

<概要>

カナダは世界第1位のウラン生産国で、2008年には世界全体の約20.5%にあたる9,000tUを生産した。2009年12月末現在、カナダのウラン生産会社Cameco社により世界最大級のマッカーサーリバー/キーレイク鉱山が操業されているほか、マックリーンレイク鉱山およびラビットレイク鉱山の3つの鉱山が操業中、また、2つの鉱山が計画中で、これらはすべてサスカチワン州アサバスカ堆積盆地に存在している。生産したウランの約80%が米国、日本、欧州、韓国など長期契約を結んだ国に輸出され、残りの20%がカナダで開発された重水炉（CANDU）の燃料製造用となる。ウラン濃縮プラントはない。カナダは豊富なウラン資源を有することから、経済性を重視して使用済燃料の再処理をしないワンス・スルー路線を採用している。2002年11月の核燃料廃棄物法の制定に伴い、使用済燃料管理と地層処分事業の実施主体である核燃料廃棄物管理機関（NWMO）が設立され、使用済燃料は当面（60年間）、サイト貯蔵、集中貯蔵され、最終的に回収可能な地層処分へ移行する「適応性のある段階的管理」が2007年6月に承認されている。

<更新年月>

2010年01月

<本文>

1. カナダのウラン産業

カナダは世界第1位のウラン生産国で、2008年には世界全体の約20.5%にあたる9,000tUを生産した。2009年12月末現在、3つの鉱山が操業中、2つが計画中であるが、これらはすべてサスカチワン州に存在している（図1参照）。2007年1月現在、確認資源量は423,000tU

（US\$130/kgU以下、OECD/NEA&IAEA：URANIUM2007）で、オーストラリア、カザフスタン、ロシア、南アフリカに次ぐ規模である。また、カナダのウラン生産者Cameco（カメコ）社は世界のウラン生産量の約15%を占め、フランスの原子力産業Areva（アレバ、旧Cogema）、英国・オーストラリアのRio Tinto（リオ・ティント）とともに世界を代表するウラン供給企業である。生産量の約80%は米国、日本、韓国、欧州など長期契約を結んだ国に輸出している。

2. ウラン資源の探鉱およびその生産

カナダのウラン探鉱は軍事目的のため、1942年に政府主導の下に開始された。活動は北西準州のグレートベアレイク地域（Great Bear Lake）から始まり、サスカチワン州北部のビーバーロッジ地域（Beaverlodge）やオンタリオ州のブラインドリバー/エリオットレイク地域（Blind River/Elliott Lake）へ、1960年代にはサスカチワン州のアサバスカ堆積盆地（Athabasca Basin）へと探鉱の重点が移った。現在、探鉱は不整合関連型と呼ばれる高品位のウラン鉱床が多数発見されたサスカチワン州アサバスカ堆積盆地（Athabasca Basin）で集中的に行われ、又ナプト準州と北西準州にまたがるThelon堆積盆地やHornby Bay堆積盆地でも実施されている。近年のウラン価格の高騰に伴い2004年以降資源探査は急増し、2008年にカナダ国内に投下したウラン探鉱費（探鉱試験を含む）は1.954億ドルで、その大部分は地下での探鉱、鉱床評価活動等に割当てられている。現行の探鉱活動はカナダ、フランス、日本など40社余りが参加している。

ウラン資源の生産は、マッカーサーリバー/キーレイク鉱山が世界最大級のウラン鉱山としてCameco社により操業しているほか、マックリーンレイク鉱山がAreva社により、ラビットレイク鉱山がCameco社により操業している。2008年には9,000tUを生産したが、その71%がマッカーサーリバー鉱山によるものであった。現在操業中のキーレイクとラビットレイク鉱山は枯渇が予想

されるが、2011年にはシガーレイク鉱山が生産を開始する予定である。表1にカナダのウラン鉱山の概要を示す。

■ マッカーサーリバー (McArthur River) 鉱山 (操業中)

Saskatoonから北方650kmに位置し、鉱石品位は世界平均の約100倍の20.6%U₃O₈で世界最高。鉱石は全て鉱山から南西80kmに位置するキーレイク (Key Lake) 製錬所にて処理される。マッカーサーリバー鉱山とキーレイク製錬所の操業規模は世界最大で、2008年には世界全体のウラン生産量の18%を占めた。鉱山と製錬所の生産並びに処理量を現行の1870から2200万ポンドU₃O₈へ拡張する計画がある。

■ マッククリーンレイク (McClellan Lake) 鉱山 (操業中)

Saskatoonの北方700kmに位置している。1979年にマッククリーンレイク (McClellan Lake) 鉱体が発見されて以来、1982年にJEB鉱体、1985～1990年にはSue A、B、C 鉱体が相次いで発見された。1995年にJEBで露天掘方式の採掘が開始されて以来、JEB及びSue Cと続き、現在は Sue Eのみ採掘している。ウラン品位は1.3%、脈幅30cm程度の露天掘りピットを地下120mまで掘下げて終掘する。2010年までSue B、カリブー地区の採掘を行う。

■ ラビットレイク (Rabbit Lake) 鉱山 (操業中)

Saskatoonの北方800kmに位置し、サスカチワン州のウラン稼働鉱山としては最も古く、生産開始は1975年に遡る。ラビットレイク (Rabbit Lake) 鉱床の露天掘りピットは既に枯渇しており、現在はEagle Point鉱床(坑内掘)で採掘中。2006年に実施された探鉱活動により、Eagle Point 鉱床の埋蔵量は1750万ポンドU₃O₈へと増加し、2013年までの生産が予想されている。

■ シガーレイク (Cigar Lake) 鉱山 (建設中)

Saskatoonの北方660kmに位置する世界第2位の高品位ウラン鉱山である。坑内出水事故の復旧作業等で生産開始は当初計画より遅れ、2011年を予定している。生産開始直後の鉱石処理はAreva社のMcClellan製錬所で行うが、フル稼働後はCameco社のRabbit Lake製錬所と折半して行う。鉱床は地下400m以深に位置し、坑内作業従事者の放射線防護(品位20.67%)と鉱体周辺の砂岩層の固定のため、人工凍結によるジェット・ボーリング採鉱法(予め凍結した鉱体に高圧水を噴射して鉱石を回収する方法)を採用する計画である。

■ ミッドウエスト (Midwest) 鉱山 (建設準備中)

Saskatoonの北方750kmに位置し、1978年にミッドウエスト (Midwest) 鉱体が発見されて以来、開発計画の中止や変更を経て、露天掘の計画が進められている。2005年冬期には鉱床北方3kmのMae Zoneにおいて高品位ウラン(品位20%以上)が発見され、追加埋蔵量が期待されている。

日本のウラン探鉱に関しては、核燃料サイクル開発機構(現、日本原子力研究開発機構)が動力炉・核燃料開発事業団時代も含め、カナダ、オーストラリアの世界の最有望地域を中心に、約30年にわたり実施してきた。当時、約4万tUに及ぶ鉱量の確保はCameco、Cogemaに次ぐ探鉱権益の保有であった。2000年9月、探鉱権益の民間移転に伴い、国内企業4社(伊藤忠商事株式会社、海外ウラン資源開発株式会社、三菱商事株式会社、三菱マテリアル株式会社)が設立する合弁企業(コンソーシアム)へ継承されている(表2参照)。

なお、カナダでは鉱山開発の進展と同時に1990年代から鉱山の多数が操業停止になり、鉱山跡措置計画が進んでいる。硫化物を含む捨石は酸性水発生防止対策が実施され、鉱山のほとんどが圧密処理や覆土、植栽の措置が鉱山ごとに規制当局と話し合いで実施されている。

2. 精錬

■ マッククリーンレイク (JEB) 製錬所

Saskatoonの北方700kmに位置し、1999年から運転開始された世界最新鋭の精錬施設を持つ。当初、Sue A、B、C、McClellan Northの鉱石を対象としていたが、2006年に拡張し、2011年からシガーレイクのスラリー状鉱石を、2012年からミッドウエストの鉱石を受け入れ開始する計画である。なお、2010年の年間処理能力は1600万ポンドU₃O₈へと拡張される予定である。

■ Rabbit Lake製錬所

Saskatoonの北方800kmに位置し、1975年に操業開始。カナダで最も長く操業している製錬所であり、ウラン処理能力は世界第2位。シガーレイク鉱山のフル稼働に向けて(2012年頃)必要な改造が行われる見込みである。

3. 転換(表3および図2参照)

ウラン鉱山で生産されたU₃O₈はCameco社のBlind River(オンタリオ州)でUO₃に精製された後、Port Hope(オンタリオ州)に運ばれ、80%はUF₆に転換され、20%はUO₂に精製される。UF₆は国外で濃縮された後、軽水炉で使用される。UO₂はオンタリオ州の2ヶ所の燃料加工工場、主に国内のCANDU炉用燃料に加工される。

4. 成型加工(表3および図2参照)

Canadian General Electric Co. がCANDU炉用燃料集合体の組立および燃料ペレットの製造をしている。また、ZPI (Zircatec Precision Industries Inc.) が燃料被覆管、燃料設計、燃料集合体の加工等を行なっている。

5. 重水 (表3 および図2 参照)

カナダでは2010年1月現在、22基の原子力発電所のうち、18基が稼動中。天然ウランを利用するカナダで開発されたCANDU炉を採用している。CANDU炉は中性子の減速材に重水を使用するため、重水生産施設を持つ。

6. 濃縮・再処理

カナダは、原子力開発の当初から重水炉路線をとっているため濃縮施設はなく、ワンス・スルー路線を採用しているため、再処理施設もない。

7. 放射性廃棄物の貯蔵

カナダでは2002年11月の核燃料廃棄物法の制定に伴い、使用済燃料管理と地層処分事業の実施主体である核燃料廃棄物管理機関 (NWMO) が設立され、使用済燃料は当面 (60年間) サイト貯蔵、集中貯蔵され、最終的に回収可能な地層処分へ移行する「適応性のある段階的管理」が2007年6月に承認されている。また、低中レベル放射性廃棄物はブルース発電所が立地するオンタリオ州キングガーデンの廃棄物集中管理施設で貯蔵されている。隣接エリアには長期貯蔵のための深地層処分場の建設を計画している。詳しくはATOMICAタイトル「カナダの放射性廃棄物管理とPA対策<14-04-02-07>」参照のこと。

(前回更新：2001年2月)

<関連タイトル>

カナダ型重水炉 (CANDU炉) (02-01-01-05)

重水冷却圧力管型炉 (CANDU) の開発 (03-02-05-03)

カナダのウラン鉱業政策と資源量 (レッドブック2003) (04-02-01-09)

カナダのウラン鉱山 (04-03-01-05)

外国における高レベル放射性廃棄物の処分 (2) -ベルギー、スイス、カナダ編- (05-01-03-08)

カナダの原子力政策・計画 (14-04-02-01)

カナダの原子力発電開発 (14-04-02-02)

カナダの原子力開発体制 (14-04-02-03)

カナダの電気事業および原子力産業 (14-04-02-06)

カナダの放射性廃棄物管理 (14-04-02-07)

<参考文献>

(1) OECD/NEA : URANIUM-RESOURCES, PRODUCTION AND DEMAND-2005 OECD(2006)

(2) (社) 海外電力調査会 : 海外諸国の電気事業 第1編 2008年版、2008年10月、p.20-23

(3) (社) 日本原子力産業協会 : 世界の原子力発電開発の動向 2009年版、2009年4月

(4) (独) 日本原子力研究開発機構 : 核燃料サイクル開発機構の海外ウラン探鉱に係る権益等の取扱いについて、<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryu2000/siryu37/siryu11.htm> および最近のウラン探鉱・開発動向 (パート1 ; カナダ) Rep 06-9、2006年11月、

<http://www.jaea.go.jp/03/senryaku/report/rep06-9.pdf>

(5) (独) 日本原子力研究開発機構 : 方面捨石たい積場について (核燃料サイクル開発機構 人形峠環境技術センター)、2001年1月

(6) 世界原子力協会 (WNA : World Nuclear Association) 、 Uranium in Canada, <http://www.world-nuclear.org/info/inf49.html> および World Uranium Mining, <http://www.world-nuclear.org/info/inf23.html>

(7) カナダ天然資源省

(8) Saskatchewan Mining Association : Uranium in Saskatchewan 2008 Fact Sheets,

(9) 国際原子力機関 (IAEA) : 原子燃料サイクル情報システム (NFCIS)

表1 カナダのウラン鉱山の規模・内容

生産センターの名称	McArthur River	McClellan Lake	Rabbit Lake	Cigar Lake	Midwest
生産センターの分類	現存	現存	現存	開発中	計画中
操業開始	1999年	1999年	1975年	2011年	2011年
発見した年	1988年	1979年	1968年	1981年	1978年
鉱石供給源					
・鉱床名	P2Net al.	Sue A,B,C, Jeb McClellan	Eagle point	Cigar Lake	Midwest
・鉱床タイプ	不整合型	不整合型	不整合型	不整合型	不整合型
鉱山					
・タイプ(OP/UG/ISL)	坑内採掘・備蓄	露天・坑内採掘	坑内採掘	坑内採掘	露天採掘
2008年生産量(百万ポンドU ₃ O ₈)	16.6	3.2	3.6	-	-
2008年生産量(tU)	6385	1231	1385	-	-
精錬所	Key Lake	McClellan Lake (JEB)	Rabbit Lake	McClellan Lake (JEB) /Rabbit Lake	McClellan Lake (JEB)
・タイプ(IX/SX/AL)	AL-SX	AL-SX	AL-SX		
・規模(百万ポンドU ₃ O ₈)	18.7	12	12		
・規模(tU)	7193	4615	4615		
・平均採鉱実収率(%)	98	97	97		
定格生産能力(tU/年)	7200	3077	4615		
ウラン埋蔵量(百万ポンドU ₃ O ₈)	332.6	28.2	17.5	226.3	42.5
ウラン埋蔵量(tU)	127933	10847	6731	87000	16347
品位(%U ₃ O ₈)	20.69	1.3	1.0	20.67	1.7
拡張計画		Cigar Lakeに関連	Cigar Lakeに関連 鉱山採掘は2013年頃まで		
権益保有者	Cameco(70%) Areva(30%)	Areva(70%) Denison(22.5%) OURD(7.5%)	Cameco(100%)	Cameco(50%) Areva(37%) 出光興産(8%) 東京電力(5%)	Areva(69.16%) Denison(25.17%) OURD(5.67%)
運転者	Cameco	AREVA	Cameco	Cameco	AREVA
発見者	Cameco	Canadian Oxy-INCO Joint Venture	Gulf Mineral Resources	AREVA	Esso Minerals Limited

UG: 坑内採掘、OP: 露天採掘、ISL: インシチュリーチング、IX: イオン交換、SX: 溶媒抽出、AL: 酸浸出

(注)
OURD: Overseas Uranium Resource and Development Company

Cameco: 世界最大のウラン生産会社であり、1988年にカナダ連邦出資のEldorado Nuclear 公社とサスカチュワン州政府出資のSaskatchewan Mineral Development Corp (SMDC 社)の合併により誕生、2002年2月には完全民営化している。

下記出所を参考に作成した

[出典] OECD/NEA: URANIUM-RESOURCES, PRODUCTION AND DEMAND—2005 OECD(2006)、p.122

[出所] Saskatchewan Mining Association: Uranium in Saskatchewan 2008 Fact Sheets

http://www.cameco.com/common/pdf/uranium_101/SMA_-_Uranium_Fact_Sheets_2008.pdf

表2 核燃料サイクル開発機構における海外鉱業権益

区分	番号	プロジェクト名	機構権益 %	ウラン埋蔵量 tU	平均品位 %U	埋蔵量 tU (JNC分)	共同調査パートナー (権益率%)	現状および今後の取扱い (2000年時点)
国内企業への譲渡対象権益等	1	プリンセスメリー・シッソングズ地区 (加)	48	30,700	0.5	14,740	コジェマ(50), 大宇(2)	隣接キガビック鉱床との統合の提案あり 2000年の探査作業は休止
	2	ドーンレイク (加)	19.45	8,570	1.42	1,670	カメコ(57.46), コジェマ(23.09)	1999年にラロックレイク地区で高品位鉱化帯 (29.9% U308×7m他2孔) 発見 2000冬期調査でQ8-G3グリッドでも有望鉱化帯発見
	3	クリスティールレイク (加)	100	8,000	2.8	8,000	単独	鉱区賦課作業のクレジットがあり、探査休止中 2010年近くまで、探査作業無しで鉱区保持可能
	4	ウォーリー (加)	15				コジェマ(85)	2000年冬期調査で弱い鉱化を確認
	5	クローズレイク (加)	13.42				コジェマ(54.7), カメコ(29.8), インベリアル(2.1)	探査実施中なるも、機構はダイリユート中
	6	ウィラーリバー (加)	12				カメコ(48), デニソン(40)	探査実施中であるが、顕著な成果は得られていない
	7	キャンドルレイク (加)	100				単独	継承希望企業の意向を踏まえ、ファームインパートナー募集中
	8	ビーティールリバー (加)	49.30				コジェマ(50.70)	探査休止中。2002年から鉱区賦課作業が必要となる
	9	ウォーターファウンドリバー (加)	38.08				コジェマ(47.16), デニソン(14.76)	同上
	10	クリーエクステンション (加)	30.10				カメコ(50.56), コジェマ(19.34)	2000年冬期調査で有望鉱化帯 (0.75%eU308×22m他) 発見
	11	ヘンデイレイク (加)	25.77				コジェマ(58.24), カメコ(15.99)	2000年は鉱区維持のための最小作業を実施
	12	ムーンレイク (加)	19.82				カメコ(62.43), コジェマ(17.75)	同上
	13	メイベルリバー (加)	23.86				カメコ(55.40), コジェマ(20.74)	探査休止中
	14	ムートンプリン (加)	13.59				コジェマ(63.36), カメコ(23.05)	探査休止中。2001年に全鉱区が失効する見込み
	*	ミッドウエスト (加)						1999暦年度分から譲渡対価の受領開始
	15	ラッセル (加)					単独	鉱区失効となるため1999年末にカナダ企業に売却済ロイヤルティ(4%)を保有。今後機構が維持

*:ミッドウエスト鉱床権益に関しては既に譲渡が完了し、対価支払いを受ける権利を所有する。

[出所](独)日本原子力研究開発機構:核燃料サイクル開発機構の海外ウラン探鉱に係る権益等の取扱いについて、
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryu2000/siryu37/siryu11.htm>

表3 カナダの主な核燃料サイクル施設

■転換施設

プラント名	生産容量 (tU/年)	原料	製品	プロセス	運転開始	運転者	所在地
Blind River (ブラインド・リバー)	18,000	U ₃ O ₈	UO ₃	硝酸法	1983年	Cameco	オンタリオ州
Port Hope (ポート・ホープ)	12,500	UO ₃	UF ₆ (輸出用)	フッカ法	1984年	Cameco	オンタリオ州
Port Hope (ポート・ホープ)	2,800	UO ₃	UO ₂ (CANDU炉用)	湿式	1980年	Cameco	オンタリオ州
Port Hope (ポート・ホープ)	2,000	UF ₄	U金属		1985年	Cameco	オンタリオ州

■燃料成型加工施設

プラント名	生産容量 (tU/年)	原料	製品	プロセス	運転開始	運転者	所在地
Port Hope, Zircatec (ポート・ホープ)	1,200	天然ウラン	PHWR用燃料 ペレットおよび	PHWR	1964年	ZPI	オンタリオ州
Peterborough (ピーターボロー)	1,200	UO ₂ ペレット	PHWR用燃料 集合体組立	CANDU (バンドル)	1956年	GE Canada	オンタリオ州
N. Fuel PLLT. OP. - Toronto	1,300	UO ₂ 粉末	PHWR用燃料 ペレット	湿式	1967年	GE Canada	オンタリオ州 トロント
Moncton (モンクトン)	250	(デコミッショニング)			~1986年	ABB Combustion	ニューブラウン ズウィック

ZPI: ircatec Precision Industries Inc.

■重水生産施設

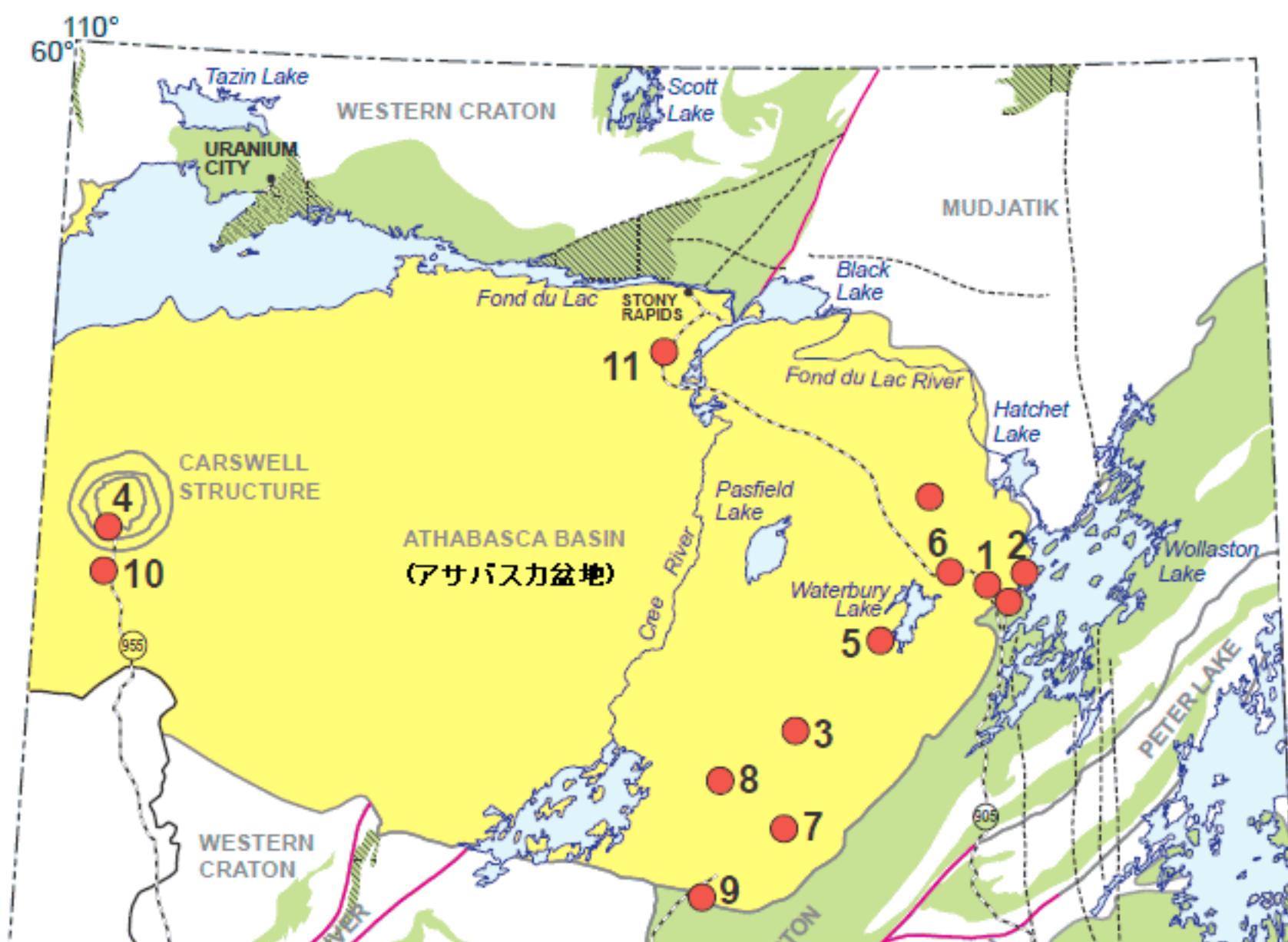
プラント名	生産容量 (t/年)	製品	状況	プロセス	運転	運転者	所在地
Glace Bay (グレイスベイ)	250	重水	(デコミッショニ ング)	Girdler Sulfide法	1964 - 1985	カナダ原子力 公社(AECL)	ノバスコシア州
Port Hawkesbury (ポート・ホークスバリー)	400	重水	(デコミッショニ ング)	Girdler Sulfide法	1967 - 1986	カナダ原子力 公社(AECL)	ノバスコシア州
BHWP - A (ブルース・プラント-A)	800	重水	(デコミッショニ ング)	Girdler Sulfide法	1973 - 1984	Ontario Power	オンタリオ州
BHWP - B (ブルース・プラント-B)	800	重水	(デコミッショニ ング)	Girdler Sulfide法	1979 - 1997	Ontario Power Generation	オンタリオ州

■ジルカロイ生産施設

プラント名	生産容量 (km/年)	原料	製品	運転	運転者	所在地	
Arnrior	1,350	Zr ₄ , Zr ₂	Zirconium Alloy Tubing	1981年	GE Canada	オンタリオ州	
Cobourgh	950	Zr ₄ , Zr ₂	Zirconium Alloy Tubing	1976年	Zircatec Precision Industries	オンタリオ州	
Port Hope Eldorado	300t/年	(デコミッショニング)			1968 - 1970	Cameco	オンタリオ州

下記の出所を参考に作成した

[出所] 国際原子力機関(IAEA): 原子燃料サイクル情報システム(NFCIS)、
<http://www-nfcis.iaea.org/NFCIS/NFCISMain.asp?RPage=1&RightP=List>



- ウラン鉱山
- 1.マックリーンレイク鉱山 (McClellan Lake)
:北西鉱床、Sue A, B, C, E
 - 2.イーグル・ポイント鉱山 (Eagle Point)
:ラビット・レイクにて精錬
 - 3.マッカーサーリバー鉱山 (McArthur River)
P2Nゾーン鉱床
 - 4.クラフレイク鉱山(閉山)
 - 5.シガーレイク鉱山(Cigar Lake)
 - 6.ミッドウエスト鉱山(Midwest)
 - 7.ムーアレイク(Moore Lake)
 - 8.ミレニウム(Millennium)
 - 9.キーレイク鉱山(Key Lake)
 - 10.シークreek(Shesha Creek)
 - 11.ブラックレイク(Black Lake)

(出典: Saskatchewan Industry and Resources, 2005/12)

(単位:トンU)

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
McArthur River			3739	6640	7199	5831	7200	7200	7200	7199	6383
Key Lake	5386	3731	402	299	*	*	-	-	-	-	-
McClellan Lake		560	2308	2539	2342	2318	2310	2112	690	734	1249
Rabbit Lake	4502	2693	2790	1755	440	2281	2087	2316	1972	1544	1368
Cluff Lake	1039	1234	1443	1269	1626	27	-	-	-	-	-
合計	10924	8214	10682	12501	11607	10458	11597	11628	9863	9477	9000
世界産出量	33728	31065	34734	36366	36063	35613	40219	41595	39429	41279	43764
輸出量								10021	8243	7816	7330

図1 カナダのウラン鉱山における年間産出量

下記出所を参考にして作成した

[出所](1)世界原子力協会(WNA:World Nuclear Association)、World Uranium Mining、
<http://www.world-nuclear.org/info/inf23.html>

(2)(独)日本原子力研究開発機構:最近のウラン探鉱・開発動向(パート1;カナダ)Rep 06-9(2006年11月)、
<http://www.jaea.go.jp/03/senryaku/report/rep06-9.pdf>、p.2

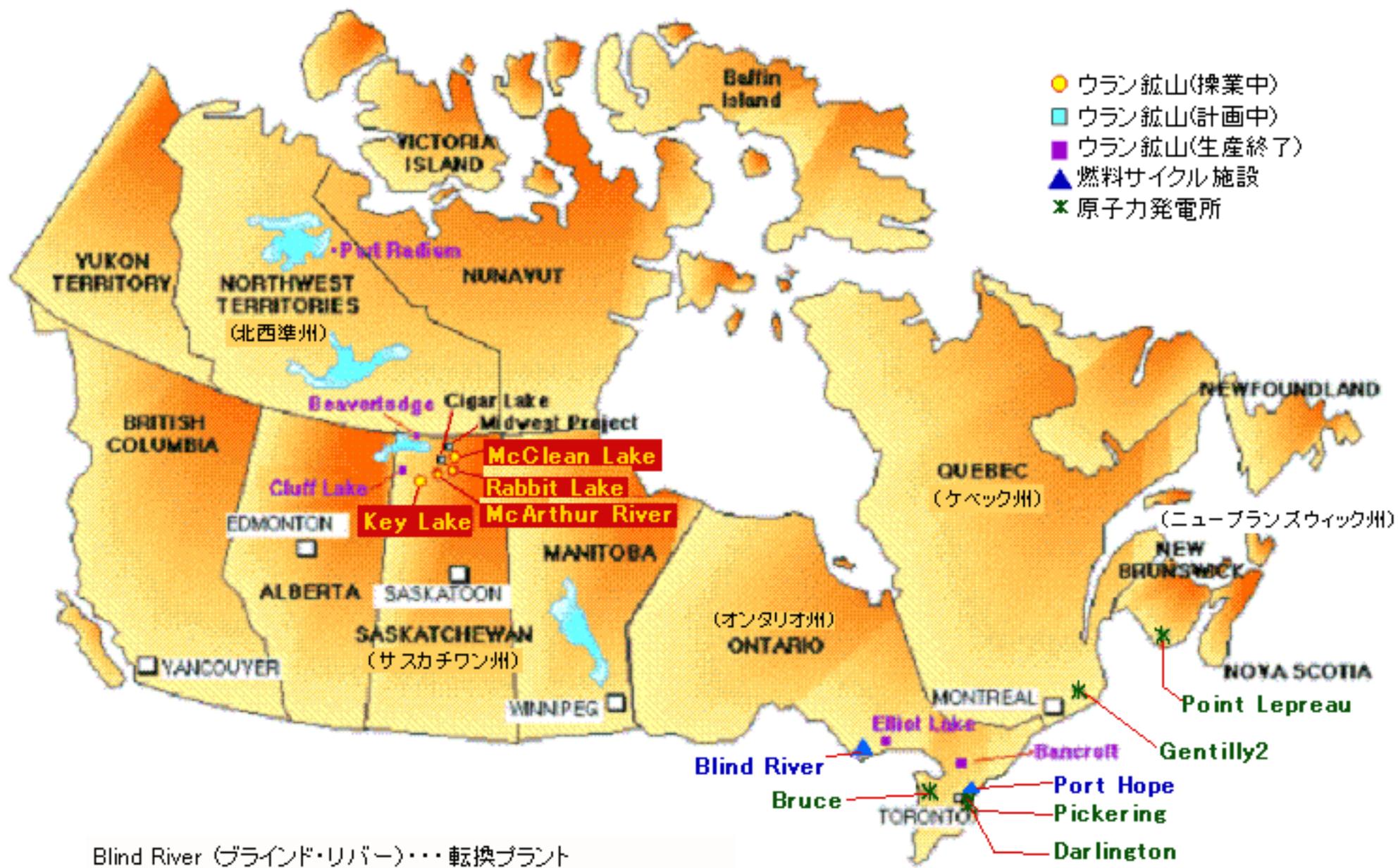


図2 カナダの原子力関連施設配置図

下記出所を参考にして作成した

[出所]世界原子力協会(WNA:World Nuclear Association)、Uranium in Canada、
<http://www.world-nuclear.org/info/inf49.html>