじめとした比較的政情が安定した国に分布している。

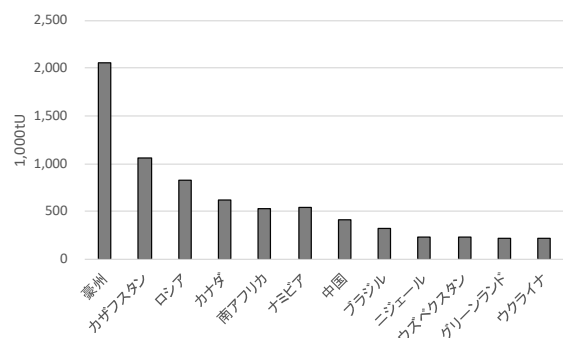


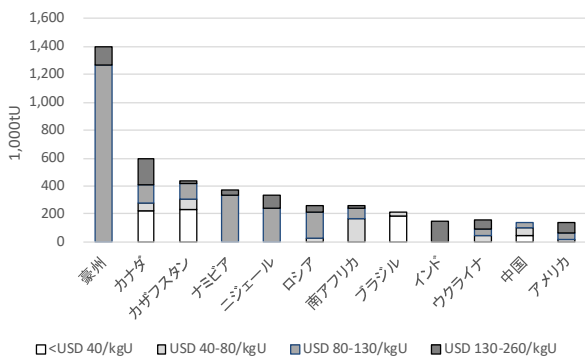
図2 既知資源量 (2017年)

(出所) Uranium 2018, Resources, Production and Demand より作成

一方で、既知資源が発見されたとしても、現行のウラン価格や将来的な価格見通しに照らして経済性が認められな

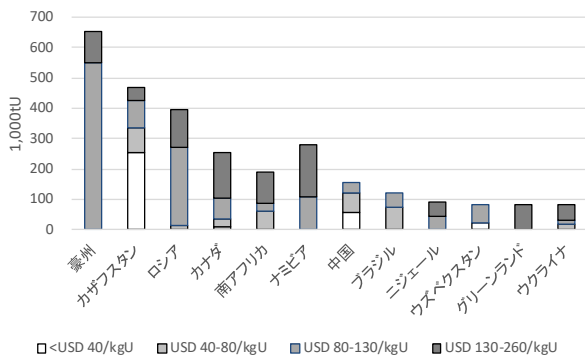
ければ開発や生産は見送られる。近年では、高品位かつ世界有数の資源量を誇るカナダのMcArthur River 鉱山が価格低迷等を理由に操業を停止した。資源は回収されなければ「資源」のままなのだ。それゆえ「資源」を見る際は、回収コストの観点が必要になってくるのである。

ウランの回収コストには、40米ドル/kgU未滿、80米ドル/kgU未滿、130米ドル/kgU未滿、260米ドル/kgU未滿の4つの区分がある。ここで、**図2**を回収コスト区分ごとの確認資源量(**図3**)と推定資源量(**図4**)に分けると、以下ようになる。



**図3** 確認資源量 (2017年)

(出所) Uranium 2018, Resources, Production and Demand より作成



**図4** 推定資源量 (2017年)

(出所) Uranium 2018, Resources, Production and Demand より作成

豪州は40米ドル/kgU未滿、80米ドル/kgU未滿といった回収コストごとの区分データではなく経済的に回収可能な実証資源量 (accessible economic demonstrated resource) のみを公表している。そのため、40米ドル/kgU未滿、80米ドル/kgU未滿で回収可能な豪州の既知資源を正確には確認できないことを前提とするが、最も安価な40米ドル/kgU未滿のコストで回収可能な既知資源が確認されているのは、カザフスタンを含む7カ国のみである。そのうち約45%がカザフスタンに集中していることは特筆す

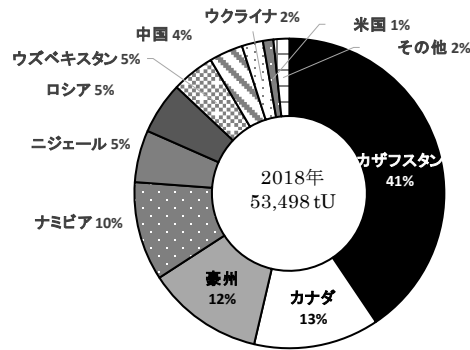
べきだろう。さらに、80米ドル/kgU未滿のコストで回収可能な既知資源を最も多く保有する国もカザフスタンであり(31%)、2位カナダ(15%)と3位の南アフリカ/ブラジル(11%)を大きく引き離している。

回収コストを130米ドル/kgUまで上げた場合でも、回収可能な既知資源の約95%は15カ国に集中している。このように、回収コストの観点から既知資源を見た場合、その偏在性が顕著であり、安価なコストで回収可能な既知資源が必ずしも政情が安定している国に集中しているわけではないといえる。既知資源は、政治的観点、経済的観点、技術的観点など様々な側面を考慮して生産の可否が決定されるのであり、資源として保有する量と生産量は必ずしもイコールではないことに留意する必要がある。

### 3. ウラン生産国およびサプライヤーについて

#### 3.1 ウラン生産国について

2018年におけるウラン生産量の国別シェアを**図5**に示す。カザフスタンは世界全体の生産量の41%を占め、世界一のウラン生産国となっている。また、2位のカナダ(13%)、3位の豪州(12%)と合わせて、上位3カ国だけで世界全体の生産量の66%を占めている。一方で、カザフスタンの生産量は圧倒的に多く、生産国という観点からもカザフスタンに一極集中していることがわかる。



**図5** 生産量の国別シェア (2018年)

(出所) World Uranium Mining, WNA より作成

2009~2018年における国別生産量の推移を**図6**に示す。2016年以降はウラン価格の長期的な低迷等によって世界全体の生産量は減少しているが、至近10年間において西側先進国の生産量はほぼ横ばいか減少傾向であるのに対し、カザフスタンをはじめとしたアジア勢は着実に生産量を増やしてきている。

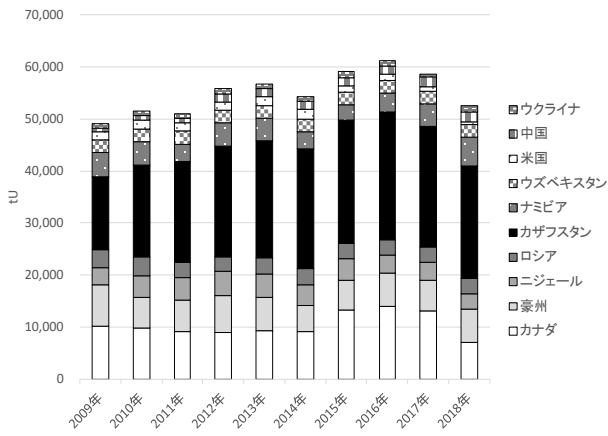


図6 国別生産量の推移 (2009～2018年)

(出所) World Uranium Mining, WNA より作成

### 3.2 サプライヤーの変遷について

2008年と2018年のサプライヤー別シェアを図7に示す。2008年は、Rio Tinto (18%)、Cameco (15%)、AREVA (現Orano, 14%) など西側先進国の大手エネルギー資源会社が全体の50%近くを生産していた。一方で、2018年になると、低コスト開発に強みを持つカザフスタンの国有原子力公社Kazatomprom や一帯一路構想を掲げ海外資源開発に対して積極的な投資を行っている中国広核集団公司 (CGN) などアジア勢のシェアが拡大している。さらに2013年には、ロシア国有企業Rosatom傘下のARMZがカナダのUranium Oneを合併するなどロシア企業もシェアを拡大している。このように、サプライヤーの観点から見ると、カザフスタン、中国といったアジア勢に加え、ロシア企業の進出が著しく、10年前とは大きく構成が異なっている。

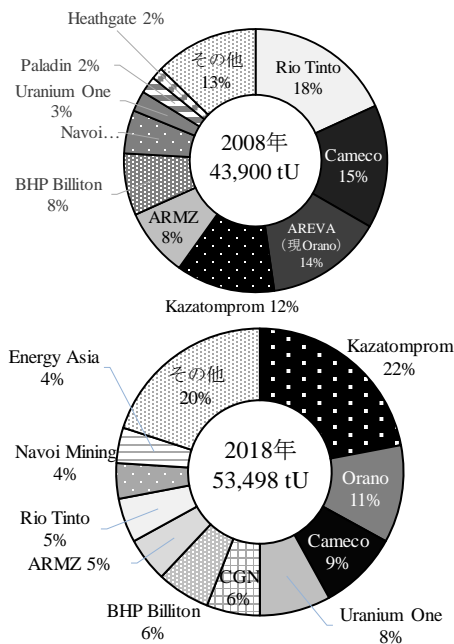


図7 生産量のサプライヤー別シェア

(出所) World Uranium Mining, WNA より作成

### 3.3 ウラン鉱山別生産量と開発投資について

2018年のウラン鉱山別生産量を表1に示す。世界トップ10鉱山の生産量は世界全体の51%を占める。カナダのCigar Lake 鉱山の生産量が最も多く、6,000トン/年を超え、2位以下を大きく引き離している。

表1 ウラン鉱山別生産量 (2018年)

順位	鉱山	株主	生産量 (tU)	シェア (%)
1	Cigar Lake (カナダ)	Cameco (50.025%) Orano (37.1%) 出光興産 (7.8575%) 東京電力 (5%)	6,924	13
2	Olympic Dam (豪州)	BHP Billiton (100%)	3,159	6
3	Husab (ナミビア)	Swakop Uranium (CGN/Epangelo Mining Ltd.)	3,028	6
4	Inkai (カザフスタン)	Kazatomprom / Cameco	2,643	5
5	Rössing (ナミビア)	中国鋳業 (CNUC)	2,102	4
6	Budenovskoye 2 (カザフスタン)	Uranium One/ Kazatomprom	2,081	4
7	Tortkuduk (カザフスタン)	Orano/ Kazatomprom	1,900	4
8	SOMAIR (ニジェール)	Orano	1,783	3
9	Ranger (豪州)	Rio Tinto/ EPA	1,695	3
10	Kharasan 2 (カザフスタン)	Kazatomprom	1,631	3
計			26,946	51

(出所) World Uranium Mining, WNA および各社HPより作成

その一方で、上述のとおりカナダのMcArthur River 鉱山 (Cameco と Orano の Joint Venture) が操業を停止していることに加え、9位の豪州 Ranger 鉱山も2021年には完全操業停止を計画しているなど、西側先進国の大手エネルギー資源会社が保有する鉱山では今後生産量が減少していく見通しとなっている。

そのような中で、2017年に生産を開始したナミビアのHusab 鉱山は2018年に生産量が3,000トン/年を超え世界3位となった。フル操業時には7,000トン/年を生産する計画であり、ウラン鉱山別生産量の観点では、アジアやアフリカに開発の軸が移動している。

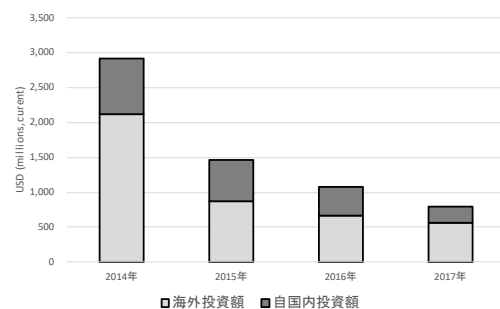


図8 世界のウラン開発投資額の推移 (2014～2017年)

(出所) Uranium 2018, Resources, Production and Demand より作成

2014年以降の海外投資額および自国内投資額はともに減少傾向である(図8)。カナダのCigar Lake 鉱山やナミビアのHusab 鉱山といった世界でも有数の埋蔵量を誇る鉱山の開発が完了したことが主な要因であるが、2011年後半から続くウラン価格の長期的な低迷も投資を控える要因として根強く残っている。2019年7月、Rio Tintoはウラン鉱山開発の縮小を決定し、自社が保有していたナミビアのウラン鉱山会社Rössing Uranium Limitedの全持ち株68.62%を中国核工業集団(CNNC)傘下の中国鈾業(CNUC)へ売却した。

現在、カザフスタンやカナダなど主要生産国が価格のさらなる下落を防止するために生産量を制限しているが、今後も価格低迷が続けば、投資額の減少が続くと見込まれる。

#### 4. ウラン市場について

##### 4.1 価格について

ウラン市場も他の資源と同様にサプライヤー、トレーダー等様々なプレイヤーが参入しているが、最大の特徴は公開市場での取引が行われていないことである。取引は主に直接2社間で行われるか商社などの仲介者を通じて行われる。そのため、実取引に関する価格決定方式は明らかにされておらず、一般的に公表されている市場価格は存在しない。一方で、独自の調査等により豪州や米国、Euratom等は当該年の購入価格(複数年契約価格とスポット価格)を公表している。また、民間企業のTradeTechやUxC, LLC(UxC)等も市場動向や入札状況をモニタリング・分析して独自の価格指標を示している。

##### 4.2 需給とスポット価格の推移について

1970年代に米国原子力発電所の商業的な利用が成功し需要量と生産量が増加した。その後、1970年代に発生したオイルショックの影響によって需要量と生産量がさらに増加するとともに、スポット価格が一時的に上昇した。

一方で、1979年に発生した米国スリーマイル島事故と1986年に発生した旧ソ連チェルノブイリ事故の影響等で1980~90年代にかけてスポット価格は低迷した。さらに、この価格低迷を受けて、経済性が見込める地域を除いてウラン鉱山の開発・拡張の投資活動が控えられたことから生産量は減少した。

1990年代に入ると、初めて需要量が生産量を上回り、供給不足が発生した。この状況は2014年まで続き、生産量の不足分は米露間の解体核兵器高濃縮ウラン(HEU)輸出協定に基づく低濃縮ウラン(LEU)等の二次供給源によって賄われた。

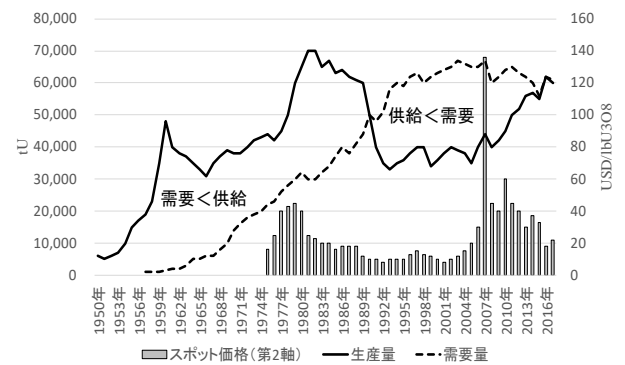


図9 需給およびスポット価格の推移  
(出所) Uranium 2018, Resources, Production and Demand  
より作成

2000年代には、世界的な原油価格高騰やロシア・中国等の原子力発電所建設ラッシュによって需要量が増え続ける中で、相次ぐ鉱山の出水事故(2003年4月:カナダMacArthur River 鉱山、2006年4月、10月:カナダCigar Lake 鉱山)の影響で生産量が伸び悩み需給はひっ迫した。この需給ひっ迫によって価格が上昇し始めたところへ投機的な資金が流入し、2007年6月にスポット価格は史上最高値の136米ドル/lbU3O8まで高騰した。この出来事によって明らかになったのは、1)ウランもコモディティ化し投機の対象になったこと、2)スポット価格と長期契約(長契)価格の間には大きな乖離がなく推移してきたが、市場動向等の影響によってスポット価格が高騰し、長契価格との乖離が大きくなる可能性があることであった。それゆえ、この出来事を契機として、経済的なリスク回避のためにウラン売買契約の価格フォーミュラを見直した発電事業者も多いのではないかと推測される。

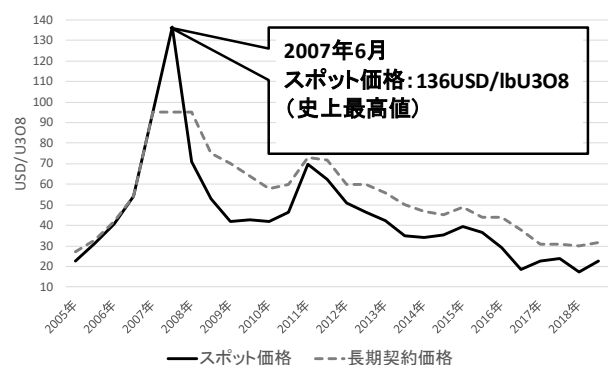


図10 スポット価格の推移(2005年以降)  
(出所) UxC HP より作成

2007年に高騰したスポット価格は、米国エネルギー省によるウラン在庫放出や直後に発生した世界金融危機の影響によって短期間のうちに40米ドル/lbU3O8から50米ドル/lbU3O8の範囲に収束した。

2010年頃には、中国の原子力開発の進展に伴う長期契約

増加のため一時的にスポット価格が上昇した。サプライヤーが中国等新興国の需要量増加を見込んで生産量を増やしていた中で、2011年に福島第一原子力発電所事故が発生した。これによって需要量が急速に減少し市場が飽和状態となった。この結果、スポット価格は下がり続け、2016年12月には20米ドル/lbU3O8を切る水準にまで下落した。その後は20米ドル/lbU3O8から30米ドル/lbU3O8の低い水準で推移している。

### 4.3 需給とスポット価格の見通しについて

図11に示すように、世界の需要量が現在の水準かそれよりもやや低水準で推移する場合（低位ケース）、2030年頃には需要量が生産量を上回り供給不足が発生することが予測される。この生産量の不足分は二次供給源によって賄われることになる。しかし、米露間のHEU輸出協定は2013年に満了し現在ロシアから米国に向けた解体核兵器由来のLEUは輸出されていないこと、反ダンピング訴訟に関連して2020年まで輸出量が制限されているロシア産天然ウランは2021年には制限が撤廃される予定であること、2019年8月に米露間の中距離核戦力（INF）全廃条約が失効したこと等を考えると、HEU輸出協定の後続協定が締結される可能性は低く、HEU由来のLEU在庫は今後減少していくと考えられる<sup>1</sup>。一方で、濃縮価格の長期的な低迷を背景に各国の濃縮会社がアンダーフィーディングによってウラン在庫を積み上げており、二次供給源は現在11,000tU/年程度確保されている。さらに、今後20年に渡り8,000～10,000tU/年の供給が可能であると予測されており、政情の大きな変化等がない限り2035年まで需給ひっ迫の可能性は低いだろう。

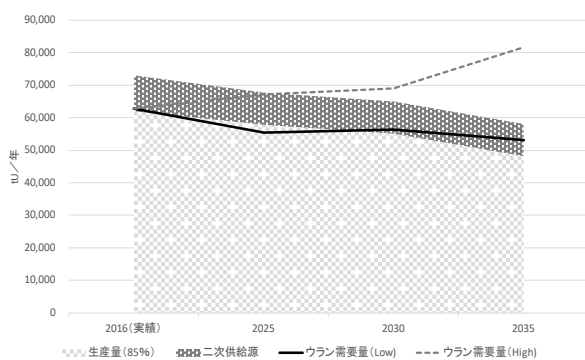


図11 ウラン需給の推移予測

(出所) Uranium 2018, Resources, Production and Demand  
より作成

2019年のスポット価格は、サプライヤーが需要量の伸び悩みを考慮して生産量を制限していることから若干上昇基調の兆しが見られる。米国における原子力の早期停止や新興国の原子力導入計画の進捗状況によって今後の価格推移の振れ幅は異なってくると考えられるが、2021年にはロシア産ウランの米国に向けた輸出制限が撤廃される予定であり、価格競争力のある安価なロシア産ウランが大量に出回ればスポット価格を押し下げる要因となる可能性がある。仮に今後、米国による対露制裁にウランが追加されたとしても、価格競争力のある安価なウランは米国以外の国を経由して世界的に出回るだろう。また、各濃縮会社がアンダーフィーディングによって確保しているウラン在庫も潜在的な価格引き下げの要因になると考えられる。

### 5. まとめ

これまで見てきたように、至近での需給ひっ迫の可能性は低いが、世界各国の政治状況などを見ると、これまで以上に不確定要素が多くなっている。また日本では、原子力発電所の安全審査が長期化し再稼働時期が見通せない状況が続いていることに加え、再稼働した発電所においても特定重大事故等対処施設の設置期限の問題や訴訟問題等による発電所停止リスクが生じており、原子力発電を巡る状況は大きく変化している。

一方で、第5次エネルギー基本計画で原子力発電は重要なベースロード電源として位置づけられていること、また気候変動対策における原子力発電の利点を考慮すると、将来的に原子力発電はますます重要な役割を担っていくと考えられる。

これまでウラン売買契約は、各発電事業者が長期計画に基づいてウランの加工や輸送にかかるリードタイムを考慮した長期契約が主流であった。しかし、今後は様々な要因によって計画変更を余儀なくされる可能性がある。従来は燃料の供給途絶を回避するという点に重きを置いて発電事業者ごとに調達を行ってきたが、今後は供給途絶の回避だけでなく、計画外の原子炉停止や廃止措置の決定等によって発生する可能性がある余剰ウランを最小限に抑えるためのフレキシブルな対策も講じていかなければならないだろう。

国際的なウラン備蓄の枠組みとして、2019年10月にカザフスタンで国際原子力機関（IAEA）による「低濃縮ウラン備蓄バンク」の運用が開始された。日本においても供給途絶対策に加え余剰ウランの発生抑制対策として、国内備蓄や複数社によるプール運用等新たな方策の導入を検討していくことが望まれる。

<sup>1</sup> 2011年3月23日付でTENEXはUSECとの間に2013年から2022年までの10年間に渡る低濃縮ウラン（天然ウラン）供給契約を締結している。

### 参考文献

- 1) Australia's Identified Mineral Resources 2018
- 2) Cameco, McArthur River:
- 3) <https://www.Cameco.com/businesses/uranium-operations/suspended/mcarthur-river-key-lake> (アクセス日 2020.1.10)
- 4) Energy Resources of Australia Ltd. (ERA), Closure Plan <https://www.energyres.com.au/sustainability/closureplan/> (アクセス日 2020.1.10)
- 5) 一般社団法人 日本原子力産業協会 世界の原子力発電開発の動向(2019 年版) [https://www.jaif.or.jp/cms\\_admin/wp-content/uploads/2019/04/doukou2019-press\\_release.pdf](https://www.jaif.or.jp/cms_admin/wp-content/uploads/2019/04/doukou2019-press_release.pdf) (アクセス日 2020.1.10)
- 6) Namibian Uranium Association: <http://www.namibianuranium.org/husab-mine/#> (アクセス日 2020.1.10)
- 7) Nuclear Energy Data 2018
- 8) Swakop Uranium (CGN), Husab [http://en.cgnpc.com.cn/encgn/c100090/2016-08/25/content\\_66dd7ef8d54e41799f1895db92d1d1e4.shtml](http://en.cgnpc.com.cn/encgn/c100090/2016-08/25/content_66dd7ef8d54e41799f1895db92d1d1e4.shtml) (アクセス日 2020.1.10)
- 9) Techsnabexport (TENEX) PR (2011.3.23 付) <https://www.tenex.ru/en/media-center/news/long-term-contract-for-delivery-of-uranium-enrichment-services-between-tenex-and-usec-entered-into-f/>
- 10) Uranium 2018, Resources, Production and Demand
- 11) Ux Uranium Market Outlook Q1 2019
- 12) Ux Weekly [https://www.uxc.com/p/products/uxw\\_overview.aspx](https://www.uxc.com/p/products/uxw_overview.aspx) (アクセス日 2020.1.10)
- 13) WNA, World Uranium Mining Production: <http://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/world-uranium-mining-production.aspx> (アクセス日 2020.1.10)

お問い合わせ : report@tky.ieej.or.jp