

JX石油開発、石炭火力発電所 排ガスCO₂を活用した 原油増産プロジェクト



JX石油開発株式会社
ヒューストン事務所長
友枝 城太郎

火力発電所から大気中に放散される二酸化炭素(CO₂)を年間約160万トン削減し、同時にそのCO₂を活用して油田からの原油生産量を数十倍に増やす。当社が参画するペトラ・ノヴァ・プロジェクトは、今年2月、米国テキサス州においてCO₂活用による原油の増産を開始した。総額10億ドルの大規模プロジェクトが建設フェーズから操業フェーズへ大きな一歩を踏み出した瞬間であった。

事業参入経緯

「米国大手電力会社NRG Energy Inc. (以下NRG)が、テキサス州にある自社のW. A. パリッシュ火力発電所に巨大なCO₂回収装置を建設し、石炭燃焼排ガスから回収したCO₂をパイプラインで輸送したうえ、同州陸上の老朽油田でCO₂-EOR^{注1}事業を行うことを計画している。そして、その事業パートナーを探している」。

本案件が当社ヒューストン事務所に持ち込まれたのは2012年。折しも、バレル当たり100ドルという原油価格高の環境下、当社内でも新規案件を追求する「新規事業部」が発足した年であった。

注1：CO₂を油田に圧入することで、油田の生産性を高める石油増進回収(Enhanced Oil Recovery)技術

NRGは、自社の石炭火力発電の存続と、温室効果ガスの排出削減を目的とする環境規制との調和を図る

べく、2009年頃から本プロジェクトの実現に向けて検討を進めていた。2010年には、クリーン・コール・パワー・イニシアティブ・プログラム^{注2}のもと、本プロジェクトの事業主体であるペトラ・ノヴァ・パリッシュ・ホールディングス社(Petra Nova Parish Holdings LLC、以下PNPH。当時はNRGの100%間接子会社)が、米国エネルギー省から167百万ドルの補助金を受領することも決定していた(補助金は2016年2月に23百万ドルの追加を受け、合計190百万ドルとなった)。2011年にPNPHは、独立系大手石油会社Hilcorp Energy Company(以下Hilcorp)が権益100%を保有していたテキサス州の陸上にあるウェスト・ランチ油田の権益50%を取得した(図1、写真1参照)。回収したCO₂をその油田に圧入し、地下に残留する原油の流動性を高めることで産出量を増加させるCO₂-EOR事業を実施しようという計画である。また、CO₂回収装置の建設に関しては、三菱重工株式会社の技術を活用することとなっていた。

注2：米国における環境調和的な石炭利用技術の促進政策

当初、社内では否定的な意見が多く出された。「投資はコア地域や得意分野に絞るべき」、「予算の制約から、本業外のCO₂の回収装置、しかも過去に実績のない規模の装置に大規模投資をすることなどあり得な

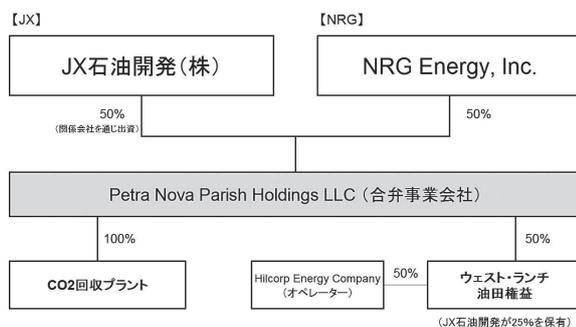


図1 ペトラ・ノヴァ・プロジェクトのストラクチャー図
(出所：JX石油開発、以下同)



写真1 ウェスト・ランチ油田で生産原油・CO₂・水の分離処理などを行う施設

い」との声は大きかった。一方で、「CO₂-EORは石油開発分野における注目技術で、戦略的に獲得すべき技術だ」、「当会社のグループ理念に合致する案件だ」との肯定的な意見も存在したが、少数であった。当時、CO₂-EORは社内でも注目している技術ではあったが、CO₂回収装置への大規模投資の是非については大議論となった。全般に否定的な雰囲気が漂ってはいたものの、まずは案件の評価・検討を実施することになり、新規事業部のメンバーがNRGとの協議に入った。

投資決定

NRGとの協議は、両社の視点や専門分野の違いもあって、当初はなかなか噛み合わなかった。お互いのギャップを埋めるべく、電話会議や電子メールのみに頼らず、担当チームメンバー間で相互にヒューストン・東京間を行き来して、直接対話での協議・交渉を重ねた。その甲斐あって、2013年5月に当社とNRGはPNPHの50%持分（株式）譲渡の条件につき合意に至った。しかしながら、合意に至ったとはいえ、主に金銭条件で合意したのみであり、各種権利義務の細部の調整が必要な状態であった。また、契約発効には、資金調達、デュー・デリジェンス、対米外国投資委員会（CFIUS）の審査、両社それぞれでの社内承認などの多くの先行条件が付されており、難題が数多く残るなか、当社とNRGは、株式会社国際協力銀行および株式会社みずほ銀行との間で、プロジェクト・ファイナンスに係る協議・交渉も開始した。

プロジェクト全体の事業評価、デュー・デリジェンス、プロジェクト・ファイナンスの契約交渉、世界最大規模のCO₂回収装置のEPC契約^{注3}交渉を同時並行で進め、ようやく最終投資決定に至った。そして2014年7月、当社はPNPHの50%持分を取得するかたちで、ついに本プロジェクトに参画した。同じタイミングで、PNPH、国際協力銀行およびみずほ銀行間で総額250百万ドルの融資契約を締結し、加えて、みずほ銀行の融資に対しては独立行政法人日本貿易保険による保険も付保された。こうして日本の政府系機関からの支援も確定し、CO₂回収装置に係るEPC契約も締結され、三菱重工の米国現地法人Mitsubishi Heavy Industries America, Inc.と米国の大手建設会社TIC（The Industrial Company）から成るコンソーシアムに対して着工指示が出された。このプロジェクトの推進にあたっては、当社の直接的な関与が不可欠との判断のもと、テキサス州ヒューストンに本拠を置く

PNPHとHilcorpにそれぞれ複数名の精鋭を当社から出向者として派遣した。

注3：設計（engineering）、調達（procurement）および建設（construction）を含む建設プロジェクトにおける建設工事請負契約

ペトラ・ノヴァ・プロジェクト

ここでペトラ・ノヴァ・プロジェクトと命名された本プロジェクトの概要を紹介したい。

W. A. パリッシュ発電所は、テキサス州ヒューストン南西約40キロメートルに位置し、8基の発電設備を備え、合計3649メガワットの出力を誇る米国2番目の規模の複合火力発電所である。8基の発電設備のうちユニット1からユニット4までの4基は天然ガス発電設備で、ユニット5からユニット8までの4基が石炭火力発電設備となっている。ペトラ・ノヴァ・プロジェクトのプロセスは、最大出力610メガワットのユニット8のうち240メガワット分に相当する燃焼後排ガスをCO₂回収装置に送ガスするところから始まる（写真2参照）。

CO₂回収装置では、前処理設備で排ガスの冷却と脱硫が行われた後、110メートルもの高さがあるCO₂吸収塔で、CO₂を含む排ガスとアミンベースのCO₂吸収液（KS-1™。三菱重工と関西電力株式会社の共同開発）を接触させ、吸収液にCO₂を吸収させる。このプロセスにおいて、排ガス中の90%のCO₂を回収する。CO₂を吸収した吸収液は、再生塔に送られ、そこで加熱されることにより、CO₂を分離する。CO₂を分離した吸収液は再度CO₂吸収塔に送られ、繰り返し使用される。回収されるCO₂は99.9%という高純度であり、CO₂回収量は日量約5000トン、年間に換算すると約160万トンに達する。分離されたCO₂はコンプレッサーにて圧縮



写真2 CO₂回収装置全景

され、130気圧以上に昇圧される。高圧のCO₂は、気体と液体の両方の性質を持つ超臨界流体という状態となり、CO₂はこの超臨界状態のまま、全長約130キロメートルの専用パイプラインでウェスト・ランチ油田まで送られる（図2参照）。

CO₂回収装置、ユーティリティ設備、CO₂パイプラインおよび油田は、それぞれ個別に設立された4つのLLC (Limited Liability Company) が所有する。CO₂回収設備とユーティリティ設備を所有する2つのLLCについては、PNPHがそれぞれ100%の持分を保有し、CO₂パイプラインおよび油田を所有する2つのLLCについては、それぞれPNPHとHilcorpが50%ずつ持分を保有している。油田の操業はHilcorpが、また油田以外の装置・設備の操業はPNPHが担っている。プロジェクトへの資金供給は、米国エネルギー省からの補助金190百万ドル、国際協力銀行とみずほ銀行の協調融資によるプロジェクト・ファイナンス250百万ドル、JX/NRG両社出資による約600百万ドルと、総額10億ドル規模となった。

CO₂-EOR

従来型の油田の新たな発見が地球規模で難しくなってきた現在、シェールオイルなど非在来型の石油開発が注目を浴びている。一方、EOR（石油増進回収）技術は、新たに油田を見つけるのではなく、既存の油田からの回収率を最大化するというで注目される技術である。通常の油田開発では、まず油田の持つ圧力によって自噴生産を行う1次回収が、次に水などを圧入することにより油田の圧力を高めて生産する2次回収が行われる。2次回収を実施した場合でも、地下に存在する原油の約半分はそのまま残っており、残りの原油を回収しようとする技術が、3次回収技術とも呼ばれるEORである。EORには、CO₂を圧入するCO₂

攻法のほかに、熱を加える熱攻法、化学薬品を圧入する化学攻法などさまざまな手法があるが、その費用との関係でその適用例は限られている。油田に圧入されたCO₂はミシブルと呼ばれる原油との混合状態となり、通常では流動性がなく生産されることのなかった原油が流動を開始することで生産につながる、これがCO₂-EORの原理である。

CO₂-EORの対象となるウェスト・ランチ油田は、1938年に発見され、2000年代までに約700本の坑井が掘削されており、これまでに約4億バレルの原油を生産した米国内でも有数の巨大陸上油田である。1970年代には日量5万バレル以上の原油を生産していたが、その生産量はCO₂-EOR開始前には日量300バレルまで減退していた。

この油田に実際にCO₂を圧入するにあたっては、5スポット・パターン圧入法という手法が採用された。これは、CO₂圧入井と原油生産井を格子状に交互に配置し、1本のCO₂圧入井から圧入されたCO₂と原油の混合流体を、周囲の4本の生産井から生産する手法である。1本のCO₂圧入井を取り囲む4本の生産井で囲まれたエリアを1パターンと数えるが、本油田では5つの油層に対して順次EORを適用する計画となっており、合計するとCO₂-EORを適用するパターン数は500以上になる。また、圧入にあたっては、EORの効果を最大化するために、CO₂と水を交互に圧入する「WAG (Water Alternating Gas) 圧入法」も採用している。圧入されたCO₂や水の一部は、原油とともに生産されるが、そのCO₂と水は原油と分離された後に昇圧され、再度地下に圧入される。

操業開始

2014年9月以降本格的に始まったCO₂回収装置の建設工事はおおむね順調に進んだ。W. A. パリッシュ発電所とウェスト・ランチ油田を結ぶCO₂パイプラインの敷設工事と、CO₂-EOR開始に向けた油田の地上設備の建設工事やCO₂圧入井と原油生産井の坑井掘削作業も並行して進められた。

2016年9月、最初にCO₂パイプラインの敷設工事が完了し、同年12月にはプロジェクトの主要設備である世界最大級のCO₂回収装置が、スケジュールどおり、かつ予算内で完成し、ついに商業運転を開始した。そして今年2月、ウェスト・ランチ油田にてCO₂-EORによる原油の商業生産が開始された。今年4月には、リック・ペリー米国エネルギー省長官、グレッグ・アボツ

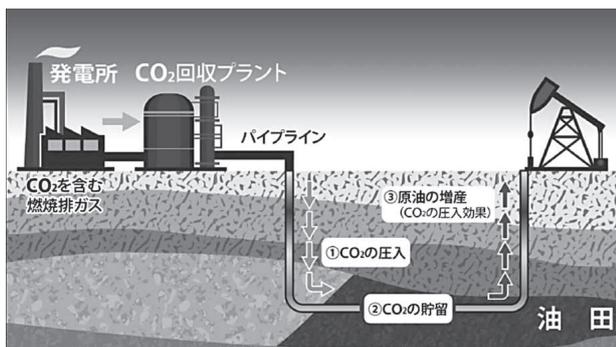


図2 プロジェクト概念図

トテキサス州知事、天野哲郎・在ヒューストン日本国総領事ら多数の来賓を招き、発電所敷地内で日米共同プロジェクトの生産開始を記念したセレモニーが盛大に開催された（写真3参照）。

本プロジェクトについては、冒頭の「事業参入経緯」で言及したように、当初は否定的な意見が多かったものの、社内で多くの議論を尽くした結果として、現在われわれが取り組んでいるCO₂-EORの技術は優先的に獲得すべき技術であると位置付けている。

ウェスト・ランチ油田の生産量は、CO₂-EOR開始前は日量約300バレル程度であったが、今年9月末現在でCO₂-EORの効果により日量約4000バレルとすでに10倍以上になっており、累計増産量は約6000万バレルを見込む。建設作業もスケジュールどおり、かつ予算内で完工し、原油増産も確認されたプロジェクトと聞けば、何事もなく順調に進捗しているプロジェクトと受け止める向きもあるかもしれない。しかしながら、投資決定時と比較して半分程度の油価レベルである現状に鑑みると、決して手放しで喜べる状況ではなく、現場ではEOR効果の最大化と、さらなるコスト削減などの努力を続けている。

今後の展開

世界的に見てもCO₂-EORを適用できるエリアは、テキサス州西部など米国の一部に限られている。これら

のエリアは、CO₂-EORに適した油田が存在し、かつ、地下にCO₂が溜まっている天然のCO₂供給源が近くに存在するという条件を満たしている。W. A. パリッシュ発電所の位置するテキサス州中東部は、CO₂-EORの効果が期待できる巨大陸上油田が多数存在しているものの、天然のCO₂供給源がないためにCO₂-EOR技術が未適用となっていたエリアである。米国エネルギー省のある報告書では、当該エリアには170億バレルにも及ぶCO₂-EORによる原油増産ポテンシャルがあることが示されており、石炭火力発電の排ガスを起源とする新規のCO₂供給源を確保したペトラ・ノヴァ・プロジェクトは、ウェスト・ランチ油田へのCO₂供給を終えた後、大規模な追加投資をすることなく、第2の油田でCO₂-EORを適用するというさらなる展開の可能性を残している。

化石燃料の燃焼排ガスCO₂を回収し地下に封印することは、地球温暖化対策の切り札とされて久しいが、そのための膨大なコストを誰がどのようなかたちで負担するのかが未解決の難問となっている。われわれのプロジェクトは、回収したCO₂を有効利用することによりそのコストを負担するという、難問への回答案を具体的に示す挑戦でもある。JX石油開発は、環境負荷低減や地球温暖化対策という課題に取り組みながら、エネルギーをお客様に届けることにより、社会の発展と活力ある未来づくりに貢献するための挑戦をこれからも続けていく。



写真3 セレモニーの様子

（左から）天野 在ヒューストン日本国総領事（1人目）、ジェフリー・ヒルデブランド Hilcorp会長兼CEO（2人目）、グレッグ・アボットテキサス州知事（3人目）、リック・ペリー 米国エネルギー省長官（4人目）、モーリシオ・グティエレス NRG社長兼CEO（5人目）、三宅 JX石油開発社長（6人目）