

カナダでのオイルサンド用原子力発電所設置の動き ～ オイルサンド開発と地球環境の並存～

乗田 広秋¹

高田 誠²

2007 年 8 月 27 日、オイルサンド用の原子力発電所の候補地を募集中であった Energy Alberta Corporation (以下、エネルギー・アルバータ社) は、各地からの要請の中から “Peace River” 市 (エドモントンから北西 500 km) の西 30 km の地点を選定した、とのニュースが報じられた³。実はエネルギー・アルバータ社はこれに先立つ 2 年前から非公開聴会をアルバータ州各地で開き、その地ならしを行なってきた。

原子力発電の候補地選定にあたっては、選定作業中から数々の反対行動が起きる日本の原状から考えて、カナダでもそうすんなり決定するはずがない、と日本の専門家は予想していたが、それに反しエネルギー・アルバータ社はすんなりと第一関門を突破したのである。

これに先立つこと約 2 カ月、今年の 6 月にエネルギー・アルバータ社はこのオイルサンド用原子炉の「交通至便」な候補地からの「候補地」を募集した。この時点ではどの程度の数の地方政府が立候補するのか、かなり疑問視されていた。(一つも出ないのでは? という観測もあった。) それにもかかわらず、今回の「建設地決定」の発表である。

カナダでは原子力に対するアレルギーがそれほど大きくないのか、地方公共団体が立候補して、発注元の企業がその中から選定する、という日本とは全く逆からのプロセスになっていることには驚かされる。

さらに、驚くべきことは「オイルサンドを生産する動力源」として原子力発電を利用する、という発想である。

日本では原子力は CO₂ 排出の少ないエネルギー、つまり地球温暖化対策の 1 つの切り札として考えられている。その CO₂ 排出の少ないエネルギー源を、エネルギー効率が在来型原油より劣る (つまり単位あたりの原油を産出するまでのエネルギーの投入量が大い) オイルサンド生産のための動力源として使用しようというのである。

以下ではこのような、ニュースとして出てきた事実につき、中でも日本国内での物の見方では、理解が難しいと思われる部分について、カナダの国内経済・エネルギー・環境状況をふまえながら解説する。

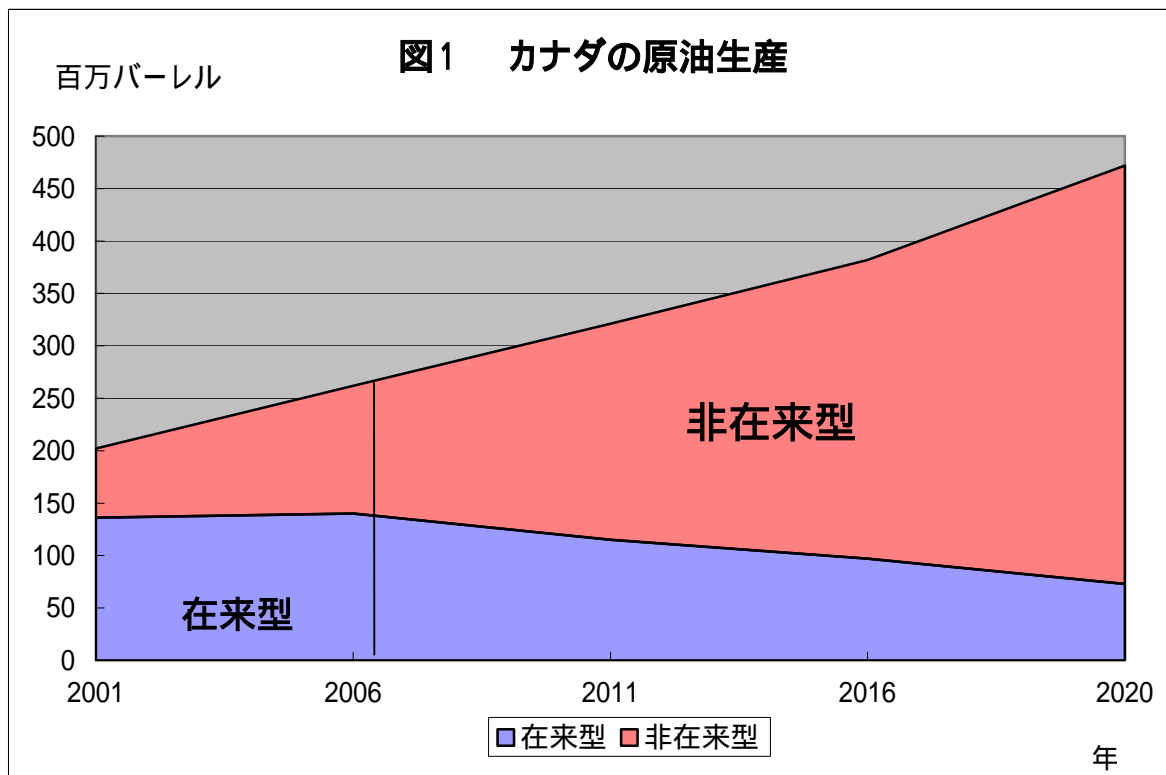
¹ 戦略研究グループ 研究主幹

² 戦略・産業ユニット 原子力グループ 研究主幹

³ カナダの全国経済紙 ‘Globe and Mail’、カルガリー地方紙 ‘Calgary Herald’、トロント地方紙 ‘Toronto Star’、バンクーバー地方紙 ‘Vancouver Sun’ 等カナダの有力紙で報道された。

1. カナダでのオイルサンド事業

図1を参照いただきたい。この図でわかるように、2007年前後にカナダではオイルサンドを中心とする非在来型原油の生産が、在来型原油の生産を抜くと予想されており⁴、今後さらにその差は拡大していく見通しである。



出典：Canadian Association of Petroleum Producers (CAPP) の実績値および予想数値により作成

一方、カナダの最大の輸出品は原油である⁵。そして現状でもその約半分（今から13年後の2020年には80%以上）を占めるのがオイルサンド由来の原油である。

国産品、特に輸出できる工業製品がそれほど多くないカナダ⁶では、原油輸出は貴重な外貨獲得源である。こうした状況の中では、まず国民経済的な観点から、原油輸出、中でも将来の増産余地が高い、オイルサンド事業にまず注力、という基本方針が出てくる。

カナダにはオイルサンドと同様にウラン資源も豊富だが、カナダ人にとっての“第一の資源産業”と言えば、その輸出額の大きさ、雇用人数の大きさ、そのエネルギー使用の身

⁴ CAPPの‘Canadian Crude Oil Production and Supply Forecast’（2007年の非在来型141万BDに対し在来型134万BD）による。但し最新ニュースによると、労働需給等のひっ迫によるオイルサンド拡張計画の遅れにより非在来型の生産の伸びが鈍化し、この逆転が2008年へとずれ込む可能性もある。

⁵ 統計による輸出額は原油CS386億、天然ガスCS278億、その他資源（含ウラン）CS204億。（2006年カナダ統計局）

⁶ この部分はカナダと関係するビジネスマンであれば「常識」の範疇であるが、活字になっているものとしては、有斐閣ビジネス「カナダ・ビジネスガイド」（鹿住一夫著）第2章「カナダの深層理解」に詳しい。

近さ等からいってまず、ガソリンとその源泉である、原油採掘業となる。従って発想としてはまず、石油上流産業ありき、というものになる傾向がある。

だが同時にオイルサンドからの原油の製造過程は電気、ガス、ガソリン等のエネルギーを大量消費する⁷ので、オイルサンド事業が雨後のたけのこの如く乱立した結果、もともと日本以上に達成が危ぶまれていたカナダの京都議定書の遵守目標はほぼ達成の可能性はなくなってしまった⁸。

2. カナダでの地球温暖化論議

カナダはもともとは環境先進国であった⁹。国土の開発に際しては環境面に十分配慮した政策がとられていた。京都議定書に対しても、隣国で絶大な経済力・影響力を持つ米国¹⁰とは異なる選択をし、日本同様第一約束期間における温暖化ガス排出抑制目標を課せられることとなった¹¹。

しかしながらカナダ第1の産業である石油上流業において、単位あたりの原油を産出するまでのエネルギー投入量が大きいオイルサンドに生産の比重が移るにつれて、カナダのCO₂排出量が年々増加し、京都議定書の削減目標が達成できない状況に陥ってしまったのである。

そもそも隣国の米国では京都議定書を離脱し、地球温暖化の制約のかからない原油を自由に使っているのに対して、カナダのみエネルギーに関して枠をはめることは、ただでさえ生産性の高くないカナダ経済にさらに重い足かせをはめるに等しい。NAFTA（北米自由貿易協定）¹²により関税も大部分撤廃されているため、もしカナダで作られた製品より、エネルギー価格の安い米国で作られた製品が安ければ、それがなだれを打ってカナダ国内に流入するのである。その場合はカナダ国内のCO₂排出が減り、京都議定書上のカナダ側の公約を守ることにはつながるものの、肝心の「米国との経済競争」に敗れてしまう。

以上のような、オイルサンド事業は拡大したい、それでもできることならCO₂排出は増やしたくない、という相反する条件の中で最適な解として原子力が検討されているのである。（余談だがCO₂削減に関しては、在来型原油の井戸に対するCCS¹³も連邦政府アルバ

⁷ 在来型原油であれば、基本的に自噴する。対して固体であるオイルサンドは石炭と同様、掘り出して砕き、温度を上昇させ、水の力を借りて油分のみを分離させ液体化する、という作業が必要である。

⁸ 2007年4月27日付、BBC News Website 'Canada sets reduced climate goal'に詳細な記載あり。

⁹ この点については注釈の必要も無いと思われるが、具体的にはコロンビア大学とエール大学が146カ国を対象として実施している「環境持続可能性指数」においてカナダはデンマークに次いで世界第6位にランクされている。

¹⁰ GDP比較では、米国13兆9431億ドル（世界1位）に対し、カナダは一桁低い1兆3092億ドル（世界8位）、（日本は4兆5690億ドル（世界2位））（IMF2007年発表）

¹¹ 具体的基準は「2008-12年の期間において、1990年排出レベルの6%減を達成」というもの。

¹² NAFTA = 北米自由貿易協定。

アメリカ、カナダ、メキシコの3国で結ばれた自由貿易協定。1994年に発効した。NAFTA成立以降、域内の貿易は拡大した一方、北米市場の同質化が進展した。

¹³ CCS = Carbon Capture Strage

火力発電所等で発生したCO₂を地中に送り込み封印し、漏れ出さないように貯留すること。

ータ州政府、および民間企業間でタスクフォースを組んで実施予定である。これにより CO₂ の貯留と、現在低下気味の在来型原油生産量の再活性化 (EOR) との同時解決¹⁴を狙っている。)

3. カナダの原子力産業

(1) 概説

カナダの原子力産業の特徴を端的に言えば、原料のウラン生産量で世界第 1 位を占め、世界生産の約 4 分の 1 を生産し¹⁵、埋蔵量でも世界第 3 位¹⁶、かつ原子炉の分野でも独自開発の原子炉を開発・所有し運転している、原子力大国ということである。ただ世界の中ではどちらかという原料供給国としての存在の方が全面に出ている。

カナダの開発した原子炉は CANDU (Canada Deuterium Uranium) と名づけられており、カナダ以外でも導入され稼働している。但し欠点として、天然ウランを使用しているため、濃縮ウランを使用している軽水炉に比べ炉心の体積あたりの出力が低く、そのために一定の出力を確保する為には炉心を大きくする必要があり、その結果大掛かりな設備が必要となり、資本費が高つく。最終的には経済性が低いものになる、と言われており、この形式の炉型は世界中でも 30 基程度採用されているに過ぎない。

カナダの原子力関連企業全体では 150 社、従業員は 3 万人と言われ、ウランの生産・転換をしている CAMECO を除くと CANDU 炉製造会社である AECL (Atomic Energy of Canada Limited) や、ZPI (Zircotec Precision Industries)、GEC (General Electric Canada) などがある。

また稼働中に燃料交換が可能であるという炉心構造の特徴を生かして医療用の放射性同位体を生産しており、カナダは世界最大の放射性同位体輸出国でもある。

(2) CANDU 炉

カナダの開発した CANDU は重水型原子炉であり減速材に重水を使用し、燃料にはカナダに豊富な天然ウランを使っている。重水を減速材として使用すると中性子のロスが少ない¹⁷のでウランを濃縮しなくても天然ウランのまま運転が可能であり、現在

この方法で CO₂ を地中に分離すれば大気中への CO₂ 排出はゼロとカウントされるように日本を含めた欧米諸国はその意義を主張しているが、「本当に CO₂ を永久に閉じ込められるのか。」という疑問も出ている。

¹⁴ CCS と EOR (Enhanced Oil Recovery 増進回収) の 2 点

もともと CCS と EOR は現象面から見れば同じことを、2 つの側面から見ている、と言える。CCS は注入される CO₂ を中心に見ている。一方 EOR は在来型原油の採取時に自噴力だけでは十分に油が回収できない場合に、水やガスを圧入し、油の増産を意図するものである。CO₂ を適切に圧入した場合、CO₂ として見れば CCS、油田として見れば EOR となり得る。

¹⁵ カナダの生産量 9862 t に対し、全世界生産は 39429 t (World Nuclear Association, 2006 年)

¹⁶ オーストラリア (75 万 t)、カザフスタン (51 万 t) に次ぐ第 3 位 (34 万 t) (Nuclear Energy Agency)

¹⁷ 原子炉はウラン 235 等の核分裂反応を利用しているが、その結果出て来るのはエネルギーと中性子で、

実用化されている原子炉の中ではもっともウランの利用効率が高いといわれる。この炉はカナダで 18 基稼働しており総発電量の約 16%を賄っている。そのほかアルゼンチン、ルーマニア、韓国、中国、インド、パキスタン、などでも 10 数基稼働している。

この原子炉は天然ウランで稼働するので濃縮が不要であるが、一方で重水が必要となる。また炉心の熱密度が小さいので炉心が大きくなり経済性は世界の主流の軽水炉（PWR/BWR）と比べ多少劣る。しかし稼働中に燃料の取替えが出来る、また回収ウランがそのまま利用できる等々の特徴がある。また経済性を改善するため改良型 CANDU の開発が進められている。これは減速材は重水だが冷却材には軽水（普通の水）、燃料は微濃縮ウランを使い熱密度を上げて炉心の小型化、経済性向上を目指している。

4 . カナダのオイルサンド業界と電力需要

カナダのオイルサンド業界では、その生産に必要な電力及び天然ガスの調達方法が、その企業のオイルサンド製造コストのかなりの部分を決定する。

そのために大規模なオイルサンド事業者は電気については TransAlta 等の発電会社と独占契約を結び、敷地内に電力およびスチームを発生する、Co-generation Plant を建設し、余った電力は電力会社に売る、というスキームを取っている。

他方、ここ数年で計画された大規模ではないオイルサンド案件の中で、こうしたアルバータ州全体の電力需要やガス供給の将来需給まで配慮し尽くされた計画が為されているものは実は少数派、と思われる。こうした中小プロジェクトの影響もあって、アルバータ州の必要電力は今後年 4 % ずつ、コンスタントに上昇していく、と予想されている¹⁸。

一方アルバータ州の発電所は古い石炭火力が主力であり、もし今後も石炭中心でいくのなら、4 年ごとに新しい発電所を作っていかなないとこの需要に対応できない、という見方もある¹⁹。また、この地域を管轄する Alberta Electric System Operator では 2011 年までに 100 万 kW、2016 年までに 380 万 kW の電力がこの地域に新たに必要とされる、と試算している²⁰。

5 . エネルギー・アルバータ社の計画の中身

(1) 計画概要

出てきた中性子がさらに他のウラン 235 に当たるとまた核分裂を起こしエネルギーと中性子が出てくる。このとき質量の重い重水が回りにあれば中性子のスピードが落ち、ウラン 235 の原子核にキャッチされやすくなる。これら核分裂の連鎖が起こる状態を臨界という。原子炉は臨界状態で稼働する。

¹⁸ ‘ Calgary Herald’ 8 月 29 日付 “ Nuclear Power:Don’t bet against it” に記載

¹⁹ 同上

²⁰ ‘ Calgary Herald’ 8 月 29 日付 “ Nuclear Plan faces long hurdles” に記載

計画の中身については概略しか公表されていないものの、これまで判明している本件の投資概要をまとめておきたい。

エネルギー・アルバータ社が原発の建設を計画しているのは、アルバータ州 Peace River 市から西に約 30 km の場所（地図によると Cardinal Lake 周辺と思われる）である。

政治的な根回しは終わっているのか、市長も「歓迎」の意向を表明している。

設置する装置は Atomic Energy of Canada 社の最新鋭 CANDU 炉 ACR-1000²¹ というもので 1 基 110 万 kW のものを 2 基使用予定である。総投資額は C\$62 億（日本円で約 6,200 億円）である。

この電力の利用者は 70% がオイルサンド事業者とのことであるが、その企業名は明かされていない²²。残り 30% は一般事業者向けとのことである。

申請から建設・運転までのタイムスパンとしては、カナダではカナダ原子力安全協会（Canadian Nuclear Safety Commission）の環境影響調査等の審査が厳しく、5 次に渡る審査期間を含め、最低 10 年はかかるとのことである。それでもエネルギー・アルバータ社では 2017 年初頭までに 1 号炉を運転させたい、としている。仮に 2017 年に完成するとすればカナダでは 1992 年以来、実に 25 年ぶりの新原子力発電所登場、ということになる。

また、エネルギー・アルバータ社は AECL のアルバータ州における独占販売権を有している。以下、そのエネルギー・アルバータ社と CANDU 炉のメーカーである、AECL 社について補足しておきたい。

（２） エネルギー・アルバータ社

この会社は CANDU 炉の製造会社である AECL との、アルバータ州内での独占契約権を一つの武器にして、アルバータ州内でオイルサンド用の原子力発電事業をおこなおうとしている企業である。本社はカルガリー。出資者は石油やその関連産業で成功した個人投資家が中心であり、社長はかつて Santa Fe Oil & Gas and Roundup Oil Servicing を率いていた、Mr. Wayne Henuset である。彼はカナダ西部の有力者として病院の経営陣等にも名を連ねており、政財界とのつながりも指摘されている。ただしエネルギー・アルバータ社の会社としての歴史はまだ 2 年（設立は 2005

²¹ ACR-1000 Atomic Energy of Canada 社の最新鋭炉。ACR-700 の後継機種。ACR-700 時代から冷却材を重水から軽水に代え、経済性の向上を図っているが、ACR-1000 では微濃縮ウランを使用し、出力、経済性の向上を狙っている。

²² 一部新聞報道では Total および Hasky の名が取り沙汰されているものの、両社は公式には認めていない。

年)であり、当然ながら今まで原子炉の運営実績は無い。

(3) AECL (Atomic Energy of Canada Ltd.)

ここまで何回も登場した、CANDU 炉の開発・製造メーカーである。国との係わり合いが強く、年間の R&D 予算のうちの 50%、つまり C\$104 万は国からの資金であることを Annual Report の中で公表している。

業績的にはここ 5 年ほどは、2006 年を除きほぼ毎年赤字の状態である。特に 2005 年には国の原子力設備廃棄方針の変更により、C\$18 億(日本円にして約 1,800 億円)という同社の売上高(C\$3 億)の 6 倍もの準備金をコストとして計上した。その結果、年度末の純損失は C\$18.4 億と民間ならば即、会社の存続にかかわるほどの赤字を計上したものの、事業継続には何の影響もなく、逆に 2006 年後には少額だが単年度黒字転換(C\$5.5 百万)を果たしている。

経営陣も取締役 11 人のうち 3 人は大学の教授や学長である。その他政府関係者も複数入り、商業的な成功を最優先した布陣とは言い難い。

このように同社は形式的には私企業の形態を取っているが、実質は国の関与が強く働く、国策会社に近い形態である、と推察される。

肝心の CANDU 炉の納入先を見ると、カナダ内に 18 基、国外(アルゼンチン、ルーマニア、パキスタン、インド、中国、韓国)に 24 基(うちインドが 13 基、韓国 4 基、その他は各 1 基ずつ)と、同社の HP に公表されている。

AECL の現在最新鋭の製品は ACR-1000 というもので、1 基あたりの出力は 110 万 kW であるが、今回はこの最新鋭機を 2 基稼働させる計画である。

ちなみに日本企業との係わり合いとして、同社はアニュアル・レポートの中で、日立カナダがその他の GE カナダや Babcock&Wilcox カナダと同様に、チーム・キャンドウの一員として正式契約を結んでいる、と年次報告書に記載している。

6 . カナダ国内の産業育成と政府の関与

このように見てくると、今回のエネルギー・アルバータ社の発表の背後にはある程度、国の意志が働いている可能性が否定できない。従ってエネルギー・アルバータ社には過去の経験がないとはいえ、今回の話が単なる話のままで消えていく可能性は比較的低いのではないかと推察できる。

むしろカナダ国内ですでに CANDU 炉が 18 基建設されている中で、今回は 19 基目及び 20 基目の国産 CANDU 原子力を西部に(いままでは全て東部州)建設するにあたって、地元の有力者を巻き込み、かつ地球温暖化問題ともからめて、体制の整備を進めてきたもの、と考えることもできる。(カナダでは 1992 年のオンタリオ州での Darlington 4 原子炉以来、今まで 15 年間、原子炉の新設はされていない。)

実はカナダでは PetroCanada の民営化やさらにオイルサンド業界の雄 Syncrude

社において、当初は商業化が疑問視されながらも、長期的な産業育成の視点をもって政府が主体となりながら、序々に民間活力を利用して民営化していく、ということが過去にも行われてきた。

カナダ国民から最も信頼されている石油会社、PetroCanada はもともと国営石油会社であり、当初商業化が疑問視されていたカナダ周辺での探鉱活動も熱心におこない、今日の収益に結びつけて来た。その間暫時、政府出資比率は下げられてきており、今では優良民間会社として存在している。

一方 Syncrude 社は 1960 年代当時、民間会社には見向きもされなかったオイルサンドの経済性を追求しよう、ということでアルバータ州政府が中心となって設立された会社である。そののち国営企業時代の PetroCanada が資本参加したりしていたが、Exxon や Gulf 等の民間資金が入ってきた上で、今ではほぼ民間会社化している。そして Syncrude 社は今では、油価が 30 ドルまで下がったとしても、今後 30 年以上の長きにわたって日量 35 万 B/D 以上を生産し続けられる、アルバータ州でも 5 本の指に入る超優良企業、かつ世界最大のオイルサンドからの原油生産企業として君臨している。

このようにカナダのエネルギー産業の発展の経緯をふまえた上で再考してみると、今回のこの「地方政府の側から自発的に立候補している。」という事実、政策サイドの長期的産業の育成に向けた姿勢を感じるのである。

冒頭の選定作業は今後 5 次にわたる工場建設までの過程の一段階に過ぎない。しかしながらこの話は、背後に存在する Atomic Energy 社およびカナダ政府の意向を考える時、エネルギー・アルバータ社の CEO である Wayne Hanuset 氏の単なる思い付きというよりは、実質的には国家の意向をも受けたプロジェクトとして今後進んでいく可能性があるように思われる。

お問い合わせ：report@tky.ieej.or.jp

<参考文献>

1. カナダの新聞各紙
 - ・ 8/29 付 'Globe and Mail'
 - ・ 8/28 付 'Calgary Herald'
 - ・ 8/29 付 'Toronto Star'
 - ・ 8/29 付 'Vancouver Sun'
2. アニュアルレポート(2006 年版)
 - ・ Energy Alberta Corporation
 - ・ Atomic Energy of Canada Ltd.
 - ・ Petro Canada
 - ・ Canadian Oilsands Trust
3. その他
 - ・ 「日本及び日本企業にとってのカナダ・オイルサンド事業投資戦略」
乗田広秋 エネルギー・資源学会「第 23 回 IEEJ-CONFERENCE 講演論文集」2007.1
 - ・ 「過熱するカナダ・オイルサンド開発事業」乗田広秋 Petrotech 2001.1
 - ・ 「石油埋蔵量の誤解とカナダオイルサンド事業」乗田広秋 配管技術 2001.10

- ・ 「カナダオイルサンドの動向について」森田裕二 IEEJ HP 2005.12
- ・ ‘Canadian Crude Oil Production and Supply Forecast’ 2005.7 CAPP
- ・ ‘Canada’s Oilsands’ 2006 National Energy Board