

(25-61③) 平成25年度
シェールガス開発に係る
環境影響の調査検討
報告書

平成26年3月

一般財団法人 エンジニアリング協会



RING!RING!
プロジェクト

この報告書は、競輪の補助金により作成しました。

<http://ringring-keirin.jp>



序 文

平成 25 年度、一般財団法人エンジニアリング協会「石油開発環境安全センター（以下 SEC）」では、公益財団法人 JKA からの補助を受けて「シェールガス開発に係る環境影響の調査検討」事業を実施してまいりました。SEC はその名前の通り、石油開発における環境問題や安全問題につき調査研究を行っており、現在北米を中心に広く開発が進められながら、一方で環境問題に対する懸念も報じられているシェールガス開発の環境問題についての調査研究はまさに SEC にふさわしい事業という事が出来ます。

シェールガスの存在は世界中の広いエリアで確認されており、その開発は北米を中心に広く進められ、今やシェールガス革命と呼ばれているほどです。今まで困難であったシェール層からの石油や天然ガスの採掘が可能になったことにより、世界のエネルギー事情が大きく変わり、最も開発の進んでいる米国では、シェール層に埋蔵されている石油や天然ガスは 100 年分を超えるといわれていることから、世界最大のエネルギー輸入国から一転資源大国に躍り出ると見られています。これにより米国ではガス価格が低下し、米国経済に好影響を与える一方で、日本においては輸入する LNG 価格が原油価格の高止まりや原子力発電代替の火力発電用として LNG 需要が増加している事から、高価格で推移しています。また、北米でのガス価格低下により、シェール層の開発はガスから油に移行してきており、今後油の増産による影響についても注視していく必要があると思います。

その一方で、シェールガス開発地域においては、一部地域において土壤・地下水汚染といったリスクが問題視され、開発が停滞あるいは中止となった案件もあり、環境問題への対応が急務となっています。当協会賛助会員の中には、廃水処理などの環境保全に対して高い技術を持つ企業が多くあり、シェールガス開発に対する環境問題に対して、解決策を見出すことが可能と考えられる事から、本調査研究では、それらの企業とともに、解決策の方向性について検討を行いました。これらの技術を発展させシェールガスの安定的な開発に寄与することで、天然ガスを安定的かつ低廉に輸入し、エネルギーの安定供給に貢献できるものと思います。

本調査研究では、SEC に「シェールガス開発に係る環境影響の調査検討委員会」（委員長 藤田和男：東京大学名誉教授）と同分科会（分科会長 堀江忠司：国際石油開発帝石株）を設置し、調査研究を進めてまいりました。本調査研究にご協力いただいた関係各位に対して心から謝意を表するとともに本報告書の成果が各方面で有効かつ広範囲に活用される事を切望する次第です。

平成 26 年 3 月

一般財団法人エンジニアリング協会
理事長 高 橋 誠

序 文

わが国の一次エネルギー自給率は、平成 22 年度末の 3 月 11 日に勃発した東日本大震災に起因し停止した原子力発電所の影響により 6 %台まで落ち込み、原子力発電を代替するため日本エネルギーは化石燃料にシフトを始めている。電源構成で化石燃料の占める割合は 60 %から 90 %に上昇し、2013 年には 11.5 兆円にも上る国富が燃料費としてわが国より流出する事態となり、過去 3 年間に渡り貿易収支が赤字になっている。

一方、北米を起点としたシェールガス革命は、天然ガスの国際価格に対して大きな影響を与える IEA の World Energy Outlook によれば米国内の天然ガスの価格は欧米の 3 分の 1 、日本の 5 分の 1 となっており、米国内のエネルギー需給にガスシフトを起こし産業構造に大きな変化を起こし始めている。また、日本への安価なシェールガスを LNG 輸出するエネルギー省の承認が 2013 年に下り、わが国のエネルギー業界の期待も大きい。

かかる状況下において、本研究「シェールガス開発にかかる環境影響の調査検討」は、既に、生産地の北米だけがシェールガス革命の恩恵を受けているシェールガスの開発・生産現状を確認し、懸念材料と報じられている多段階水圧破碎等に起因する環境影響問題について調査し、どのような課題が存在しているのかをまとめた。そして、その対処技術について検討し、日本の技術力で持って解決策を提案することで、シェールガスを日本へ輸入する糸口になればとの思いで、検討に取り掛かったのである。

幸いなことに、最近の発表によれば、昨今カナダでの開発は順調に推移しており、2017 年頃には北米発のシェールガスの日本への輸入が実現する見通しである。しかしながら、本調査研究より、水の入手困難な地域では坑井の掘削および水圧破碎に大量の水を使用するシェールガス開発において、排水の再処理再利用という水処理技術や水質管理の課題は避けて通ることができず、解決すべき課題であることが判明した。今後は、本課題の本質を研究し、日本の水処理メーカーの既成技術や革新的研究による問題解決を期待するところである。

本件を取りまとめるにあたり、エンジニアリング協会の賛助会員の中から熱意がある 12 名の専門家が分科会委員として調査および報告書作成等の実務を担当された。また 5 名の業界の有識者ならびに、オブザーバーとして経済産業省の方々の出席を賜り貴重なご助言を頂いたことについて感謝申し上げたい。特に、報告書作成にあたっては、分科会長として取りまとめて頂いた、国際石油開発帝石(株)の堀江忠司シニアコーディネーターおよび、開催された分科会 9 回と委員会 3 回の会議資料を適切に準備し処理して、本報告書の完成を目指し奮闘された事務局の方々にも深く感謝申し上げたい。

平成 26 年 3 月

シェールガス開発に係る環境影響の調査検討委員会
委員長 藤田 和男

平成 25 年度 シェールガス開発に係る環境影響の調査検討委員会

<委員名簿>

委員長	藤田 和男	東京大学 名誉教授
委 員	増田 昌敬	東京大学大学院工学系研究科 エネルギー・資源フロンティアセンター 准教授
委 員	小山 研也	関東天然瓦斯開発(株) 技術管理部長
委 員	坂本 隆	新日鉄住金エンジニアリング(株) 戦略企画センター 海底資源開発事業推進部長
委 員	石井 美孝	石油資源開発(株) 国内事業本部 操業部長
委 員	牧 武志	牧エネルギー工学研究所 代表
オブザーバ	上條 剛	経済産業省 資源エネルギー庁 資源・燃料部 石油・天然ガス課 課長補佐
オブザーバ	沼倉 慎一	経済産業省 商務流通保安グループ 鉱山・火薬類監理官 付 課長補佐
事務局 (～H25 年 12 月)	中村 直	一般財団法人 エンジニアリング協会 石油開発環境安全センター 所長
事務局 (～H25 年 12 月)	山田 周治	一般財団法人 エンジニアリング協会 石油開発環境安全センター 副所長
事務局 (H25 年 12 月～)	高橋 康夫	一般財団法人 エンジニアリング協会 石油開発環境安全センター 技術調査部長
事務局	百田 博宣	一般財団法人 エンジニアリング協会 石油 開発環境安全センター 研究主幹

平成 25 年度 シェールガス開発に係る環境影響の調査検討分科会

<分科会委員名簿>

分科会長	堀江 忠司	国際石油開発帝石(株)技術本部技術企画ユニットシニアコーディネーター
委 員	松下 典史	応用地質(株)エネルギー事業部 地盤物証部 部長
委 員	大江 太郎	オルガノ(株)開発センター システムグループ課長
委 員	関本 恒浩	五洋建設(株)技術研究所長
委 員	井田 博之	JFEエンジニアリング(株)技術本部 総合研究所 水処理・流体研究グループ 主任研究員
委 員	横山 貴之	新日鉄住金エンジニアリング(株)戦略企画センター 事業開発企画部 事業開発室 マネジャー
委 員	池口 学	水井(株) 技術・開発本部 設計・技術統括 副統括
委 員	松谷 和典	石油資源開発(株)国内事業本部操業部坑井作業管理グループ
委 員	河合 展夫	地球科学総合研究所 取締役
委 員	佐々木直人	天然ガス鉱業会 調査部長
委 員	豊田 一郎	東洋エンジニアリング(株) 経営計画本部渉外部 担当部長
(～H25年9月)		
委 員	櫻井 敏晴	東洋エンジニアリング(株)資源エネルギー事業本部
(H25年10月～)		資源ビジネス本部
委 員	中川 彰利	(株)明電舎水・環境事業部 膜・水処理プラント部 研究開発第二課 主任
オブザーバ	山田麻紀子	オルガノ(株)産業プラント本部海外事業企画室主任
オブザーバ	曾我健太郎	国際石油開発帝石(株)HSEユニット 環境グループ マネージャー
オブザーバ	佐藤 敬	(株)テルナイト 技術部長
オブザーバ	根本 和昌	日本オイルエンジニアリング(株)施設技術部 環境安全グループ 技師
事務局	中村 直	一般財団法人 エンジニアリング協会
(～H25年12月)		石油開発環境安全センター 所長
事務局	山田 周治	一般財団法人 エンジニアリング協会
(～H25年12月)		石油開発環境安全センター 副所長
(H25年12月～)		所長
事務局	高橋 康夫	一般財団法人 エンジニアリング協会
		石油開発環境安全センター 技術調査部長
事務局	百田 博宣	一般財団法人 エンジニアリング協会
		石油開発環境安全センター 研究主幹

平成25年度JKA補助事業「シェールガス開発に係る 環境影響の調査検討」報告書 目次

第1章 調査概要	1
1.1 背景	1
1.2 調査目的	3
1.3 本JKA事業の背景・経緯	4
1.3.1 研究体制	4
1.3.2 実施計画案の作成	5
1.3.3 委員会活動および分科会活動	5
1.4 成果概要	8
1.4.1 シェールガス開発に伴う環境問題の現状と対策	8
1.4.2 シェールガス関連情報に関する講演	8
1.4.3 文献調査	8
1.4.4 海外調査	9
第2章 シェールガス開発に伴う環境問題の現状と対策	10
2.1 シェールガス開発の意義・重要性	11
2.2 シェールガス資源の地理的分布	14
2.3 シェールガス開発手法の概要	16
2.3.1 掘削作業	16
2.3.2 水圧破碎と坑井仕上げ事例	18
2.3.3 生産作業事例	21
2.3.4 中間処理と輸送	22
2.4 シェールガス開発に伴う環境問題と対策	24
2.4.1 地表への影響	24
2.4.2 野生動物・生態系への影響	25
2.4.3 地域社会への影響	26
2.4.4 地下水系の汚染【地表での漏洩、地下水系への移動】	28

2.4.5 淡水使用量とその規制および動向	29
2.4.6 誘発地震	31
2.4.7 堀削カッティグスと NORM	32
2.4.8 大気汚染	33
2.4.9 気候変動・温暖化影響	35
2.5 環境影響への対応と提案・実用化されている水処理システム	37
2.5.1 提案・実用化されている水処理システム	38
2.5.2 Produced Water の再利用	39
2.5.3 Produced Water の性状	40
2.5.4 現状で適用可能な Produced Water の処理方法	44
2.5.5 Produced Water 処理装置におけるマーケットシェア	53
 第3章 シェールガス関連情報に関する講演	58
3.1 「環境対応のシェール開発技術」ハリバートン・オーバーシーズ・リミテッド ビジネスデベロップメント 橋本 博之 氏	58
3.2 「シェール開発における環境問題」石油資源開発（株） 北米シェールプロジェクト部長米州・ロシア事業本部長補佐 影山 隆 氏	59
3.3 「シェールガス開発と水」国際石油開発帝石（株） アメリカ・アフリカ事業本部 地域事業ユニット シニアコーディネーター 萩野浩市氏	60
3.4 「国内のオイル/ガスフィールドにおける坑廃水処理について」（株）テルナイト 技術部長 佐藤 敬氏	61
3.5 「非在来型油・ガス田における水処理技術戦略」シュルンベルジェ（株） コミュニケーションマネージャー 大澤 理氏	62
 第4章 文献調査	64
4.1 要約版取りまとめ	64
No.1 シェールガス・オイルの開発に係る規制・ガイドライン	67

No. 2 地域飲料水供給に対するマーセラスガス掘削の影響	75
No. 3 石油・天然ガス開発に関する環境影響評価規制プログラム	78
No. 4 イーグルフォードシェールタスクフォース報告書	82
No. 5 米国における現代シェールガス開発	84
No. 6 カルテックスエナジー社の水圧破碎事故調査報告	86
No. 7 ホーンリバー堆積盆地で発生した微小地震の調査	92
No. 8 欧州での水圧破碎を含む炭化水素操業からの 環境および健康への潜在的リスク特定	94
No. 9 水圧破碎による環境有害要因の解析	97
No. 10 飲料水源への水圧破碎による影響の研究	99
 第 5 章 海外調査	102
5. 1 訪問先	102
5. 2 参加会議	102
5. 3 スケジュール	102
5. 4 企業事務所訪問	103
5. 4. 1 石油資源開発(株)カルガリー事務所訪問	103
5. 4. 2 国際石油開発帝石(株)カルガリー事務所訪問	107
5. 4. 3 カナダオイルサンド社訪問	109
5. 5 カンファレンス参加	109
5. 6 欧州のシェールガス開発動向	110
カンファレンス報告内容 No. 1～No. 14	113
 第 6 章 まとめ	147
 【資料集】	
資料-1：委員会、分科会活動状況資料	151
資料-2：講演会資料	173

用語説明

日本語	英語	用語解説
シェールガス シェールオイル タイトオイル	Shale Gas Shale Oil Tight Oil	頁岩(シェール)と呼ばれる浸透率が0.01md以下 の極めて緻密な泥岩互層に含まれるガス及び油 がシェールガス・オイル。同様に浸透性が悪いシ ルト岩層、砂岩層、炭酸塩岩層等に閉じ込められ ていた残留原油をシェールと同様の開発手法(水 圧破碎等)により回収可能となった油をタイトオ イル。
在来型 非在来型	Conventional Unconventional	非在来型とは、最初から特殊回収技術(ここでは 水平坑仕上げと多段階水圧破碎)を利用しないと 回収できない炭化水素の総称。在来型は従来の回 収技術で経済的に採掘していた炭化水素資源の 総称
水圧破碎 フラクチャリング フランク	Hydraulic Fracturing Frac	流体を高圧で坑井内に圧入して人工的に亀裂(フ ラクチャー)を作り、浸透性の高い道を形成し、 生産能力の向上を図る手法
フラクチャー	Fracture	亀裂、割れ目
フランク流体	Fracturing Fluid	フラクチャリング作業時に、対象層に高い圧力を かける流体。フラクチャーを発生させるととも に、プロパントを運搬する機能も求められるため 粘性を有する。最近は低粘性の液体やLPGガスを 用いたフラクチャリングも行われている。
低粘性水 スリックウォーター ー	Slick Water	増粘剤を使用しないフランク流体。添加剤が少な くなり、またフローバックも容易になるというメ リットがある。コストも安くなる。
帯水層 水層、地下水層	Aquifer Water Zone	地中の透水層において、地下水で飽和している地 層のこと。表層に近い飲料用の水を含むものや 深度の深い飲料に適さない塩水を含むもの等す べてが含まれる。
フローバック フローバック水 (流体)	Flow Back Flow Back Water (Liquid)	フラクチャリング終了後、圧入流体を坑井から排 出する事。また排出した水(流体)。この流体に は塩以外にも多くの金属イオンが含まれる。特に シェールには重金属や自然起源放射性物質が含 まれることがあり要注意。
プロパント	Proppant	フラクチャリングを行って、生じた亀裂が再度閉

		塞する事を防ぐための亀裂支持材として使う微細な砂粒
パーフォレーション、ガンパー、穿孔	Perforation Gun Perforation	ケーシング内に油・ガスを流入させるために、ケーシング、セメント、貯留層を貫く穴をあける作業、又はその孔
坑井仕上げ	Well Completion	一般的には、坑井掘削後のケーシングの挿入、セメンチング、チュービングや坑口装置の設置等を言うが、シェール開発ではフランクチャーリング作業も含まれる。
アニュラス、ケーシングアニュラス	Annulus Casing Annulus	ケーシングと坑壁、もしくは異なる直径の2つのケーシングの間の環状の隙間
セメンチング	Cementing	セメント溶液を地表からパイプを通してアニュラス部に送り、ケーシングを固定すると同時に高圧層、崩壊層、逸水層などを遮蔽する。
改修	Workover	坑井内の障害除去や仕上げ層・仕上げ方法の変更などの目的で坑井に処置を施す作業
ブリッジプラグ	Bridge Plug	坑井内の高圧力を地表から遮断するために、ケーシング内を遮断するプラグ
コイルドチュービング	Coiled Tubing	既設のチュービング内に降下できる、ドラムに巻かれた小径1インチの作業用の軟鉄製パイプ
坑井基地 坑井敷地 パッド	Well Pad Pad	坑井を掘削する4~5エーカーの敷地。掘削やフランクチャーリング作業のため大きな面積を必要とする。一つの基地（パッド）から8~20本の坑井を掘削するようになってきている
微小地震、マイクロサイスマック	Micro Seismic	無感地震の中でも敏感な地震計にのみ観測されるような地震。水圧破碎により岩石に亀裂が形成される時に発生する音を観測し、その音波の速度差（縦波は速い、横波は遅い）を利用しての亀裂発生点を評価する手法が開発され、利用されている。
誘発地震	Induced Earthquakes, Induced Seismic Event	人工的な活動により励起された地震活動
フランクフォーカス	Frac Focus	フランクチャーリングで使用している化学物質を登録開示する組織。Webにて情報を確認することが

		できる。 http://fracfocus.org
地下圧入、還元圧入、注入	Injection	地下の油・ガス層や帯水層に生産水やフローバック水を圧入すること
ゲル、フラックゲル流体	Gel	フラクチャリング用高粘性流体
クロスリンカー、架橋剤	Crosslinker	フラクチャリング用添加剤の一種、高分子化学においてポリマー同士を連結し物理的・化学的性質を変化させる物質

略語説明

BTEX	Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene ベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、キシレン
CAS No.	Chemical Abstracts Services Number アメリカ化学会(American Chemical Society: ACS)で使用する化合物番号の事であり、同学会の下部組織である CAS が登録業務を行っている
CBL	Cement Bond Log セメントボンドログ：ケーシングと地層の間の膠着状態を音波検層の原理を応用して測定するもの
DECC	Department of Environment and Climate Change UK (英国環境・気候変動省)
DOE	US Department of Energy (米国エネルギー庁)
EIA	US Energy Information Administration (米国エネルギー情報局)
ENAA	Engineering Advanced Association of Japan (一般財団法人エンジニアリング協会)
EPA	US Environmental Protection Agency (米国環境保護庁)
GIP	Gas-In-Place ガス原始資源量
HF(HVHF)	Hydraulic Fracturing (High Volume Hydraulic Fracturing) 水圧破碎(大容量水圧破碎)
IEA	International Energy Agency (国際エネルギー機関)
IFC	International Finance Corporation (国際金融公社)
LSI	Langelier Saturation Index ランゲリア指数(飽和指数)
NETL	National Energy Technology Laboratory (国立エネルギー技術研究所 : DOE の下部組織)
NGL, NGLs	天然ガス液、天然ガソリン：産出された天然ガスから分離回収された液体炭化水素
NORM	Naturally Occurring Radioactive Materials (自然起源放射性物質)
SEC	Safety and Environment Center for Petroleum Development (石油開発環境安全センター)
TRR	Technically Recoverable Resources (技術的回収可能量)
VOC	Volatile Organic Compounds (揮発性有機化合物)

単位換算

(長さ)

	m	in	ft
1 メートル(m)	1	39.37	3.281
1 インチ (in)	0.0254	1	0.8333
1 フィート(ft)	0.3048	12	1

(面積)

	m ²	acre	ha	坪
1 平方メートル(m ²)	1	0.0002471	0.0001	0.3025
1 エーカー(acre)	4047	1	0.4047	1224
1 ヘクタール(ha)	10000	2.471	1	3025
1 坪	3.306	0.0008169	0.0003306	1

(容積)

	m ³	ft ³	米 gal	bbl
1 立方メートル(m ³)	1	36.31	264.2	6.29
1 立方フィート(ft ³)	0.02832	1	7.481	0.1781
1 米ガロン(gal)	0.003785	0.1337	1	0.02381
1 バレル(bbl)	0.159	5.615	42	1

Tcf : Trillion cubic feet (1×10^{12} 、1兆立方フィート)

Bcf : Billion cubic feet (1×10^9 、10億立方フィート)

BPD : Barrel per day (bbl/d : バレル/日)

第1章 調査概要

1.1 背景

シェールガス・オイルとは、頁岩（シェール）と呼ばれる泥岩に含まれるガス・オイルの事である。従来の貯留層とは異なる層から産出される事から、非在来型とも呼ばれている。頁岩は泥岩の中でも硬質で薄片状に割れ易い性質を持っており、浸透率、孔隙率が低く、これまで開発対象とは考えられていなかったが、泥岩自体はガス・オイルの根源物質であるケロジエンを含むいわゆる根源岩と考えられていた。しかしながら、浸透性の低いシェール層においても、1キロメートルを超える水平掘削技術や10ステップ以上の多段階水圧破碎（フラクチャリング）技術の発達により、経済的に成り立つ開発を行う事が出来るようになってきた。この技術革新は、テキサス州のBarnettシェールでの成功が端緒となり、その後のいわゆるシェールガス革命へと広がっていった。

米国の石油・天然ガスの生産量は過去5年間でいずれも大きく増加し、液体・気体の双方を合わせた炭化水素の生産量は世界第1位になるとの見通しであるが、これら石油・天然ガスの増産のほぼ全量が上記シェール開発に伴うものである。

こうしたシェール層を対象とした石油・天然ガスの開発は、現在、圧倒的に米国が先行しているが、隣国カナダ等においてもシェール開発活動が既に活発化している。また、世界各地にも米国のシェール層に匹敵する石油・天然ガス産出ポテンシャルを有するシェール層が広範に分布することが判明してきた。特に天然ガスに関しては、米国発のシェール革命が、今後世界各地に伝播し、米国で今日見られているような生産拡大が各地で再現される可能性を暗示している。

このように北米を中心にシェールガス・オイルの開発が進められる一方で、開発に係わる環境問題も指摘されるようになってきた。最大の環境問題は、シェールガスの開発による帯水層汚染に対する懸念である。ここに述べる帯水層とは地表付近の水源となっている清水層のことで、飲料用水もそこから汲み上げられる。このため、とりわけ人口の密集した地域であれば、汚染リスクへの不安が高まり、開発を妨げる要因となっている。シェールガス開発反対派が挙げる懸念事項をまとめると、

①大量の淡水使用、②フラクチャリングによる地下水汚染、およびガス漏洩、③フローバック水の環境への排水に伴う汚染、④フラクチャリング等による地震、などが挙げられる。しかしこれらに関しては、マスコミで大きく取り上げられるものがある一方、シェールオイル・ガス開発との因果関係が必ずしも明確でない事例が見受けられる。問題とされた事例について検証し、どこに問題があるのかを明確にする必要があり、それが初めて初めて環境に対する影響を抑えた開発を行う方策が示されるものと思われる。

日本においても、石油資源開発株は平成24年秋田県由利本荘市の鮎川油ガス田の地下約1800メートルから、酸処理によるシェールオイルの実証試験に成功した。更に、平成

26年度に水平坑井に対する水圧破碎を用いたタイトオイルの実証試験も計画されている。

現時点では、シェールガス・オイルに関しては、北米以外では本格的な開発は進んでいないものの、その埋蔵量や地域が分散されている事を考え合わせれば、いずれ世界の多くの地域において開発が進められる可能性がある。そのためにも、北米における事例から環境問題の原因を特定し、それに対する対策を確実に実施することで、環境に対する懸念を払拭していかなければならない。

1.2 調査目的

シェールガス・オイルの存在は世界中の広いエリアで確認されており、その開発は北米を中心に広く進められているが、一部地域において土壤・地下水汚染といったリスクや地震といった環境に対する影響が問題視され、開発が停滞あるいは中止となった案件もあり、環境問題への対応が急務となっている。北米においては、シェールガス・オイル開発のために何万本という坑井が掘削され、水圧破碎作業が実施されてきている。またそれによって発生した問題についても調査が行われ、行政機関や公的機関により報告がなされている。加えてマスコミ等も含め、多くの情報が氾濫している状態である。これらの情報を精査し、問題の所在を明らかにし、水処理などの環境保全技術開発を通じて環境問題を抑制し、シェールガス・オイル保有国における安定的な開発をサポートすることで、エネルギーの安定供給に寄与することを目的とする。

1.3 本事業の背景・経緯

平成 23 年 3 月に発生した東日本大震災により日本のエネルギー政策が見直されている中、原子力発電を代替し低炭素社会を実現するには当面天然ガスにシフトするしかなく、その中で最近北米において開発が進められているシェールガスが注目を浴びている。現在日本の天然ガス価格は原油価格にリンクしており北米でのシェールガス価格とは大きく乖離しているため比較的安価な北米産の天然ガスの輸入が待たれている状況である。

また、欧米において水圧破碎に起因した環境問題等により開発が中止となる事例もありその解決が望まれている。

このような背景の中、平成 24 年 9 月公益財団法人 JKA（競輪）に本事業の実施申請を行い、平成 25 年 4 月に承認を得たことから、以下を対象として調査研究事業を進めることとした。

- ①シェールガスの開発停滞や開発中止の起因となっている環境問題を抑制し安定的な開発を継続させるため、文献調査、現地調査により欧米における環境課題を明らかにする。
- ②国内の水処理技術、環境対応技術の適応性を調査し、環境対応策を提言する。
- ③提言を具現化させることにより、開発を促進させ複数の地域において安価なシェールガスの安定的な開発を継続させ、日本の天然ガスシフトの後押しをするとともに、水処理技術を軸に鉱区権益獲得に寄与する。

1.3.1 研究体制

当協会石油開発環境安全センター（以下 SEC）の下に「シェールガス開発に係る環境影響の調査検討委員会」（以下委員会）及び「シェールガス開発に係る環境影響の調査検討分科会」（以下分科会）を設置し、本事業を推進する。

（委員会の運営）

委員会は、委員とオブザーバで構成し、委員は学識経験者と事業者から選任し、オブザーバは経済産業省より参加頂いた。この委員会により本事業の舵取りを行う。

（シェールガス環境影響調査検討委員会）

委員長：藤田和男東京大学名誉教授

委員：増田昌敬東京大学准教授

委員：石井 美孝 石油資源開発国内事業本部 操業部長

委員：牧武志 牧エネルギー工学研究所代表

委員：坂本隆新日鉄住金エンジニアリング戦略企画センター海底資源開発事業推進部長

委員：小山研也 関東天然瓦斯開発(株) 技術管理部長

オブザーバ：経済産業省資源エネルギー庁 資源・燃料部 石油・天然ガス課 上條課長補佐、商務流通保安グループ 沼倉課長補佐

<SEC 事務局> 中村所長、山田副所長、高橋技術調査部長、百田研究主幹

分科会委員については、SEC参加希望者の中から、委員を選任するとともに、エンジニアリング協会本部の賛助会員となっている水処理関係会社の参加希望者も委員として選任した。また、資源系関係会社にもオブザーバとして参加頂いた。

(シェールガス環境影響調査検討分科会)

分科会長：堀江忠司（国際石油開発帝石株）

分科会委員：大江太郎（オルガノ株）、横山貴之（新日鉄住金エンジニアリング株）、井田博之（JFEエンジニアリング株）、松谷和典（石油資源開発株）、池口学（水ing株）、佐々木直人（天然ガス鉱業会）、関本恒弘（五洋建設株）、松下典史（応用地質株）、豊田一郎（東洋エンジニアリング株）、中川彰利（株明電舎）、河合展夫（株地球科学総合研究所）

オブザーバ：佐藤敬（株テルナイト）、根本和昌（日本オイルエンジニアリング株）、山田麻紀子（オルガノ株）、曾我健太郎（国際石油開発帝石株）

〈SEC事務局〉中村所長、山田副所長、高橋部長、百田研究主幹

1.3.2 実施計画案

委員会・分科会により、以下の事業を実施する。

①シェールガス開発に関する資料の収集

シェールガス開発の環境問題に関する文献・資料を収集し環境課題を抽出し解析する。

②シェールガス開発の環境問題の現地調査

抽出した環境課題について北米、欧州への現地調査、事業者、有識者へのヒアリングを実施し環境上問題となっている点を整理し解決すべき技術課題を明らかにする。

③解決策の協議検討

調査で判明した環境技術課題について委員会にて解決策を協議し既存の水処理技術、環境保全技術の適合性や類似技術の適応性、更には新技術の必要性を検討し解決策を協議する。

④検討結果の公開

調査および検討結果について、報告書を作成し公開するとともにHPや機関紙で公開する。

1.3.3 委員会活動および分科会活動

委員会・分科会の活動状況として、委員会・分科会の開催日時と主な議題を表1.1にまとめる。また、委員会・分科会合同会議について、議事録および活動写真記録を巻末の資料集の資料-1に添付する。

表を見ればわかるとおり、委員会は、本調査研究の方向性を決める同時に、調査研究計画および結果等に対して意見・助言を行う事を主目的としている事から、3回の委員会すべてが分科会との合同開催となっている。

表 1.1 シェールガス開発にかかる環境影響の調査検討委員会・分科会開催状況

日時	委員会	分科会	主な議題
H25年6月28日	第1回	第1回	1. 活動計画（案） 2. 委員会・分科会のスケジュール
H25年7月23日		第2回	1. 有識者による講演 2. 外部委託の方針
H25年9月9日		第3回	1. 有識者による講演 2. 文献調査外部委託成果品報告 3. 海外調査計画
H25年10月2日		第4回	1. 文献調査報告 2. 海外調査報告
H25年10月10日	第2回	第5回	1. 分科会活動報告 2. 今後の活動方針
H25年11月11日		第6回	1. 報告書への記載内容について 2. 海外調査報告内容について
H26年1月10日		第7回	1. 報告書作成方針について
H26年2月4日		第8回	1. 報告書作成状況報告 2. 追加調査について
H26年3月3日	第3回	第9回	1. 報告書最終案内容確認

次に、実施計画案で立案した実施項目の活動実績を次ページ表 1.2 にまとめる。

表 1.2 実施計画及び実績

事業項目別	上半期						下半期					
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
シェールガス開発に係わる環境影響の調査検討												
「シェールガス環境調査委員会」				● ○			● ○					● ○
「分科会」				● ○	● ○		● ○	● ○	● ○	○	● ○	● ○
(1) 環境課題の調査/課題の抽出												
(1)-2水処理、環境対応技術の調査												
(2) 海外開発地域の現況調査・ヒアリング												
(3) 環境対応技術(水処理技術の適合性)の検討												
(4) 全体取りまとめ/報告書作成												

● : 計画 ○ : 実績

↔ : 計画 ←→ : 実績

←→ : 実績

② : 2回実施

準備 調査

1.4 成果概要

1.4.1 シェールガス開発に伴う環境問題の現状と対策

分科会委員により、”Modern Shale Gas Development in The United States : An Update” September, 2013 の文献を基に、各専門分野に関する知見を踏まえて項目ごとにとりまとめた。

1.4.2 シェールガス関連情報に関する講演

シェールガス・オイル開発に関する企業・有識者の方に、関連する情報について御講演を頂いた。

①「環境対応のシェール開発技術」ハリバートン・オーバーシーズ・リミテッド

ビジネスデベロップメント 橋本 博之 氏

②「シェール開発における環境問題」石油資源開発（株）

北米シェールプロジェクト部長 米州・ロシア事業本部長補佐 影山 隆 氏

③「シェールガス開発と水」国際石油開発帝石（株）アメリカ・アフリカ事業本部

地域事業ユニット シニアコーディネーター 荻野浩市氏

④「国内のオイル/ガスフィールドにおける坑廃水処理について」（株）テルナイト

技術部長 佐藤 敬氏

⑤「非在来型油・ガス田における水処理技術戦略」シュルンベルジェ（株）

コミュニケーションマネージャー 大澤 理氏

1.4.3 文献調査

シェールガス・オイルの開発は主に北米を中心に行われているが、一部地域において土壤・地下水汚染といったリスクが問題視され、開発が中止に追い込まれた案件もある。環境問題への対応を検討するため、シェールガス・オイル開発において環境に対する問題が生じた事例に関する文献・資料収集を実施した。

（対象とする環境問題）

- ・ 帯水層汚染（フラクチャリングによる帯水層汚染の有無、地下水汚染の実例など）
- ・ フローバック水による汚染（フローバック水の処理方法及び汚染の実例、フラクチャリング用液体の添加剤情報及びその処理技術）
- ・ 廃水圧入による微小地震発生（地震の実例情報など）
- ・ ガス漏出（漏出の原因、メタン・揮発性有機化合物（ベンゼン、トルエンなど）の影響）
- ・ その他シェールガス・オイル開発における問題があれば、それに関するもの
- ・ シェールガス・オイル開発における環境に関する法規制（米国、カナダ、フランス、ドイツ、英国、米国各州など）

（調査文献）

- ・シェールガス・オイルの開発に係る規制・ガイドライン
- ・The Impact of Marcellus Gas Drilling on Rural Drinking Water Supplies
- ・SGEIS on the Oil, Gas and Solution Mining Regulatory Program, Well Permit Issuance for Horizontal Drilling and High-Volume Hydraulic Fracturing to Develop the Marcellus Shale and Other Low-Permeability Gas Reservoirs
- ・Eagle Ford Shale Task Force Report
- ・Modern Shale Gas Development In The United States –Regulatory Framework–
- ・Caltex Energy Inc. Hydraulic Fracturing Incident 16-27-068-10W6M September 22, 2011 ERCB Investigation Report
- ・Investigation of Observed Seismicity in the Horn River Basin
- ・Support to the identification of potential risks for the environment and human health arising from hydrocarbons operations involving hydraulic fracturing in Europe (Report for European Commission DG Environment)
- ・Analysis of Environmental Hazards Relating to Hydrofracturing
- ・Study of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources

1.4.4 海外調査

シェールガス・オイル開発において、環境上問題となっている帯水層の汚染、フローバック流体の処理、微小地震対策等について、実際にシェールガス・オイルを開発している地域に行き、直接携わっている担当者に話を聞く事は、本調査研究を進めるにあたって環境面の具体的な問題を理解する上で非常に重要である。このような観点から今回、北米で進められているシェールガス・オイル開発の一つの拠点であるカナダ国カルガリーにおいて、水処理のセミナーが開催されるためこれに参加し、また同地域に事務所を構える日本の石油会社を訪問して、情報収集を行った。

(訪問先)

JAPEX カルガリー事務所

INPEX カルガリー事務所

(参加会議)

“Tight Oil & Shale Gas Water Management Canada”

Cost Effectively Recycling and Handling Flowback and Produced Water

第2章 シェールガス開発に伴う環境問題の現状と対策

シェール開発に伴う米国の近年の石油および天然ガス生産量の急速な増加は、米国の石油・天然ガス生産量の減退や輸入量増加等の従来見通しを大きく覆し、いわゆる「シェール革命」と呼ばれる現象を生み出した。米エネルギー省（DOE）エネルギー情報局（EIA）によれば、米国の石油（液体）・天然ガス（気体）の生産量は過去5年間でいずれも大きく増加し、液体・気体の双方を合わせた炭化水素の生産量（製油所プロセスゲインやバイオ燃料を含む）は2012年にロシアを抜いて世界第1位になりⁱ(2-1)、これら石油・天然ガスの増産のほぼ全量が上記シェール開発に伴うものである。

こうしたシェール層を対象とした石油・天然ガスの開発は、現在、圧倒的に米国が先行しているが、隣国カナダ等においてもシェール開発活動が既に活発化している。また、世界各地にも米国のシェール層に匹敵する石油・天然ガス産出ポテンシャルを有するシェール層が広範に分布することが判明しており、EIAのスタディ報告ⁱⁱ(2-2)によれば、同スタディ対象41か国、137のシェール層に賦存する技術的に回収可能な石油資源量は約2,870億バレル（米国の約580億バレルを除く）、同様に技術的に回収可能な天然ガス資源量は約6,634兆cf（米国の約1,161兆cfを除く）とそれぞれ推定されている。これらシェールの資源量を、現状の世界の石油および天然ガスの確認埋蔵量（BP統計ⁱⁱⁱ(2-3) 2012年末、石油16,689億バレル、天然ガス6,614兆cf）と比較すると、石油については約20%であるものの、天然ガスについては約120%に達しており、特に天然ガスに関しては、米国発のシェール革命が近い将来ではないにしても、今後、世界各地に伝播し、米国で今日見られているような生産拡大が各地で再現される可能性を暗示している。

一方、米国における非常に急速かつ広範なシェール開発活動の進展に伴い、同活動に起因する環境影響への懸念が急速に高まっている。シェール開発の一般的な方法は、通常の在来型の石油や天然ガスの開発手法と基本的には類似するが、極めて浸透性の低いシェール層より極力高いレートで多量の石油・天然ガスを回収する必要があるため、①在来型油ガス田の開発に比較して坑井掘削数が非常に多い、②シェール層内で1,000m～2,000m程度にわたる水平掘削を実施し、同水平部分で多段階の水圧破碎を実施する、という特徴がある。シェール開発ための多数の水平坑井掘削、水圧破碎、およびその後の坑井仕上げ作業等に起因して生ずる各種の環境影響への懸念は、米国議会や各種メディアにおいても大々的に取り上げられ、米国における大きな関心事の一つになっている。

本章では先ず、シェール開発について米国を中心に現在の状況およびその意義・重要性について触れ、次に米国を含む世界のシェール資源のポテンシャルに関する調査結果について紹介する。その後、シェール開発の作業上の特徴を整理し、同作業に伴う各種の環境影響に関し、米国を中心とした現在の状況と、これら環境影響を回避・緩和するための各種取り組み、規制等の措置について取りまとめる。

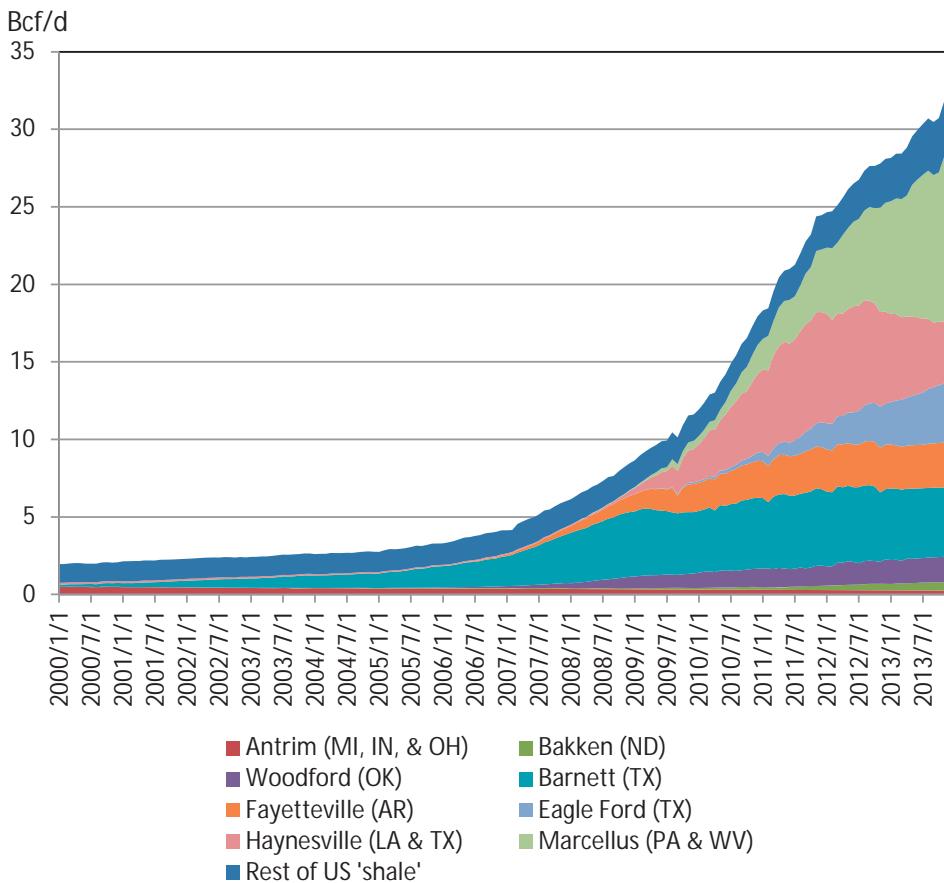
2.1 シェールガス開発の意義・重要性

世界に先駆けてシェール開発が進行する米国においては、2007年よりシェールガス生産量が顕著な増加を示している（図2.1.1および図2.1.2参照）。ガス増産に顕著な寄与が認められるシェール層としては、テキサス州バーネットシェール（2007年より生産量急増）、アーカンソー州フェイエットビルシェール（同2007年～）、オクラホマ州ウッドフォードシェール（同2007年～）、ルイジアナ州およびテキサス州に跨るヘインズビルシェール（同2008年～）、ペンシルバニア州およびウエストバージニア州に跨るマーセラスシェール（同2009年～）、テキサス州イーグルフォードシェール（同2010年～）などが代表的なシェールガス層である。EIAによれば、これらのシェール層からのガス生産量は、2006年末の約2.7Bcf/d（27億cf/日）から、2013年央には約29Bcf/dへと約10倍に増加しており、全米ガス生産量に占めるシェールガスの比率は、2000年時点の約2%から2012年においては約40%を占めるに至っている。



【出所】 EIA ホームページ,
(http://www.eia.gov/pub/oil_gas/natural_gas/analysis_publications/maps/maps.htm)

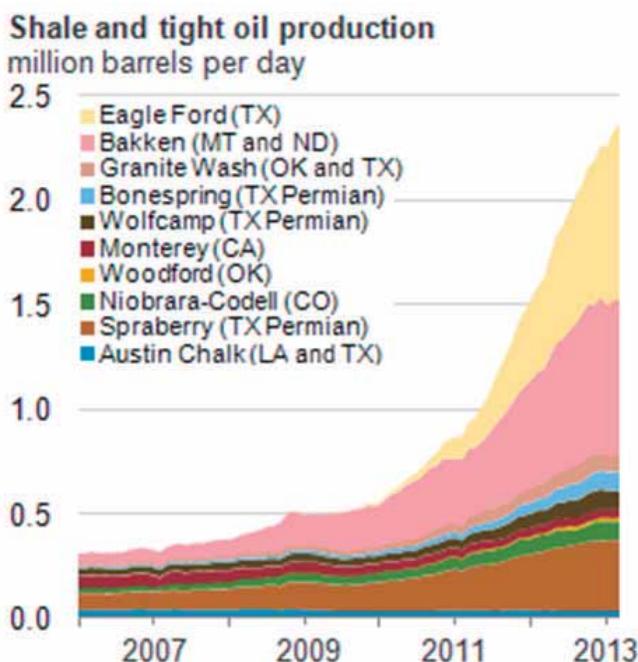
図 2.1.1 北米の主要シェール層



【出所】EIA ホームページ (<http://www.eia.gov/naturalgas/weekly/#tabs-prices-1>)

図 2.1.2 米国シェールガス生産量推移

一方、シェールガスの増産や 2008 年のリーマンショック等に伴い天然ガス価格が大きく低下したことにより、シェールガスからシェールオイル（タイトオイルを含む）へと開発対象がシフトし、これに伴い 2008 年以降、シェールオイルの生産量も急増している（図 2.1.3）。シェールオイル増産に顕著な寄与が認められるシェール層としては、ノースダコタ州およびモンタナ州に跨るバッケンシェール（2008 年より生産量急増）、テキサス州イーグルフォードシェール（同 2010 年～）、その他ボーンズプリング、ウォルフキャンプ、スプラベリーシェール（いずれもテキサス州パーミアン・ベースン）、カリフォルニア州モントレーシェール、コロラド州ナイオブララシェールなどが代表的なシェールオイル層とされ、特に最初の二つのシェール層からの生産増が突出している。EIA の最新の見通しによれば、バッケンおよびイーグルフォードの 2014 年 4 月の生産量は、それぞれ 109 万 BPD、136 万 BPD にまで増加するとされており、両シェール層からの生産量は、石油輸出国機構 OPEC 主要国の一つであるナイジェリアやベネズエラの全生産量に匹敵する規模となっている。また、パーミアン・ベースンについても、今後の増産が有望視されている。



【出所】EIAホームページ（<http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=13451>）

図 2.1.3 米国シェールオイル・タイトオイル生産量推移

これら米国でのシェールガスおよびシェールオイルの増産により、米国の石油・天ガス輸入量の減少に伴う貿易収支の大幅な改善や、石油・天然ガス関連・周辺産業の拡大と共に伴う相当規模の雇用創出等、米国経済に大きな好影響を及ぼしているとされる。また、天然ガスに関しては、急激な増産により従来予想されていた米国の LNG 輸入需要が消失し、逆に LNG 輸出計画が複数具体化している。同時に、米国内ガス価格が世界の他地域に比較して大幅に安価となっており、これにより、天然ガスを原・燃料とする化学産業やエネルギー多消費型産業の国際競争力が大きく向上しており、これらも米国経済を押し上げる大きな要因となっている。さらに天然ガス価格の低下により、火力発電用燃料としての石炭に対する天然ガスの価格競争力が大幅に向上し、発電部門での石炭から天然ガスへの燃料転換の進展も顕著となっており^{iv)(2-1-1)}、米国の低廉な電力の安定供給や発電部門における温室効果ガス排出量の削減にも大きく寄与している。

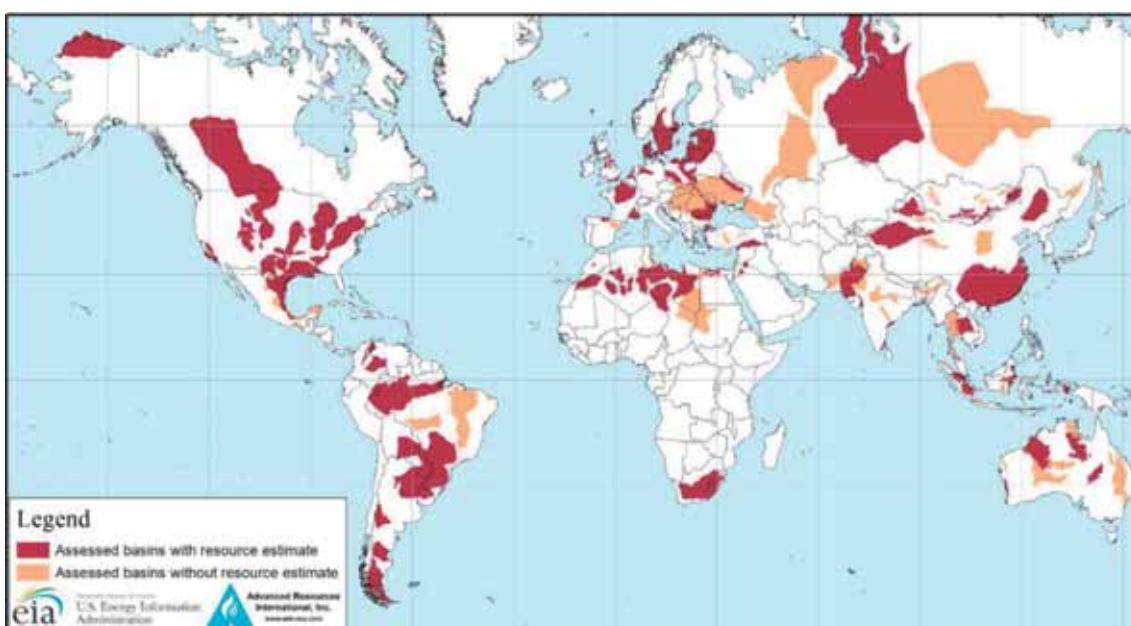
米国におけるこのようなシェールガスの大幅増産と、これに伴う米国のエネルギー安全保障・経済・地球温暖化問題等、広範な分野での貢献を踏まえ、国際エネルギー機関（IEA）は 2011 年の世界エネルギー見通し：World Energy Outlook (WEO) の特別報告として "Are we entering a golden age of gas?"^{v)(2-1-2)} と題するレポートを、また、翌 2012 年には同じく WEO の特別報告として "Golden rules for a golden age of gas"^{vi)(2-1-3)} と題するレポートを、それぞれ発表した。前者は、シェール革命による天然ガス増産の可能性や温室効果ガス削減のための石炭から天然ガスへの燃料転換、また、2011 年 3 月の東日本大震災・福島第一原子力発電所事故により、一部地域で原子力が停滞する影響等により、今後、世界

のエネルギー믹스、特に発電分野における天然ガスの役割が、従来予想以上に重要性を増す可能性があることを指摘している。また後者は、前者での”ガス黄金時代”を実現するためには、シェール開発等で懸念されている環境影響の回避・緩和がいかに重要であるかを指摘し、非在来型を中心とする天然ガス開発においては環境影響に関する社会的合意の形成が不可欠であり、そのための政策・規制等の整備・実施が極めて重要であることを強調している。

IEA の上記報告書が示すように、特に天然ガスについては、シェール革命が現在形で進行する米国のみならず、シェールガスのポテンシャルを有する世界の各国・地域においても、今後、エネルギー源としての重要性が一層高まる可能性が高く、同時にシェールガス開発に関連する環境影響への対応が一段と重要なことが予想されている。

2.2 シェールガス資源の地理的分布

世界のシェールガス資源量評価に関しては、EIA が 2011 年 4 月に報告書^{vii}(2-7)を発表し、これをアップデートする形で 2013 年 6 月に前述(2-2)の報告書が発表されており、後者ではシェールガスのみならず、シェールオイルについても資源量の評価を試みている。同報告書では、図 2.2.1 に示す世界各地域のベースン（計 41 か国、137 のシェール層）を対象として ARI 社による調査が行われ、表 2.2.1 に示すとおり、世界全体で約 7,795 兆 cf の TRR が見込まれるとしている。



【出所】参考文献(2-2)

図 2.2.1 資源量評価対象のシェールガス・シェールオイル堆積盆

表 2.2.1 地域別シェールガス資源量

地域	Risked Gas In-Place (Tcf)	Risked TRR (Tcf)
北米(米国を除く)	4,647	1,118
米国	4,644	1,161
豪州	2,046	437
南米	6,390	1,431
欧州	4,895	883
アフリカ	6,664	1,361
アジア	6,495	1,403
合計	35,782	7,795

【出所】参考文献(2-2)

同報告書では、各地域の地質情報等をもとに各シェール層の有効面積と層厚、孔隙率他のパラメータを求め、これらより Gas In-Place (GIP : 原始ガス量) を導いた上で、米国における性質が類似したシェール層での回収率想定値を参考として各シェール層に見合った回収率を定め、先の GIP に同回収率を乗じて TRR を求めている。ここで用いられている各種パラメータは実際の生産実績等に基づくものではなく、あくまで初期の想定値であるため、評価の精度は決して高くはない状況である。また、中東主要産油国やカスピ海沿岸諸国、中央アフリカ諸国等は評価対象に含まれておらず、さらに評価対象国であっても未評価のベースンが数多く残っているなど、現時点では世界のシェールガス資源を網羅した評価には至っていない。このため今後、各地域のシェールガス開発の進展と各種情報の蓄積に応じて、資源量評価の結果も大きく変化する可能性が高いとしながらも、いずれにしろシェールガス資源量は、現状の世界の天然ガス確認埋蔵量を上回る規模であり、世界各地域で将来的なポテンシャルが見込まれると評価している。

シェールガス資源が豊富な国としては、米国 (TRR : 1,161 兆 cf)、中国 (1,115 兆 cf)、アルゼンチン (802 兆 cf)、アルジェリア (707 兆 cf)、カナダ (573 兆 cf)、メキシコ (545 兆 cf)、豪州 (437 兆 cf)、南アフリカ (390 兆 cf)、ロシア (285 兆 cf)、ブラジル (245 兆 cf) が上位 10 か国としており、これにベネズエラ (167 兆 cf)、ポーランド (148 兆 cf)、フランス (137 兆 cf)、ウクライナ (128 兆 cf)、リビア (122 兆 cf)、パキスタン (105 兆 cf)、エジプト (100 兆 cf) が続くとしている。今後、天然ガス需要の急増が見込まれる中国等に大きなポテンシャルが期待され、また、在来型の天然ガス資源には恵まれない欧州フランスやポーランド、南アフリカ、南米諸国 (アルゼンチン、ブラジル、チリ、コロンビア、パラグアイ) などにも大きなシェールガス・ポテンシャルが存在するとしている。

米国における急速なシェール開発進展の背景には、米国石油・天然ガス産業の長い歴史の中で獲得された豊富な地質情報と高度な開発技術力および人的資源の存在が挙げられている。また、石油・天然ガス開発を強力にサポートする周辺サービス産業の充実や、石油パイプライン、ガスパイプライン等の石油・天然ガス開発インフラの充実も重要な要因と

されている。これらに加え、石油・天然ガス等の地下資源の鉱業権が土地所有者・個人に所属するという特異な法体系も、米国のシェール開発を加速させた大きな要因であると指摘されている。米国以外の国・地域では、米国で指摘されているこれらシェール開発加速の要因全てが充分に揃っているという状況にはなく、このため、米国発の「シェール革命」が直ちに他地域で石油・天然ガス生産量の急増に結びつく可能性は高くはない見られている。しかしながら、大きなシェール・ポテンシャルを有する上述の各国が、シェールオイル・シェールガスを将来の重要な化石資源と見なし、この開発に取り組む姿勢を維持する限り、米国「シェール革命」に似たような状況が他国・他地域でも一部再現される可能性がある。

2.3 シェールガス開発手法の概要

天然ガス生産業者のシェールガス埋蔵エリアの開発手法は常に進歩している。各埋蔵エリアにおいて、オペレーターは新技術の開発や過去の技術の見直し、サービス会社の新技術の導入等を行っており、これにより坑井開発に要する経費と生産物の価値は増減する。例として、以下にマーセラス地域のシェールガスがどのように開発されているのかを簡単に述べる。

2.3.1 挖削作業

関係機関より許認可が得られた後、掘削するための坑井敷地工事が開始される。マーセラス地域の標準的な坑井敷地は、面積約 5 エーカー ($20,240\text{m}^2$: サッカー場の 2.5 倍) であり、これは 500~1,000 エーカー ($2,024,000\text{~}4,047,000\text{m}^2$) の埋蔵エリアからガスを産出させる為には十分な広さである。また、複数の坑井を同一の敷地から掘削することにより、1 坑井毎の環境影響を大きく減少させることが可能である。敷地工事終了後、50~65 台のトレーラーによって掘削リグが搬入される。2009 年における掘削リグ 1 基あたりの年間掘削本数は 8~12 坑井が一般的であったが、2012 年現在、掘削終了までの工期は地域によってはほぼ半分に短縮されている。

マーセラス地域のシェールガス坑井は敷地から傾斜掘削され、ロケーション範囲の埋蔵エリアに応じて、垂直深度はおよそ 5,000~9,000 フィート ($1,500\text{~}3,000\text{m}$)、水平部の偏距は 3,000~10,000 フィート ($1,000\text{~}3,300\text{m}$) である（図 2.3.1）。一般的な坑井軌道の形状としては、貯留層に入る前に水平部と反対方向に帆のようなカーブをなして掘削される坑跡“Sail Angle”も含まれている。マーセラス地域におけるシェールガス掘削は、一般的に 1 坑井あたり 15~30 日の日数を要する。通常、坑井が掘削された後、掘削リグは同じ敷地内の隣接するロケーションへ数ヤード横滑りして移動される。敷地上のすべての掘削が完了すると、水圧破碎プロセスを開始する前に、掘削リグは敷地外へ移動される。1 つの敷地から掘削される複数の坑井軌道を上から見ると、水平部はお互いに平行となっている^{viii}(2-3-1)

(図 2.3.2)。

坑井が深くなると所定の位置に複数サイズのケーシングを降下し、セメンティングを実施する。ケーシングプログラムは多種多様であるが、一部のオペレーターはコンダクターパイプをセット後に 3 サイズ、または 4 サイズのケーシングを使用する。一般に、24 インチコンダクターパイプを 30~60 フィート (10~20m) の深さにセットし、地表までセメンティングをおこない、次に 200~500 フィート (60~150m) の深さまで掘削後、ケーシング（一般に 16~20 インチ）を降下、地表までセメンティングを行なうことで地表付近の帯水層を遮断・保護する。次に、700~1,200 フィート (200~400m) の深さまで掘削をおこない、ケーシング（一般に 11-3/4~13-3/8 インチ）を降下、セメンティングによって地下水の帯水層と、炭層その他の天然ガスが含まれる浅層からのガス移動を遮断する。この時点でドリルストリングスは厚さ 2 インチの鋼管と厚さ 9 インチのセメントにより帯水層から隔離されることになる。この間の掘削には通常泥水を用いるが、帯水層が存在し、泥水との汚染が懸念される場合は、エア掘削、エアーハンマーまたはエアーモーターを使用して掘削する場合がある。

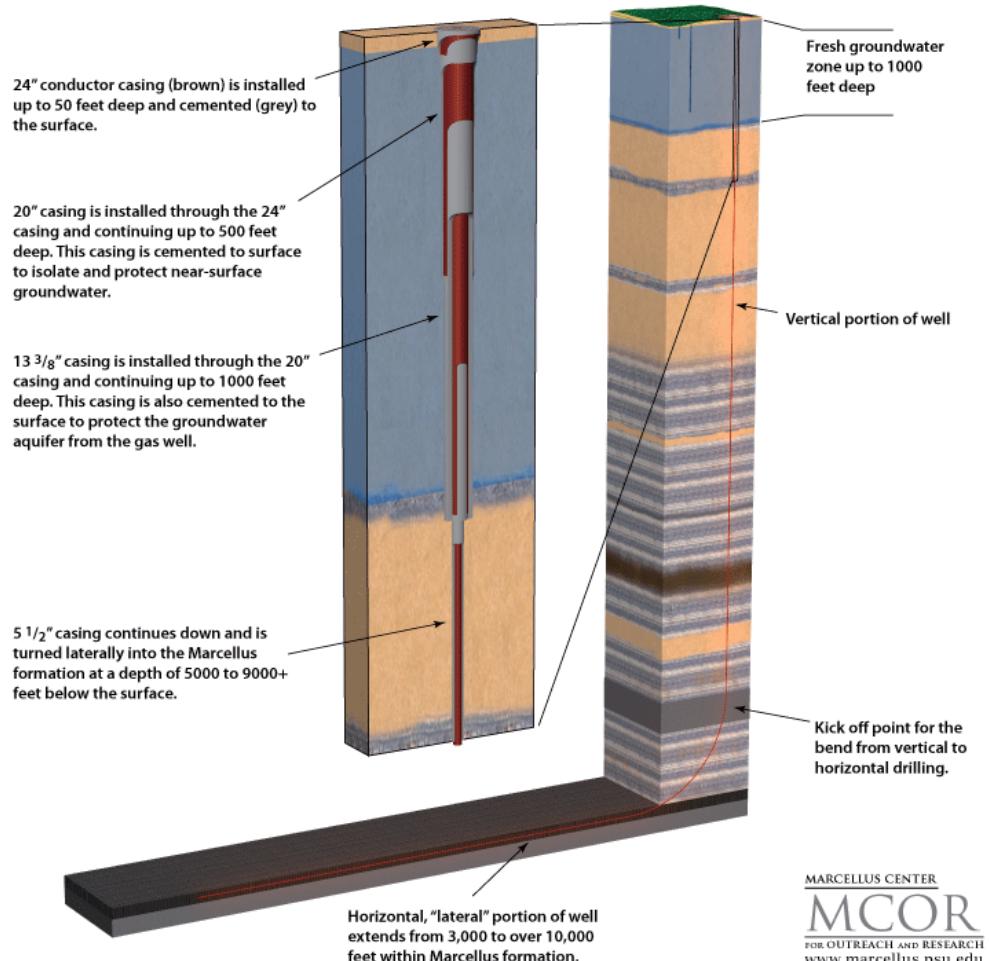


図 2.3.1 マーセラス地域の一般的な坑井概略図（ペンシルバニア州立大学マーセラスセンターOutreach and Research website）

深度 1,000～5,000 フィート(300～1,500m)の間で浅層の石油・ガスや(塩)水を含む地層をシールする必要性がある場合は、8-5/8～9-5/8 インチケーシングを降下することもある。坑井の水平(横方向)部はマーセラス層に沿って水平に掘削される。最終的にプロダクションケーシング(一般に 5-1/2 インチ)を坑底まで降下し、セメンチングを行なう。

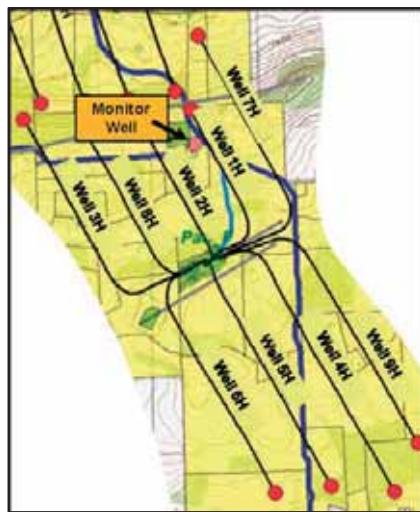


図 2.3.2 マーセラス地域の坑井軌道の例(AOGR, May 2012)

2.3.2 水圧破碎と坑井仕上げ事例

マーセラス地域の坑井で採用されている大規模水圧破碎処理(以降、「フラクチャリング」という)は、密接して配置される多数の装置を要する。装置には、ポンプ車、ミキシングシステム、水・砂およびケミカルの貯蔵タンク、生産流体の受入れタンク、各装置を接続する配管システム、特殊な監視・制御システムが含まれる^{ix}(2-3-2)(図 2.3.3)。坑井仕上げのプロセスの第一段階は、水平部のケーシングのパーフォレーションである。電気式に作動する爆薬が装着されたストリングスを、フラクチャリングを実施する層のケーシング内で爆発させ、ケーシングとセメントに孔を開ける。次いで、フラクチャリング流体は流体中のプロパント(一般的には石英砂粒)とともに、高圧制御下で圧入される。プロパントは流体圧力が開放され、亀裂が閉じ始めた時に亀裂を閉じないように維持する。このプロパントによって保たれた亀裂が、ガスがフローする為に必要な透過性(浸透性)を提供する。



図 2.3.3 フラクチャリングオペレーション中のマーセラスの坑井 (PIOGA)

マーセラス地域のような頁岩層のフラクチャリングでは、一般的に 1 坑井あたり 300 万～600 万ガロンの水を使用する。この水はタンクローリーにて供給するか、場合によっては掘削会社によって建造された大容量貯水池から、地上の配管を通してロケーションへポンプされる。

フラクチャリングは一般的に 1 坑井毎に数日を要し、作業は坑井の底 "つま先" から始まり、坑井の水平部が始まる "かかと" の方まで、水平部に沿った複数の部分において順番にパーフォレーション、フラクチャリングが繰り返し行われる。このような処置は、単一の坑内で 25 箇所以上実施される場合もある。

一時的なプラグは、以前にフラクチャリングしたインターバルと分離させるために、各々のフラクチャリング作業後にセットされ、フローバック前に取り外される^{x(2-3-3)}(図 2.3.4)。同じ敷地内で行われるフラクチャリングでも手順は多種多様である。マーセラス地域でオペレーションしている企業は、仕上げプロセスを最適化するため、フラクチャリング作業の数、ポンプする水量、パーフォレーションの間隔を模索し続けている。企業は、微小地震モニタリングを使用して、亀裂が裸坑からどのように伸長するかを観察し、隣接して作られた亀裂が互いに影響しあうのか否かを明らかにするための検討などに活用している(図 2.3.5)。

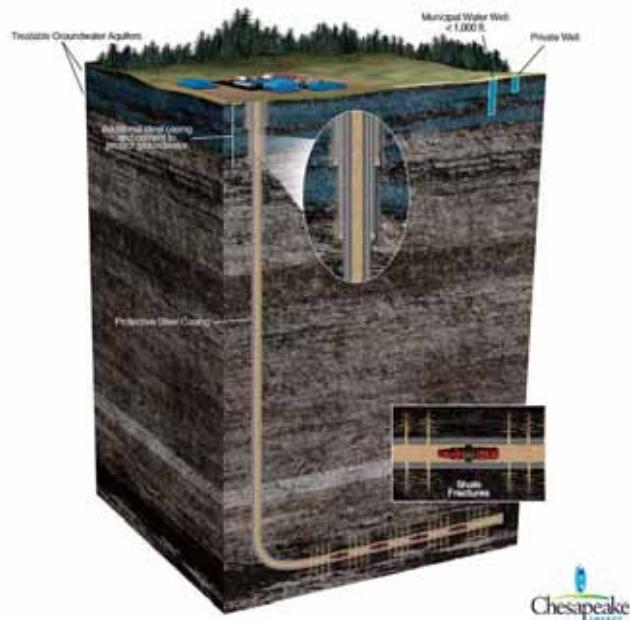


図 2.3.4 水平坑井の側部における複数のフラクチャリング(Chesapeake Energy)

フラクチャリング作業の後、坑井はフローバックコントロールフレアリングプロセスを用いてテストされる。地域によってはガスを市場へ運ぶパイプラインが整備されているので、フレアリングを実施する必要はない場合がある。マーセラス地域では、圧入した水のおよそ 20~25 %はフローバック流体として坑井から産出される。坑井の生涯に亘って更に大量の水が産出されるが、どの程度の量が地表で回収されるのかは現在のところ正確には未解明である。フローバック流体や生産水は、液体炭化水素およびガスを分離した後、調整（洗浄処理）後に再利用するか、または高深度の圧入井へ廃棄しなければならない。幾つかの地層では、フローバック流体の 90%以上は、他坑井のフラクチャリングに再利用される。

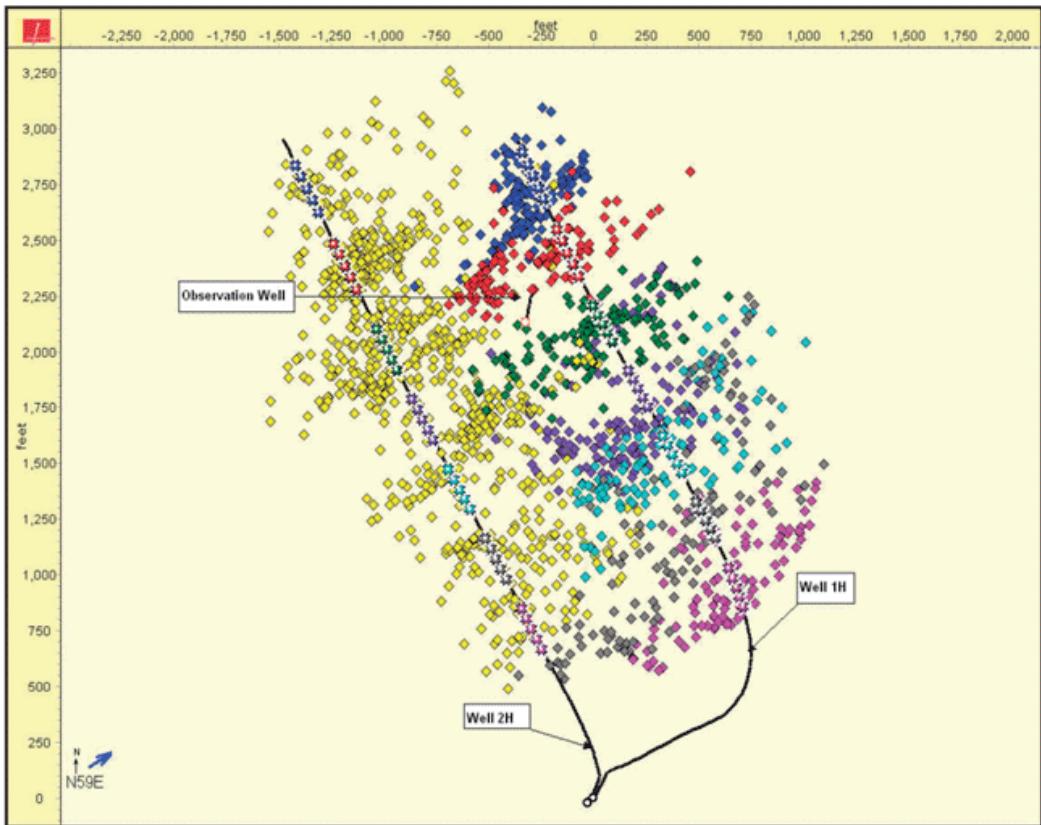


図2.3.5 亀裂は裸坑からどのように発達するか、また、それらは水平側面に平行に隣接して引き起こされた亀裂と影響しあうのかを明らかにする微小地震モニタリングのデータ (AOGM, 2012)

2.3.3 生産作業事例

すべての坑井掘削が終了した後、仕上げ（フラクチャリング）と生産のための準備（坑口装置、パイプライン、地上設備の設置とフローバックの完了）を経て、坑井の生産準備は整う。敷地内の複数の坑井から天然ガスとともに生産される水と液体炭化水素（油やコンデンセート）は、分離された後に敷地内のタンクへ貯蔵される^{xi}(2-3-4)（図 2.3.6）。

敷地内に複数の坑井が存在する場合、各坑井には個別の計量器が付けられることがある。マーセラス地域では多くの場合、ガスは採集ラインを通して中央施設へ送られ処理された後、圧縮処理され販売ラインへ送られる。また、収集した水とコンデンセートはそれらを分離する中央タンク施設へトラック運搬される。実際の敷地の配置は、坑井数、坑井流体のガス・液比、関連する他の敷地や施設との位置によって異なる。最終的に、水は圧入井に送られるかまたは調整（洗浄処理）後に再利用され、ガスは販売ラインに供給され、コンデンセートはパイプラインまたは他の代替輸送（タンクトラック、鉄道車両または荷船）によって製油所へ運ばれる。



A



B

図2.3.6 一般的なマーセラス地域の敷地における複数の隣接したツリー（A）、コンデンセートの貯槽タンクを含む生産処理装置（B）（Go Marcellus Shale.com）

2.3.4 中間処理と輸送

生産された天然ガス流体は、石油・天然ガス鉱業における“中流”セクターと呼ばれる部分で処理される。マーセラス地域の生産流体の性質、乾性ガスまたは湿性ガスのいずれであるかは、埋蔵エリアにより違いがある。ペンシルベニアの南西部ではガスとともに多くの天然ガス液（NGLs）を産出する。液体分（コンデンセート）は坑井サイトか、中央生産施設（図2.3.7）で除去することができるが、ガスからほぼ全てのNGLs（エタン、プロパン、ブタンとイソブタン）^{xii}を取り除くには、液体含有量をさらに大きく低下させることができが可能なガス処理設備へ送らなければならない。

NGLs回収は、大別してリーンオイル設備、冷凍（Refrigeration）設備、深冷（Cryogenic）設備の3種類のいずれかにより行われる。リーンオイル設備では、ガス流体からNGLsを吸収する石油系溶剤が使用され、ブタン、イソブタンおよびそれ以上の重質炭化水素は99%

まで取り除くことが可能であるが、エタンは約 15%程度しか除去できない。エタンの回収率を上げるには、冷凍あるいは深冷設備が必要となるが、冷凍設備ではプロパン等の冷媒を使用してガスを冷却、深冷設備ではさらに膨張タービン等を利用してガスを冷却し、それぞれエタンを含む NGLs 分を液化して回収する。冷凍設備ではエタンの約 85%、深冷設備では 90%以上を回収することが可能であり、いずれについてもプロパン以上の重質炭化水素はほぼ 100%分離可能である。深冷設備がエタン回収の面では最も効果的であるが、設備面・運転面でのコストが高い。どのような NGLs 回収プロセスを採用するかは、元来の天然ガスの組成やパイプライン・ガスの仕様、NGLs／エタンの市況等により判断される。

その後、NGLs は分留設備で成分ごとに分離されて販売される。エタンは主に化学製品製造の原料としてパイプラインで送られる。



図 2.3.7 ペンシルバニア州のマーセラス地域のガス処理施設（Markwest）

重質炭化水素の除去処理後、天然ガス（ほぼ全てメタン）の需要者への輸送準備が整う。米国においては天然ガスパイプラインおよび関連するインフラ（例えば、町の中心にガスを輸送する為に必要な圧力を維持するコンプレッサー）など広大なシステムを要するが、このインフラの大部分は、歴史的に生産地と言われる地域（メキシコ湾岸、テキサス州）から歴史的に消費地といわれる地域（北東部の州）へ天然ガスを輸送するためにすでに整備されていた。しかし、マーセラス地域や北東部地方のウチカ、ロッキー山脈の小規模埋蔵エリアのようなシェールガスの急速な発展は、このシステムを混乱させた。全国各地のガスの流れのバランスを取り戻すために必要とされるインフラへの変更は進行中であるが、関連する大規模な投資および需要と供給の地域的な不確実性のため、前述した変更の実現にはかなりの時間が掛かる事と考えられる。

2.4 シェールガス開発に伴う環境問題と対策

本節では、米国におけるシェールガス開発に関する主要な環境影響と、これに対する現状の対策を概観する。

2.4.1 地表への影響

シェールガスの開発では、主に森林地帯や農地が利用されている。このため、シェールガス開発に伴う坑井エリア、ガス処理施設サイト、パイプラインの敷設路及びこれらの建設のために必要なアクセス道路は、森林環境や農地環境に直接的な影響を与える。その影響として、森林地帯では伐開エリアからの土砂の流出、伐開エリアによる生態系の分断、水系の改変、生物の移動経路の変化や生存する生物種の変化、景観の改変などが上げられる。そのほか、衝突事故、生物の生理的な影響なども考えらえる。

これらの地表への影響は当面の最大の課題で、現在生存している鳥類、哺乳類及び水生生物に影響を与えることになる。森林間に出現する伐開エリアは、鹿や特定の鳥類などには有利となるが、特定の小鳥など、山深い森林に生息する生物の生息場所を奪うことになる。なかでも直線的なパイプラインやアクセス道路の影響が、坑井エリアそのものよりも強い影響を及ぼす可能性がある。

図 2.4.1.1 は、米国地質調査所^{xiii}に掲載されるワイオミング州の Sublette 郡 Jonah gas energy field のランドサット画像で、 64km^2 の範囲を示しており無数の坑井エリアと関連施設が確認される。

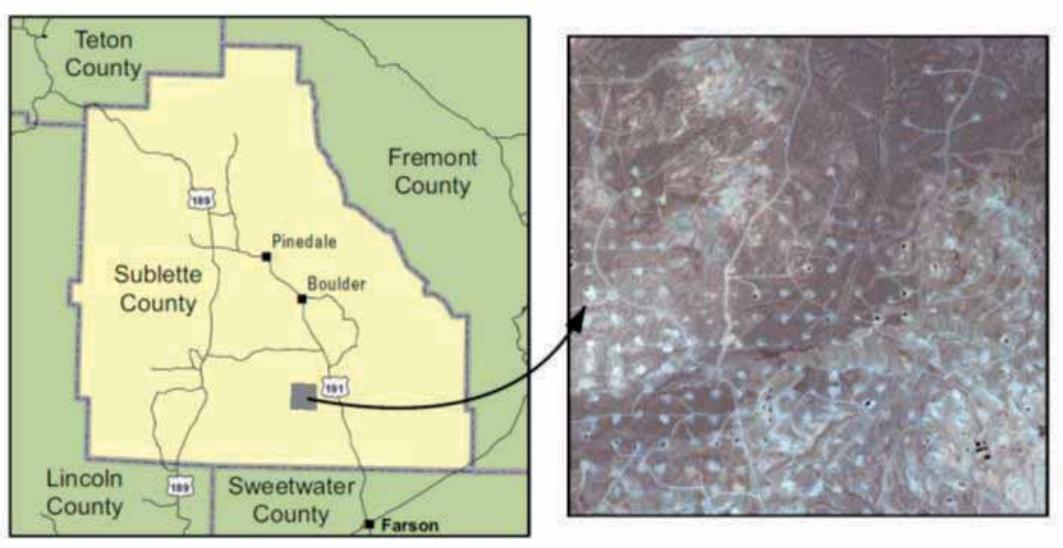


図 2.4.1.1 Jonah gas energy field のランドサット画像

地表への影響の低減には、Multi-Well Pads システムが有効と考えられる。このシステムは、1つのパッドから方向を制御して複数の坑井を掘削するため、坑井数に対して地表の開発面積が少なくて済む。垂直井による開発と、水平井／Multi-Well Pads 開発との比較では、

単一坑井当たりの敷地所要面積は後者で 1/10 以下に削減できたとする例もあり、シェールガス開発にとって地表への影響低減において有効である（図 2.4.1.2）。しかし、サイトによっては 1 パッドあたりの平均坑井数はまだ少なく、マーセラスでおよそ 2.3 坑井であり、今後、より大規模な Multi-Well Pads システムの適用が重要になる。しかしながら、シェールガス開発は、在来型の石油・ガス開発に比べて環境・地表への影響が非常に大きく、例えば、2005～2011 年にペンシルバニアで建設されたパッド数は 2,350 箇所にも上り、そのおよそ半数が農場地帯、残り半数が森林地帯であり、パッドの平均面積は約 2.47 エーカー、道路や再処理施設などの関連施設を含めると約 6.7 エーカーとなっている。

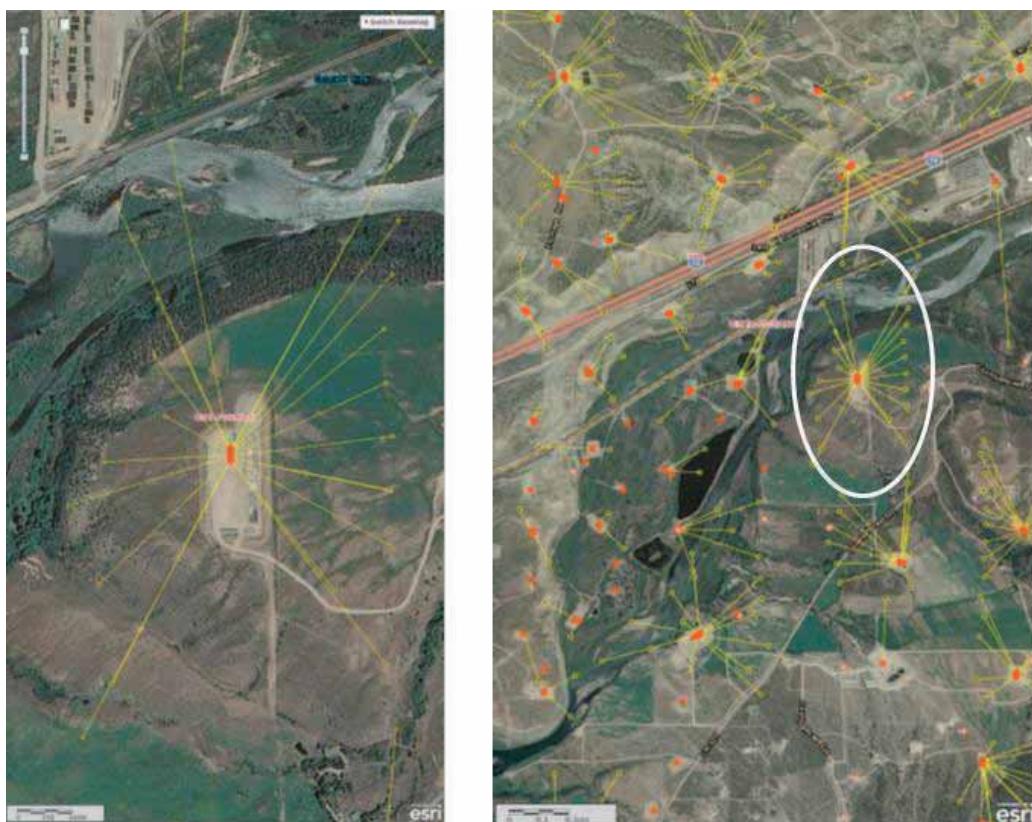


図 2.4.1.2 Multi-Well Pads によるパッド密度の低減は地表への累積的な開発の影響を低減するとされる。^{xiv}

2.4.2 野生生物・生態系への影響

シェール開発に伴い地表状況が変化することによる間接的な影響に加えて、掘削作業及び生産活動（リグの騒音、コンプレッサーの騒音、照明、人口増加）の結果、野生生物の移動ルート、生殖活動の場所、給餌の場所が変更され、より直接的な影響が出る可能性もある。自動車（による移動）やパッドの建設、坑井の掘削、坑井施設の設置工事、パイプライン建設段階に関連する事業活動等により、（事故による）動物の死亡率が上昇する可能性がある。前述の Multi-Well Pads システムの採用は、地表への影響軽減を通じて、生態系

への影響の軽減策としても有効である。同時に、アクセス道路やパイプライン等の建設作業の効率化と作業量の低減が期待され、直接的な事故等による影響の低減にも寄与する。

また、国際金融公社が策定している IFC パフォーマンススタンダードでは、生物多様性の保全(PS6)について規定されている。開発等のプロジェクトが行われる場合、生物多様性及び生態系サービスへの影響を考慮し、著しい影響について特定する必要がある。

優先事項として、まずは生物多様性及び生態系サービスへの影響を回避することに努め、次に影響の回避が難しい場合は影響を最小化すること、また生物多様性及び生態系サービスを回復するための対策が実施されることである。長期にわたり生物多様性及び生態系サービスに影響が与えられる場合は、低減及び管理対策を実施し、モニタリングを実施することが求められる。またこれらの対策のうちに、「生物多様性オフセット」の実施についても考慮しなければならない。

生物の生息地については、「転換された生息地」、「自然生息地」、「非常に重要な生息地」に分けられる。「転換された生息地」は、農業が行われている土地、植林された土地、埋め立て地等であり、開発が行われる場合、生物多様性への影響を最小化し、必要に応じて低減策を実施することが求められる。「自然生息地」は人の手が入っていない土地であり、開発が行われる場合、生物多様性に影響がないように影響の回避、影響の最小化、生息地の回復、生物多様性のオフセットを計画される。「非常に重要な生息地」については、絶滅危惧種等が含まれる生物多様性の価値が高い地域であり、開発自体が非常に困難であるが、開発が行われる場合、負の影響をもたらさない、絶滅危惧種の個体数を減らさない、長期的なモニタリング及び評価プログラムが導入されることなどが規定される。

シェールガス開発に当たっては、IFC パフォーマンススタンダードについても事前に考慮、検討したうえで行われなければならないものと思われる。

2.4.3 地域社会への影響

シェールガス開発や、シェールガス開発に伴う急激な発展は、地域社会に対しても様々な影響を与えることになる。シェールガス開発は雇用を創出し、所得レベルの向上や税収の増加など、地域に利益を与える。一方で、交通量の増加や粉塵、騒音などの問題や、さらにはインフラや公共サービスへの過剰な負担などの問題、不公平な利益分配から生まれるコミュニティの軋轢などの問題も発生する。

シェールガス開発の掘削やフラクチャリングの過程においては、交通量の短期的増加や粉塵や騒音などの問題が発生しやすい。交通量の短期的増加は開発初期 20~30 日の期間に影響が出ることが多いが、長期的に見た場合にも開発区域の交通量は増加傾向にあり、イーグルフォードでは 2009 年から 2012 年で交通量は最も影響が小さい箇所で 24%、最も影響が大きい箇所で 84% の増加があると報告されている^{xxv(2-4-3)}。道路の設計条件以上の車両重量の走行や交通量の増加は、道路表面の損傷の原因となる。シェールガス開発により

道路の損傷が引き起こされた場合、開発事業者と地方自治体の間で補償交渉を行うことになる。道路の損傷への対策として、開発事業者は渋滞緩和のために開発スケジュールの調整や迂回ルートの設定を行う。また、交通量増加、道路の損傷、粉塵や騒音などの長期的影響を最小限にするため、開発事業者は地方自治体と共同でシェールガス開発の初期計画を行っている。さらに、公共団体や地方自治体は、道路損傷防止のために、速度制限や重量制限、渋滞が最小限となる交通パターンへの調整などを行うべく、開発制限や特定区域で工事制限をする条例などを近隣住民との協定により施行することも可能である。その他にも交通問題への対策として、バーネットのダラス・フォートワース空港近辺の開発区域では、水パイplineを整備することで交通量を削減した例もある^{xvi}(2-4-4)。未舗装道路においては、交通量が増えると粉じんの発生が引き起こされるが、散水による発塵防止などの対策がとられる。

シェールガス開発区域においては、掘削リグによる騒音も問題となる。対策としては、掘削リグ周囲に防音壁を設けて騒音を軽減する方法がある。また、掘削技術の向上により、操業計画や掘削位置の自由度が上がっており、多くの地域で採用されている水平掘りの技術を活用することで、インフラや建物、環境に敏感な区域の地下にある天然ガス資源にも遠隔からアクセスすることが可能になっている。

地域社会への影響への実践的な対策は、バーネットのダラス・フォートワース空港近辺や他の都市部での開発区域で発展した。騒音や視覚上の影響を制限するために、掘削現場の隔離について及んだ条例も施行された。郊外の開発区域において24時間連続で削井完了まで操業している開発事業者も、都市部においては掘削現場の隔離や騒音制限、指示灯などの追加措置が要求された特別条例に準じることとなる。指示灯は作業員の安全のため掘削現場を照らすものであり、周辺住居や道路、建物などへの漏れを防ぐために下向きにしたり、カバーを設置したりすることも必要である。これらのBMP(Best Management Practices)は全ての開発事業者に適当なものではないため、ケース・バイ・ケースで適用されるべきものである。反作用を及ぼすこともあるし、あるBMPが環境や安全など他の問題を引き起こすこともある。条例の目的は、地域の生活の質や環境を守りながら、最適な管理の元でシェールガス開発を実施することにある。

シェールガス開発に伴う急速な発展は綿密な計画の元で遂行されなければ、公共サービスにも過剰な負担を与え、住民の生活の質が低下することに繋がる。地域への移住者が多くなると、住居やホテル、駐車場の不足が起こり、さらには医療や教育などにも影響は波及していく。医療においては、医療機関やインフルエンザワクチンなどの資材への需要が増え、供給に懸念が出てくる。教育においては、移住の繰り返しで頻繁な転校が発生するケースが散見され、生徒や教職員の住居不足、ホームレス就学生の増加などの問題も発生する。このような問題に対応するための予算は不足しているが、産官が連携した取り組みも生まれている。医療機関や教育機関、道路設備、消防ボランティア、社会サービスへの寄付やサポート、医療機器を備えた車両の提供、教育プログラムの提供など、地域の要望

に合わせた取り組みなどがある。シェールガス開発区域の急激な成長による影響の程度は、初期の人口密度や成長率、影響緩和のための資本調達に依存するが、突然の変化に対して計画や管理のツールが不十分な地域はブームに踊らされることになる。

不公平な利益分配による影響は測定困難ではあるが、リース期間やロイヤリティ料率、資源や土地の権利、土地の所有者とその他の住民の衝突、地域に還元される金額などの事項が問題として見受けられる。紛争が激しくなると議論そのものが妨げられ、地域のコミュニケーションが崩壊し、誤った情報の増加や投資引き上げ、住民の流出を引き起こす。

このようにシェールガス開発に伴って発生する急激な成長は、地域の既存インフラを酷使することになり、インフラや生活環境、公共サービスなどの様々な面で地域社会に影響を与える。そういった中で開発事業者や地方自治体は、得られた利益の地域への還元や地域の状況に合わせた施策を講じながら、地域の生活の質や環境を守ることのできる開発に取り組んでいる。

2.4.4 地下水系の汚染【地表での漏洩、地下水系への移動】

フラクチャリング流体には、プロパン（砂粒）を含む流体の流れをスムーズにするため摩擦減少剤や各種化学薬品（スケール防止剤、バクテリア殺菌剤等）が 0.5～2.0%含まれており、これらの飲料水層への混入の可能性、地下への残留も大きな懸念事項となっている。また、フラクチャリング廃水は最終的に地下に圧入処分する手法が取られることが多いが、この際、廃水が地下水に混入する可能性が指摘されている。

規制措置の動向

・連邦レベルの規制

表層水や地下水に関する連邦レベルの規制は、飲料水の水質保護の法律 Safe Drinking Water Act(SDWA)が制定されており、飲料用の水源を汚染するような地下注入は規制されている。また、廃水を地下に圧入しない場合、水質汚濁の規制に関する法律 Clean Water Act (CWA) により、放流計画の適切性などを管理している。

これらの法律は旧来からあるもので、フラクチャリング自体を直接規制する連邦政府レベルの規制は現段階では制定されていない。しかしながら、EPA（環境保護庁）は 2009 年、米議会下院よりフラクチャリングの飲料水源への影響調査の指示を受け、2011 年より同調査を開始、2012 年 12 月に同調査の中間報告を公表した（第 4 章 No.10 参照）。中間報告では、シェール開発が水源汚染の直接の原因になったとの確証的事例はないが、同調査結果の最終報告は 2016 年末頃に公表される予定であり、今後その内容が注目される。

・州レベルの規制

各州により規制レベル、範囲に違いはあるが、「学校などの建物からの坑井の一定距離確保の規制」、「飲用井戸からの一定距離確保の要件」、「ケーシングパイプおよびセメンチン

グの健全性に関する規制」、「表層ケーシングのセメント規制」、「フラクチャリングに使用する化学薬品の開示」、「廃水が漏出防止のためのピットの高さ規制」等多くの州で規制されている。この他、州ごとに様々な規制がおこなわれている（第4章No.1参照）。

・開発事業者の取り組み

民間企業による積極的な情報開示もおこなわれており、フラクチャリング開発の最大手コントラクターであるハリバートン社では、ホームページで掘削サイト別に使用している物質の情報開示を行っている。また、フラクチャリングに使用する薬品も、食品添加物のようなより安全性の高い成分を利用したものも開発されている。

米国石油協会（API）では、シェール開発に係るベストプラクティスをまとめ、詳細な運用マニュアルや技術ガイダンスの提供を行なっている。

開発初期には、弱小開発業者による坑井ケーシングの施工不良、施工手順の未確立などからさまざまな環境問題が取りざたされてきたが、現在では、開発計画の情報開示、施工、管理の手法が確立されてきており、安全性は増加していると思われる。

2.4.5 淡水使用量とその規制および動向^{xvii}(2-4-5), ^{xviii}(2-4-6), ^{xix}(2-4-7)

シェールガス開発では掘削およびフラクチャリング工程で水を使用する。坑井の深さにもよるが、掘削に使用される水量は1坑井あたり250~2,300m³、フラクチャリングでは3,400~30,000m³の水を使用するとされる。テキサスやロッキーマウンテンなどの乾燥地域では、フラクチャリングにより地下水や表流水を大量に使用すると、農業用、畜産業、生活用および産業用の水が不足し、水単価に影響を与える可能性がある。そのため、シェールガス開発における水の大量使用がクローズアップされている。

表2.4.5.1に各種エネルギー源を発電所で使用できる状態にするまでに必要とされる水の使用量を示す。シェールガス開発で使用する水量は単位エネルギー当たり比較すると、他のエネルギー源に比べ決して高くはない（太陽光発電や風力発電を除く）。一方で、シェールガス開発では掘削とフラクチャリングという特定の工程で大量の水を使用する。この短期間で使用する大量の水の水源に、淡水を使用することが課題であり、この工程における淡水の使用量削減が求められている。

このような大量の水の使用は規制により制限される場合がある。多くの州がシェールガス開発の認可に当たり、流域からの取水がどの程度であり水循環や生態系に影響を与えるかの環境影響評価を求めている。地域によってはサスケハナ水源委員会やデラウェア水源委員会等の委員会が取水を管理している。2011年、ニューヨーク州は1日あたり380m³以上の水を使用するには許可証を必要とする規制を設けている。

ペンシルバニア州では作業当事者は坑井の掘削に先立ち、ペンシルバニア州環境保護部の承認が必要となる。この承認のための申請では坑井の位置、坑井と炭層の距離、表流水

等の水源との距離を示す地図を提出する必要がある。掘削に関する環境規制の順守を保証するための契約もなされる。許可にあたっては、坑井の 300m 内にある飲料水源の所有者に加え、坑井の土地の所有者への通知が必要とされる。

フラクチャリングで使用された水が地表に戻れば（フローバック水）、適切な水処理を行うことでフラクチャリングに再利用できる。ただし、地表に戻る水量は使用量の約 5~50%（マーセラスでは 20%）とされており、補給水が必要である。シェールガス開発企業は淡水使用量の削減のために、淡水は主として表層の掘削に使用し、フラクチャリングには生産水やフローバック水、さらには他の産業排水や汲み上げた塩水の使用を進めている。また、貯水池をつくり、雨水を貯めたり、他の産業や農業に影響が出ない時期に表流水を貯めて使用したりしている。

マーセラスの掘削エリアは例年は水が豊富だが、2011 年に記録的な干ばつがあった。そのためシェールガス開発企業のアパッチ社は掘削を縮小せざるを得なかった。この例が示すように、取水が困難かつ高コストになっていく可能性が現実になり、企業は代替手段を探している。例えば、アパッチ社では生産水をフラクチャリングに使用することに成功している。

その他の新たな試みとして、フラクチャリング水の代替として二酸化炭素や LPG の検討もなされている。経済性のある代替流体を見つけることができれば、水の大量使用に関する問題を解決でき得る。

表 2.4.5.1 各エネルギー源が必要とする水の使用量

エネルギー源	単位エネルギー当たりの水使用量, L / GJ	水使用量に含む工程
シェールガス (チェサピーク ; バージニア州)	3 - 12	掘削、フラクチャリング 各種処理
在来型天然ガス	4 - 11	掘削, 各種処理
石炭	7 - 29	採掘, 洗浄
石炭 (スラリー輸送)	47 - 115	採掘、洗浄 スラリー輸送
原子力 (ウラン生産)	29 - 50	採掘、各種処理
シェールオイル (チェサピーク ; バージニア州)	29 - 69	掘削、フラクチャリング 各種処理、精製
在来型石油	29 - 72	抽出、生産、精製
合成燃料 (石炭ガス化)	40 - 93	採掘、洗浄、合成
オイルシェール合成原油	79 - 201	抽出/生産、精製
オイルサンド合成原油	98 - 245	抽出/生産、精製
合成燃料 (フィッシャー・トロプシュ法)	147 - 216	採掘、洗浄、 石炭ガス化/液化
石油増進回収法 (EOR)	76	抽出、生産、精製
バイオ燃料 (とうもろこし、大豆)	> 9000	原料生産、各種処理

2.4.6 誘発地震

一般的に地震（Earthquakes, Seismic Events）という用語は、ある程度のエネルギー規模以上の地震かつ人体が揺れを感じる程度の規模のいわゆる有感地震を指しており、結果として社会生活に影響をもたらすほどの大きなエネルギーによる災害をイメージさせていることが多い。しかし、同じエネルギー（マグニチュード）規模の地震であっても、震源位置から人間の活動域までの距離により、有感地震の場合もあれば無感地震の場合もある。また無感地震の中でも微小地震（マイクロサイスマック、Microseismic）と呼ばれる、マグニチュードが 0 より小さくマイナスの値を示す小さなエネルギーの地震も含まれており、敏感な地震計によりのみ観測されるが、この振動が人間の社会活動に影響を与えることは考え難く、科学的に振動現象を表現している用語である。ところが同じ地震と言う単語が、2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震のよう巨大エネルギーによる大災害をもたらす振動に対しても、微小地震と定義されるような測定することも難しい非常に小さなエネルギーの振動も区別なく使われている用語であることに注意しなければならない。

誘発地震（Induced Earthquakes, Induced Seismic Events）と言う用語も、誘発される振動が、社会活動に影響をもたらす程度の被害を生じる大きなエネルギーの振動を励起させた場合と、地中深くの岩石中に微小な割れ目を発生させる程度の小さなエネルギーの振動を励起させた場合の違いに注意が必要である。科学的な表現における地震・誘発地震の場合は非常に微小なエネルギーの振動も含めて広い意味での振動を呼称しているが、社会科学的に意味する地震・誘発地震は少なくとも人体が揺れを感じる程度以上のエネルギーによる振動を呼称していることが普通である。

人工的な活動により励起された誘発地震活動（Induced Seismicity）は 1920 年代より知られており、特に世に知られたのは、米国アリゾナ・ネバダ両州の国境に位置するコロラド川に 1938 年に完成したフーバーダムへの貯水作業との相関関係が明確となった地震活動である。その後、ダムや貯水湖への貯水以外にも、鉱山開発や土木建設に伴う発破作業、地下核実験、およびエネルギー開発に伴う液体の地層圧入・還元などと相関のある地震活動も誘発地震として考えられている。

シェールガス開発を含むエネルギー開発に伴うと考えられる誘発地震は、液体の地層圧入・還元より地中の応力場に変化を及ぼしたことにより、最終的に地震断層を動かす結果につながったと考えられているが、現在も研究対象となっている程、その発生メカニズムは簡単ではなく、正確に解明されているとは言えない。ただし例外があるものの、これら誘発地震のほとんどはマグニチュード 3 以下とエネルギー規模は小さく、ほぼ無感地震の範疇であり、微小地震（マイクロサイスマック）と言われている。また誘発地震は、過去に人的被害や人工構造物への被害などをほとんど発生させた事例はないと知られているが、

皆無であるとは言えないことに社会科学的な注意が必要である。

この 10 年間で急激にシェールガス開発が進められた米国においても、資源開発に関係していると考えられるいくつかの誘発地震が報道され、人的被害も人工構造物への被害も発生していないにも関わらず、地震を誘発したとして大きな注目を浴びた報道がなされている。このような状況において、その対応に迫られた米国政府は、2010 年に全米研究評議会（NRC; National Research Council）により、シェールガス開発を含むエネルギー開発に伴う液体の地層圧入・還元などと相関のある誘発地震活動に対する評価委員会が臨時に構成され、14 ヶ月の作業の末に 2012 年 6 月に報告書をまとめている。

前述の報告書は、最後に以下の通りまとめられており、これが現在の誘発地震についての考えた方をまとめているということができる。

今まで米国内において多数のエネルギー開発に伴う液体の地層圧入・還元などの作業が実施されているが、有感地震を励起したと分類される報告は極く少数である。有感地震を励起したケースの、地下の各種パラメータや作業に用いられた各種パラメータは測定されており、地震発生メカニズムについてはある程度判明しているところであるが、地下の複雑な物性構造を正しくモデル化できていないことから、励起された地震の規模とタイミングについては不明である。米国においては石油天然ガス開発に伴う誘発地震に関する規定書（プロトコル）は整備中であるが、規定すべきことは以下の 4 点となる。

- ・ 対象フィールドに関する十分な地下情報および操業情報を得ること
- ・ 十分な観測密度による地震モニタリングを実施すること
- ・ 操業およびモニタリングについて十分な情報開示をすること
- ・ 保安規定を整備すること

2.4.7 挖削カッティングスと NORM

頁岩にはウラン、トリウム、カリウム、ラジウムのような自然発生する放射性物質(NORM)が含まれる。これらの放射性物質は低レベルの放射線を出しているが、それらは人体に影響があるものではない（例えば頁岩の表面露頭）。生産工程の中で濃集される NORM は Technologically - Enhanced または TENORM と呼ばれ、この TENORM は生産流体の処理過程で取り除かれ、スラッジやスケールとして濃集して生産パイプラインや生産施設(セパレーター、パイプ、TBG、フィルター)に蓄積する。

オイル・ガスフィールドの労働者が生産設備を清掃する際や、清掃業者が生産設備を清掃する際に NORM は潜在的なリスクとなる。NORM の被爆から労働者や清掃業者を守るために訓練も実施されている。

石油業界は連邦機関および州機関による一般放射線基準に従っており、この基準は環境保護局のガイドラインが基になっている。その他、公共への放射を制限するために施設の機器を扱う事、一定濃度以上の NORM を含む材料を扱う事、NORM の処理を行うにはライセンスが必要である。NORM 含有物の処分場所、もしくは掘削カッティングが山積みされている場所で働く労働者が、NORM によって被爆する前に適切な規制をすべきである。また NORM が高濃度で濃集している場合は、適切な方法で処分されるべきである。

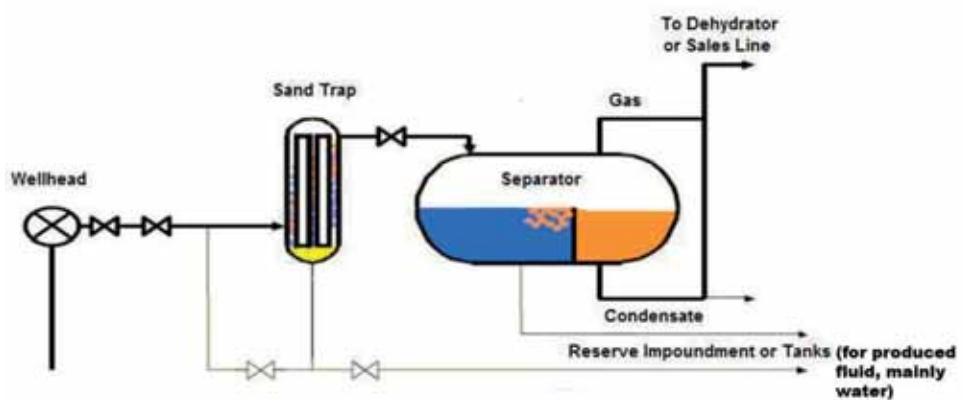
2.4.8 大気汚染

シェールガス開発中に問題となる大気汚染の発生源は、以下に示す通り 4 つのカテゴリーに分類することができる。

- 1) 坑井基地やアクセス道路を造成する機材および装置の運転に伴う排気ガス、更に機材を輸送するトレーラー等から排出される排気ガスなどがある。これらの排気ガスは、主にディーゼル燃料の燃焼によるもので、NOx や VOC（揮発性有機化合物）、微粒子も含まれている。
- 2) フローバック水に含まれるメタンも大気汚染源となっている。
- 3) 坑井基地へのアクセスのために作られた砂利道から舞い上がる微粒子、更に水圧破碎時のプロパン取扱い時に発生するシリカ粉塵など。
- 4) バルブ、コンプレッサー、ブローダウンなどで放出されるメタン、石油タンクから排出される VOC または BTEX（ベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、キシレン）など。

これらの内、フローバック水に含まれるメタン、VOC などについて、EPA（米国環境保護局）は、2012 年 4 月に、大気浄化法（Clean Air Act）に基づく汚染基準を改定し、2015 年から完全施行される^{xx}(2-4-8)。具体的には、2015 年 1 月以降に設置されるシェールガスの坑井には、図 2.4.8.1 に示す RECs（Reduced Emission Completions）装置の設置が義務付けられる。既に、ワイオミング州やコロラド州では施行されている。

RECs 装置では、フローバック水から VOC やメタンを回収し、有価物であるメタンやコンデンセートは販売される。2000 年頃から使用されており、2000 年から 2009 年の期間での REC で回収されたメタンは、200MMcf から 218,000MMcf に増加した。これは、ガス単価を \$7/MMcf と仮定すると、15 億\$の增收に相当する^{xxi}。RECs 装置の導入費用の試算として、設備費 50 万\$、運転費 12 万\$と想定されており、ガス単価が \$3/MMcf としても、単純投資回収期間は 6 ヶ月と見込まれる。図 2.4.8.2 は可搬型 RECs、図 2.4.8.3 は設置型 RECs である。



Temporary, Mobile Surface Facilities, Adapted from BP

図 2.4.8.1 REC_s (Reduced Emission Completions) 装置のプロセスフロー^{xxii}



図 2.4.8.2 可搬型 REC_s (Reduced Emission Completions) 装置



図 2.4.8.3 設置型 RECs (Reduced Emission Completions) 装置

2.4.9 気候変動・温暖化影響

IPCC(気候変動に関する政府間パネル)第5次評価報告書 第1作業部会報告書^{xxiii}(2-4-11)では、気候システムの温暖化には疑う余地がないとされており、大気中の二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化二窒素濃度(N₂O)は、少なくとも最近80万年間で前例のない水準にまで増加していることが明らかにされている。また、気候システムに対する人間の影響は明白であるとされ、気候に対する人為的影響は、大気と海洋の温暖化、世界の水循環の変化、雪氷の縮小、世界平均海面水位の上昇、およびいくつかの気候の極端現象の変化において出現していることが指摘されている。そして、気候変動を抑制するためには、温室効果ガス排出量の大幅かつ持続的な削減が必要であると述べられている。このように、気候変動は着実に進行し、その抑制には温室効果ガスの排出量の削減が必須である。

石炭のような他のエネルギー源に対する天然ガスの気候変動への相対的な寄与を評価する取り組みとして、探査から最終用途である燃焼までの全排出量を対象としたライフサイクルシステム解析が行われてきた。温暖化の効果を表す指標である放射強制力を考えると、現在の大気組成における1分子あたりの放射強制力ではメタンは二酸化炭素の約25倍といわれている。このようにメタンは二酸化炭素よりも強力な温室効果ガスなので、燃焼点で石炭から排出される二酸化炭素を削減しても天然ガスの生産・輸送において排出されるメタンによって相殺されてしまう。これまでの多くの研究によれば、シェールガス開発にお

けるメタン排出量算出の際に重要な点は、坑井の仕上げや生産活動の間に大気中に放出されるメタンの体積をより精度良く見積もることであると結論付けられている。そして現在、天然ガスバリュー・チェーン全体を通して放出される厳密なメタン量をより正確に評価する取り組みが進行中である。

例えば、天然ガスの生産・輸送システムを通じたメタン排出量の計測に関する主要な一連の研究が進められている。テキサス大学オースティン校は、環境防衛基金（EDF）と生産企業9社（Anadarko Petroleum Corporation、BG Group plc、Chevron、Encana Oil & Gas (USA) Inc.、Pioneer Natural Resources Company、SWEPI LP (Shell)、Southwestern Energy、Talisman Energy USA および XTO Energy : ExxonMobil の子会社）からなるグループからの支援を受け、この取り組みを牽引している^{xxiv} (2-4-12)。2013年9月に初めて刊行された一連のレポートでは、水圧破碎坑井におけるオペレーション完了までの期間のメタン排出量に関する広範な観測に焦点が当てられている。この研究では坑井パッドにおいて初めて直接メタン排出量観測が行われている。合衆国を横断する190の天然ガス生産現場における観測から、水圧破碎坑井の仕上げにおいて大多数がメタンの排出を99%削減する前述のRECs装置を配置していることがわかった。この装置によって、坑井仕上げからのメタン排出量は、2013年4月に環境保護局（EPA）から発表された2011年の国の排出見積もりよりも97%低くなっていることが確認されている。また、この研究では、機械プロセスを制御するためのニューマチックデバイスのうち、ある種のデバイスからの排出量は、現在のEPAの見積もりよりも30%から数倍高いことも示されている。ニューマチックデバイスと設備からの漏出を併せたメタンの排出量は、天然ガス生産における国の排出量の見積もりの約40%に達することである。さらに、2013年9月後半から2014年の早い時期まで、この研究の第2フェーズとして、環境防衛基金（EDF）、Anadarko Petroleum Corporation、BG Group plc、Chevron、Encana Oil & Gas (USA) Inc.、Pioneer Natural Resources Company、SWEPI LP (Shell)、Southwestern Energy および XTO Energy の資金的支援を受けて、追加のデータを取得することが計画されており、天然ガスのサプライチェーンのうち、ここで示した以外の部分についてのメタン排出に関する研究成果は、この1、2年の間に報告されると思われる。

なお、米環境保護局（EPA）は2012年4月、天然ガスや原油の掘削時に出る大気汚染物質の排出規制を2015年1月から完全施行し、坑井仕上げ時のRECs装置の設置が義務付けられるとしている^{xxv} (2-4-13)。EPAによれば、この規制によって工業分野から出されるメタンに関しては、およそ40%に相当する100万～170万トンを減らすことができるとされている。なお、この規制は天然ガスの産出を遅滞させることなく導入できるとしている。

2.5 環境影響への対応と提案・実用化されている水処理システム

前節では、米国におけるシェール開発に伴う主要な環境影響とその対策について概要を記載したが、シェール開発は過去10年弱の短期間で急速に進展したことから、連邦・州とともに行政や地域社会の対応が開発のスピードに追従できていなかった部分がある。古くから石油・天然ガス鉱業が主要産業の一つであったテキサス州、オクラホマ州、ルイジアナ州、アーカンソー州等では、シェール開発は従来の石油・天然ガス開発の延長線上に位置付けられ、行政・地域社会ともに大きな混乱を招くには至っていないものの、石油・天然ガス産業に馴染みのないその他地域（ニューヨーク州、ペンシルバニア州等）では、行政・地域社会に多少の混乱をもたらしてきた側面がある。現在、EPAが進めているフラクチャリングの飲料水源・水質への影響調査に代表されるように、連邦レベルでも州レベルにおいても、シェール開発に伴う環境影響に関する各種調査が進行中であるが、主要な環境影響リスクに対する現状の対策の方向性は表2.5.1のようにまとめられる。開発事業者側はシェール開発に対する一層の理解促進に向けて、各種規制等の遵守はもとより、行政・地域社会との事前協議や情報開示等を通じた社会合意の形成に努めることが肝要である。

表2.5.1 主要環境影響リスクと対策の方向性

環境影響項目	主要リスク	対策（規制等）の方向性
水質汚染	<ul style="list-style-type: none"> ・坑井を介した浅水層へのブラック流体／フローバック流体等の漏洩 ・断層等を介したシェール層から浅水層へのブラック流体の漏洩 ・地上におけるブラック流体／フローバック流体の不慮の漏洩 ・地上におけるブラック流体／フローバック流体の故意の廃棄 	<ul style="list-style-type: none"> ・坑井インテグリティ試験／認証取得手続きを含む坑井作業基準の導入 ・ブラック流体の化学組成開示義務 ・坑井作業前（ベースライン）および作業後の地下水水質試験 ・水質汚染時の対応計画策定 ・地表への排水のTDS濃度規制
ガス移動	<ul style="list-style-type: none"> ・坑井を介した浅水層へのガス漏洩 ・断層等を介したシェール層から浅水層へのガス漏洩 	<ul style="list-style-type: none"> ・坑井インテグリティ試験／認証取得手続きを含む坑井作業基準の導入 ・ガス漏洩時の対応計画策定
大気汚染	<ul style="list-style-type: none"> ・坑井仕上げ作業中の坑口装置あるいはコンデンセートタンクからの VOCs の逸散 	<ul style="list-style-type: none"> ・RECs の導入 ・タンクへの VOC 回収装置設置 ・低エミッション型の機器導入（生産施設／配管／バルブ等）
誘発地震	<ul style="list-style-type: none"> ・ブラック流体等廃棄のための圧入井への高圧圧入あるいは既存断層近傍への圧入等 	<ul style="list-style-type: none"> ・圧入圧力の制限 ・地質情報が豊富な地域のみへの圧入許可の公布
交通・騒音等	<ul style="list-style-type: none"> ・シェールガス関連機材・インフラの移設等に伴う周辺住民への騒音・交通面での悪影響 	<ul style="list-style-type: none"> ・自治体当局と事業者間の作業内容・作業時間帯等に関する事前の合意 ・防音対策等の導入義務化 ・条件付用途地域の設定
その他全般	<ul style="list-style-type: none"> ・リスク全般 	<ul style="list-style-type: none"> ・シェール開発の禁止・一時凍結

また、各種の環境影響懸念のうち、米国における現状の最大の関心事は、前述の2.4.4項および2.4.5項で指摘したフラクチャリング流体等の漏洩による地下水・表層水などの水質汚染、および貴重な水資源をフラクチャリング等で大量使用することへの懸念である。これらの環境影響懸念を軽減すべく、フラクチャリング流体や坑井産出水を適切に処理し、他坑井でのフラクチャリングに再利用する、あるいは法規制に則って廃棄処分するための水処理システムの開発が進められている。以下では、米国を中心として提案・実用化されている多様な水処理システムについて紹介する。

2.5.1 提案・実用化されている水処理システム^{xxvi(2-5-1), xxvii(2-5-2)}

シェールガス採掘において、特に水処理が必要とされているのは Flowback と Ongoing Produced water（図 2.5.1 参照）の環境への排水、あるいは再利用における処理と考えられている。

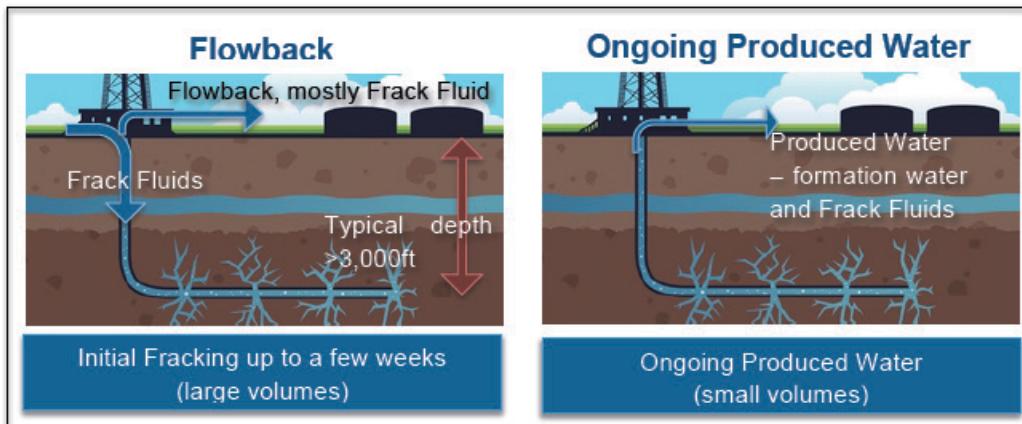


図 2.5.1 Flowback と Ongoing Produced water

本項では、同排水をまとめて Produced water と定義する。

現状の Produced water の主たる処分方法は次のとおりである。

- (1) 公共水面（河川等）への排水
- (2) 工業用、または公共水処理場への排水
- (3) 枯渇した油井、ガス井等、あるいは帯水層に圧入
- (4) フラクチャリングに再利用

(1)、(2)については、現状では州レベルの規制をクリアする排水処理が必要となる。現在は(3)が一般的なようだが、シェールガス開発はこれまでに石油・ガス生産が行われなかつた地域でも進められており、地下圧入用の還元井が十分にないことが多いため、しばしば帯水層への注入が行われている。環境保護団体はこれが飲料水用水源に与える影響を強く懸念しており、これが Marcellus シェールの一部が含まれるニューヨーク州の州議会における 2010 年末の開発凍結法案の可決に繋がったと考えられており、今後は他の地域、あるい

は米国外においても、規制強化や開発停止／減速への動きに広がる可能性が懸念される。

この様な背景から、環境への影響回避と水の確保の両面でメリットが期待できる(4)の方が注目されており、既に一部で実用化されていると共に、様々な取り組みが行われている。

本項では、Produced water の再利用にフォーカスを当て、その性状や再利用基準、実際に用いられている技術・システムなどを紹介する。

2.5.2 Produced Waterの再利用

Produced water を再利用するために必要な水処理の主要なポイントは次の 3 点である。

- (1) 塩分濃度の低減
- (2) 浮遊固体分 (TSS : Total Suspended Solid) の除去
- (3) スケール生成物質 (TDS : Total Dissolved Solid ほか) の除去

(1)は様々な添加剤の作用の妨げとなること、地中における地科学的反応で個体が析出しガス流路を閉塞する恐れがあること、機器腐食の温床となることなどが理由である。(2)はガス流路の閉塞と関連するほか、摩擦低減剤の効果が弱まることも警戒している。(3)は坑内や地層中でスケールが付着し、岩石の孔隙やガス流路の閉塞をもたらすためと考えられている。

(3)において処理すべきスケール生成物質には、Produced water に溶解している自然界の放射性物質 (NORM : Naturally Occurring Radioactive Material) も含まれる。但し、Produced water に地下の放射性物質が溶解することはシェールガス開発特有の問題ではなく、溶解している放射性物質の強度もそのままであれば健康には全く問題がないレベルである。しかし、Produced water の再利用によりその濃度が上昇すると、水に対する溶解度の限界を超えスケールとなって沈積する恐れがある。これによりある程度の放射線源となってしまうことを警戒している。

上記に上げた 3 つのほか、副次的に必要な処理としては次の 4 点が挙げられる。

- (1) 添加したポリマー (摩擦低減剤) の除去
- (2) 油・グリース分のコントロール
- (3) 全有機物炭素 (TOC : Total Organic Carbon) の減少
- (4) 微生物・細菌のコントロール

但し、Produced water の再利用に求められる水質は使用する添加剤によって異なり、また添加されている薬剤の影響でProduced water 性状は一定ではなく時間とともに変化することが知られている。これらについて次の項で説明する。

2.5.3 Produced Waterの性状

Produced water のフラクチャリング流体としての再利用に関する管理フローを図 2.5.2 に示す。

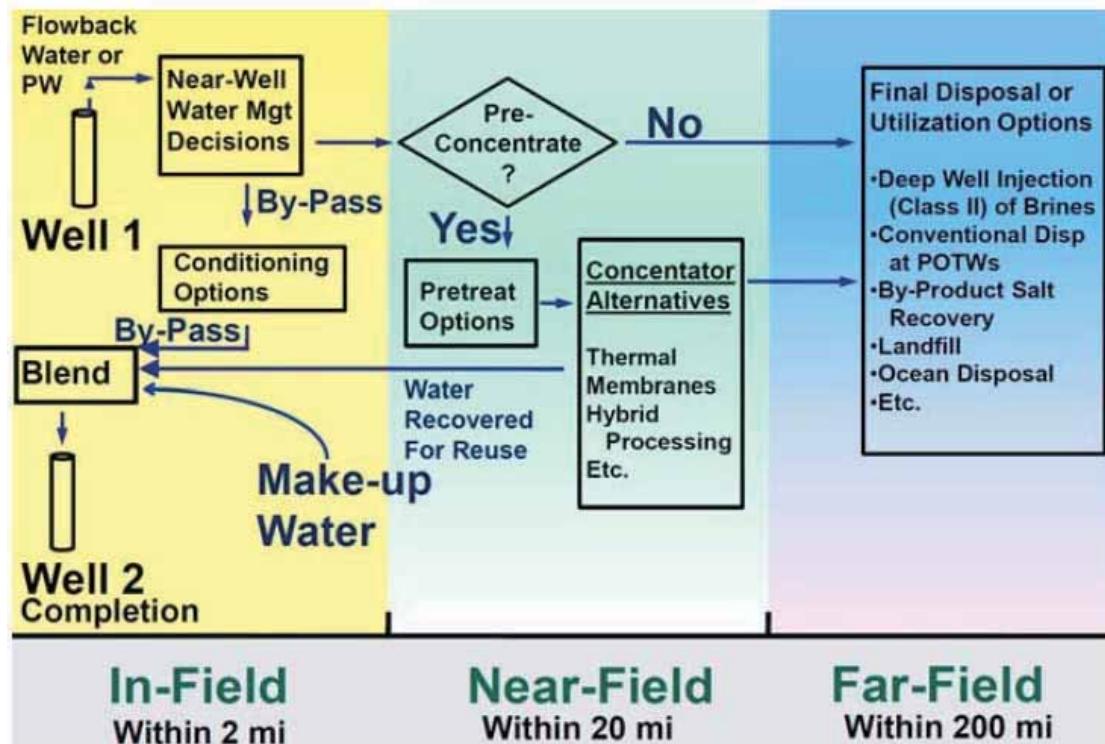


図 2.5.2 Produced water の再利用に関する管理フロー

この図によると Produced water を処理せずそのまま次のフラクチャリング流体に用いる場合もあるが、その判断基準に関する情報は現在のところ得られていない。また、Produced water 性状は一定ではなく、時間とともに変化することにも留意が必要である。経時変化の例を図 2.5.3、図 2.5.4 に示す。

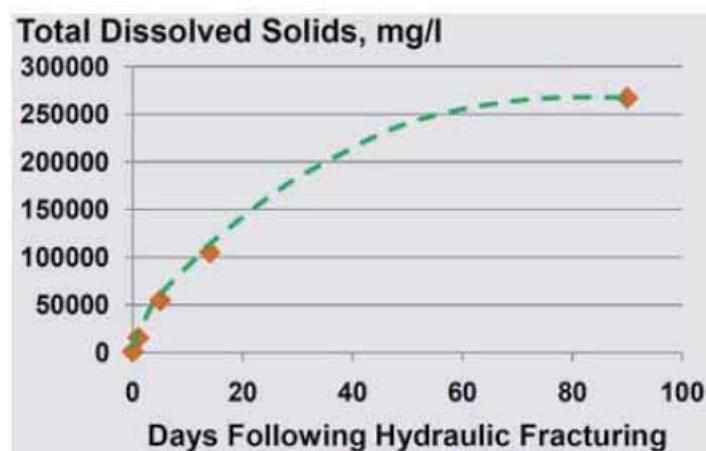


図 2.5.3 Produced water 中の TDS の経時変化

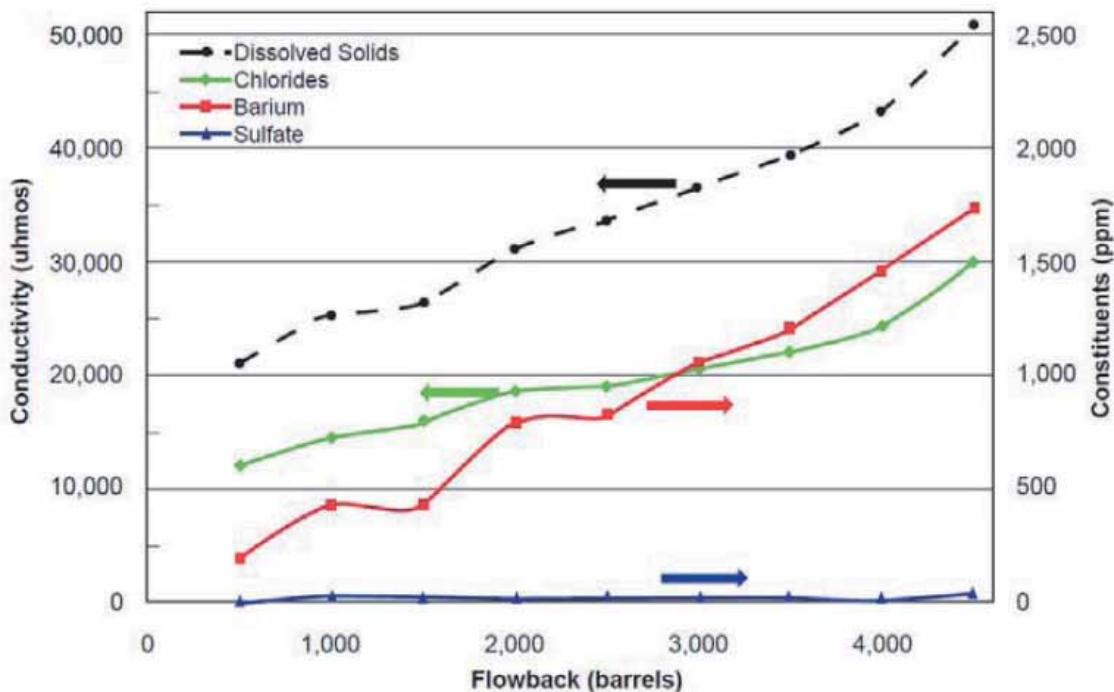


図 2.5.4 Produced water 性状の経時変化

図 2.5.3 は TDS の変化であり、横軸はフラクチャーリング後の日数である。実際のシェールガスフィールドでのデータであるが、具体的なフィールド名は不明である。図 2.5.4 は TDS のほか、塩素・バリウム・硫化物の経時変化であり、Marcellus シェールでのデータである。横軸は図 2.5.3 と異なり、累積の Produced water 量である。これらの図から、Produced water 中の様々な成分は一般に時間とともに増加するが、成分毎、あるいはフィールド毎にその様相が異なると考えられる。

次に、Pennsylvania Marcellus Shale における排水規制値(表 2.5.2)と、典型的な Produced water の水質（表 2.5.3）を示す。

表 2.5.2 Pennsylvania Marcellus Shale における排水規制値

Contaminant	Limit (mg/L)	
Total Solids	Dissolved	500
Sulphates		250
Chloride		250
Barium		10
Strontium		10

表 2.5.3 典型的な Produced water の水質

1. Organics	Units	Concentration Range
Volatile Organic Compounds (VOCs)	mg/L	0-10
Semi-volatile Organic Compounds (SVOCs)	mg/L	0-100
2. Inorganics	Units	Concentration Range
Total Suspended Solids (TSS)	mg/L	200-1000
Ammonia	mg/L	0-150
Total Dissolved Solids (TDS)	mg/L	1,000-400,000
Carbonates	mg/L	250-1300
Sulphates	mg/L	0-150
3. Frack Chemicals	Units	Concentration Range
Polymers	mg/L	0-500
Hydrocarbons	mg/L	0-50
4. Biological	Units	Concentration Range
Bacteria / Microorganisms	-	Variable
Sulphate Reducing Bacteria	-	Variable
5. Radioactive Material	Units	Concentration Range
Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM)	pCi/L gross A	0-15

尚、排水規制値は場所によって大きく異なっているため注意すること。また、再利用をする場合には、使用する機器や薬剤などによってその要求水質は異なってくる。

実際に入手した Produced water の性状を表 2.5.4 に示す。但し、いずれも実データではあるが、具体的なフィールド名は不明である。例 3 と例 4 については、累積 Produced water 量を時間軸とする経時変化を示した。表の下部にある「Langlier Saturation Index」の説明は、少し専門的であるが併せて示す。

表 2.5.4 Produced water の性状と LSI の定義

項目		単位	例1	例2	例3						例4					
		bbl			500	1000	1500	2000	2500	4000	500	2500	6000	11000	15000	
Anions	P Alkalinity	mg/L as CaCO ₃			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	M Alkalinity	mg/L as CaCO ₃	52	95	170	200	190	190	220	210	580	560	560	260	160	
	Chloride	mg/L as Cl	78,600	67,100	12,100	14,600	16,000	18,600	19,100	24,400	2,000	5,800	16,400	53,000	104,000	
	Sulfate	mg/L as SO ₄ ²⁻			5	30	25	23	22	13	1,115	910	588	57	24	
	Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	mg/L	56	56												
	Potassium	mg/L as K ⁺			85	58	60	65	65	73	27	40	103	381	544	
Cations	Sodium	mg/L as Na ⁺	32,500	31,500	7,792	9,259	9,098	10,550	12,500	15,650	714	1,470	2,671	9,062	12,850	
	Calcium	mg/L as Ca ²⁺	12,500	7,820	500	477	497	622	645	965	240	536	1,960	6,840	9,720	
	Magnesium	mg/L as Mg ²⁺	7.0	725	38	35	37	44	48	69	44	73	171	341	803	
	Total Hardness	mg/L as CaCO ₃			1,405	1,338	1,393	1,737	1,810	2,693	780	1,640	5,600	18,500	27,600	
	Barium	mg/L as Ba ²⁺	58	569	198	430	437	795	831	1,463	0.4	0.5	2.1	7.5	70.2	
	Strontium	mg/L as Sr ²⁺			177	184	193	247	266	421	16.5	48.4	211	995	1,837	
Miscellaneous	Ferrous Iron	mg/L as Fe	39.8	41	5.5	2.0	1.1	0.1	0.1	15	1.8	0.8	0.4	0.6	3.3	
	Total Iron	mg/L as Fe			14	6.0	5.9	6.3	6.8	20	42	27	38	157	78	
	Ammonia (NH ₄ ⁺)	mg/L	107	121												
	pH		5.5	6.5	6.21	6.41	6.17	6.36	6.37	6.37	7.25	8.31	8.54	6.27	5.88	
	Total Dissolved Solids	mg/L	112,000	105,000												
	Total Suspended Solids	mg/L	17	197	397	52	98	50	43	108	90	20	201	123	502	
	Total Organic Carbon	mg/L	34	59												
	Biochemical Oxygen Demand	mg/L as O ₂	149	28												
	Oil and Grease	mg/L	31	<5												
	Specific Gravity	g/mL			1,017	1,012	1,015	1,013	1,017	1,024	1,001	1,015	1,026	1,071	1,087	
	Conductivity	micromhos			33,500	38,500	39,200	45,200	47,100	58,900	7,160	16,800	37,800	123,000	173,200	
	ATP (Microbiological content)	relative light units									5	6	3	1	1	
	Microbiological content										Low	Low	Low	Low	Low	
	Langelier Saturation Index	LSI			-0.27	0.10	-0.17	0.15	0.26	0.43	1.02	2.37	2.94	1.02	0.55	
	Langelier Potential										Scaling Positive	Scaling Positive	Mildly Positive	Mildly Positive	Mildly Positive	
	Calcium Sulfate Scaling Potential															

Langelier Saturation Index (LSI)

The Langelier Saturation Index (LSI), also called the Langelier Stability Index, is a calculated number used to predict the calcium carbonate stability of water, i.e. whether a sample of water will precipitate, dissolve, or be in equilibrium with calcium carbonate. Langelier developed a method for predicting the pH at which water is saturated in calcium carbonate (called pH_s). The LSI is expressed as the difference between the actual system pH and the saturation pH.

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pH}_s$$

If the actual pH of the water is below the calculated saturation pH, the LSI is negative and the water has a very limited scaling potential. If the actual pH exceeds pH_s, the LSI is Positive, and being supersaturated with CaCO₃, the water has a tendency to form scale. At increasing positive index values, the scaling potential increases.

LSI

Scale Potential

- negative	No scale potential
less than zero	Water will dissolve CaCO ₃
+ positive	Scale can form
greater than zero	CaCO ₃ precipitation may occur.
close to zero	Borderline scale potential. Water quality and temperature change, or evaporation could change the index.

また、Produced water は水質だけではなく、その排水量も時間によって変化する。基本的には、図 2.5.5 に示す通り、Flowback が発生する初期に多くの排水が発生し、時間の経過によりそれが低下していく傾向がある。

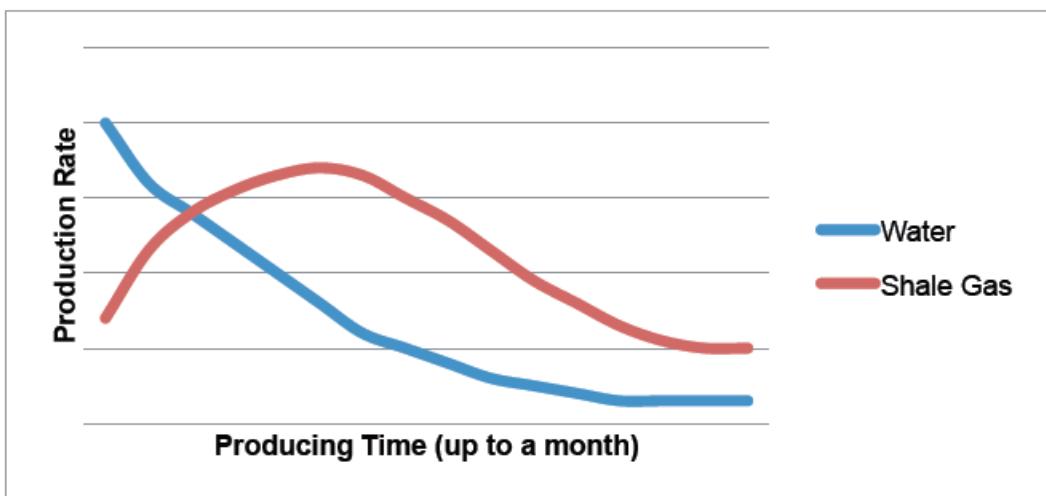


図 2.5.5 Produced water の排水量経時変化

およそ一ヶ月間で発生する排水量は大きく低下することから、Produced water の処理装置としては、据え置きではなく可搬型とし、常に必要な場所へ移動することが可能であるものを用いる事が好ましいと言える。

この様な特徴を持つ Produced water について、次項にて適用可能な処理方法を紹介する。

2.5.4 現状で適用可能なProduced Waterの処理方法

Blue Tech 社の Insight Report では、Produced water の処理方法は Primary Treatment と Secondary Treatment に分けられるとしている（図 2.5.6）。

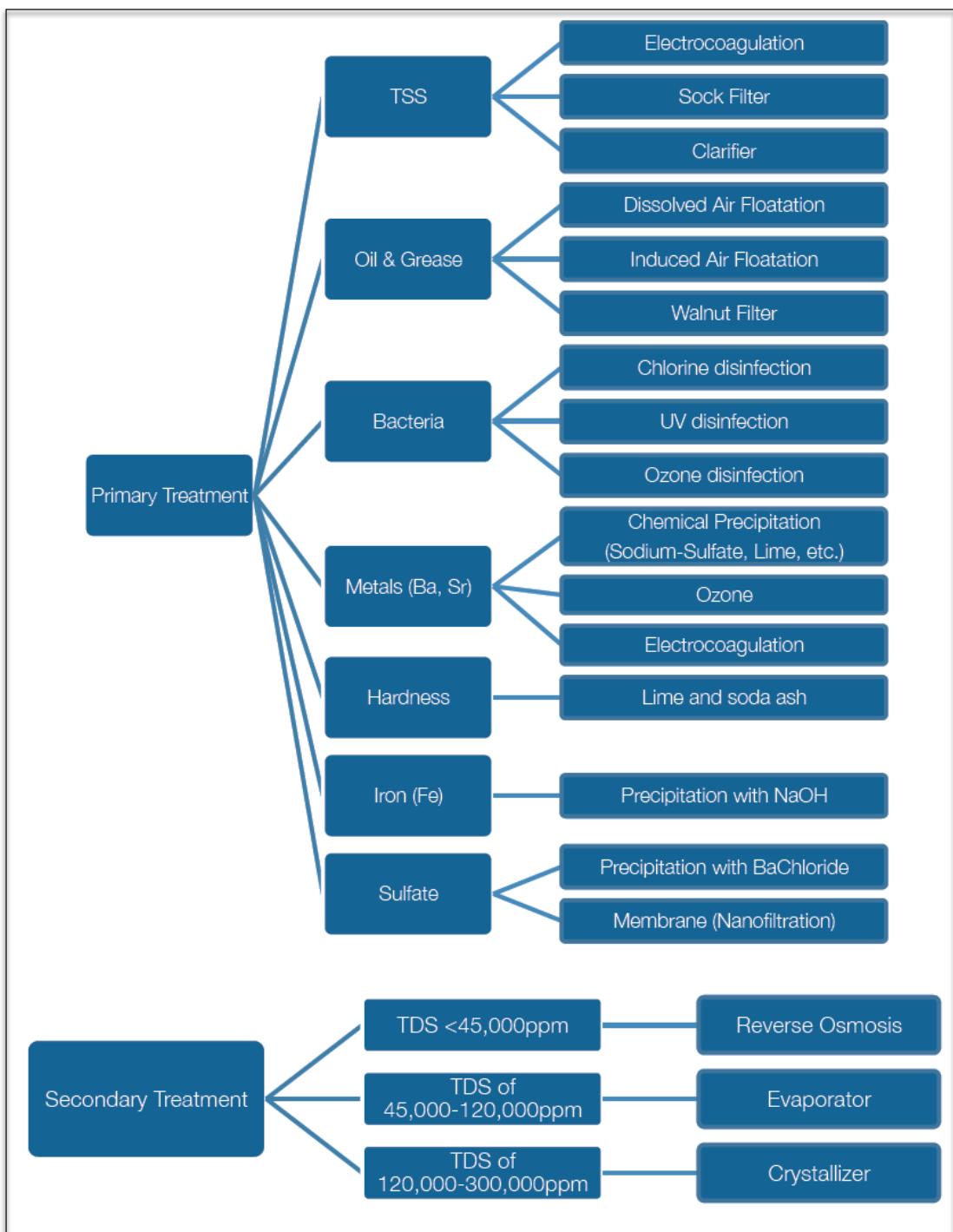


図 2.5.6 Produced water の処理方法代表例

この中で Secondary Treatment は TDS の処理を重視しており、その濃度により以下の通り最適な処理方法が異なる（図 2.5.7）。

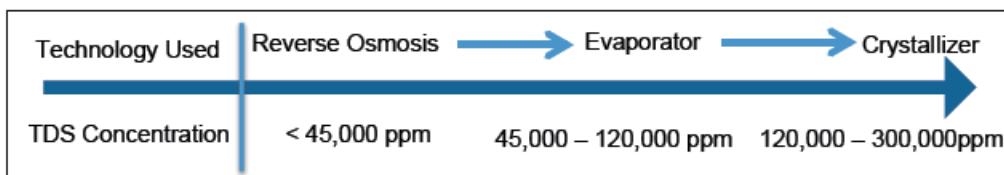


図 2.5.7 Secondary Treatment の最適な TDS 濃度の目安

処理対象やその濃度により多くの処理方法があるのが実情であるが、現状の Produced water の処理方法として広く普及しているものは以下の 3 種である。

①蒸留

現状で最も実績がある Produced water 処理方法であり、石油・天然ガス分野の水処理では一般的な処理方法である。蒸留法には、蒸発した蒸気の再圧縮方法により、蒸気エジェクタを用いる熱的圧縮 (TVR : Thermal Vapor Recompression) と、圧縮機を用いる機械的圧縮 (MVR : Mechanical Vapor Recompression) がある。

②膜（逆浸透膜）分離

逆浸透膜 (RO 膜 : Reverse Osmosis) は、蒸留法と並ぶ主要な Produced water 処理方法である。但し、蒸留法では塩分濃度 45,000 ppm まで対応可能なのに対し、RO 膜では 35,000 ppm とされている。

RO 膜を用いる処理における課題は固体物等による膜の閉塞であり、化学処理や RO 膜よりも目の粗い MF 膜や UF 膜による前処理と組み合わせてシステムを構築する必要がある。また、閉塞防止のために膜への特殊なコーティングも検討されている。

③化学的処理

化学的処理は、アルカリやポリマーを加えて沈殿・凝集・分離を行うものから、オゾンを用いたものなど、多岐にわたる。ある程度、選択的に処理対象を決定することができるため、サイトによって成分の異なる Produced water にも適用の検討がしやすいのが利点であると考えられる。また、他の処理方法と組み合わせやすい事も特徴である。

以下に、代表的なシェールガスの水処理会社を例に挙げ、具体的に各方式を説明する。

[Fountain Quail 社]

Fountain Quail 社は、石油・天然ガス分野のエンジニアリングサービス会社 Aqua-Pure 社の子会社であり、シェールガスの Produced water 処理設備専門の会社である。2004 年以来、Barnett シェールでは同社の設備による Produced water 処理を行っており、2008 年 4 月時点での累計 570 万バレル (約 91 万 m³) を処理して、その約 80 %に相当する 450 万バレル (約 71.5 万 m³) の水を回収、再利用した実績がある。Barnett における Produced water 処理量は約 760~950 m³/日であり、水回収率は 80~85 %である。また、同社の技術は Marcellus シェール (水の回収率 75~80 %) や Fayetteville シェール (水の回収率 95 %) で

も使用されている。

図 2.5.8 に Fountain Quail 社の蒸留法におけるシステムフローを、図 2.5.9 に同社の移動可能なスキッドマウント型装置の写真を示す。

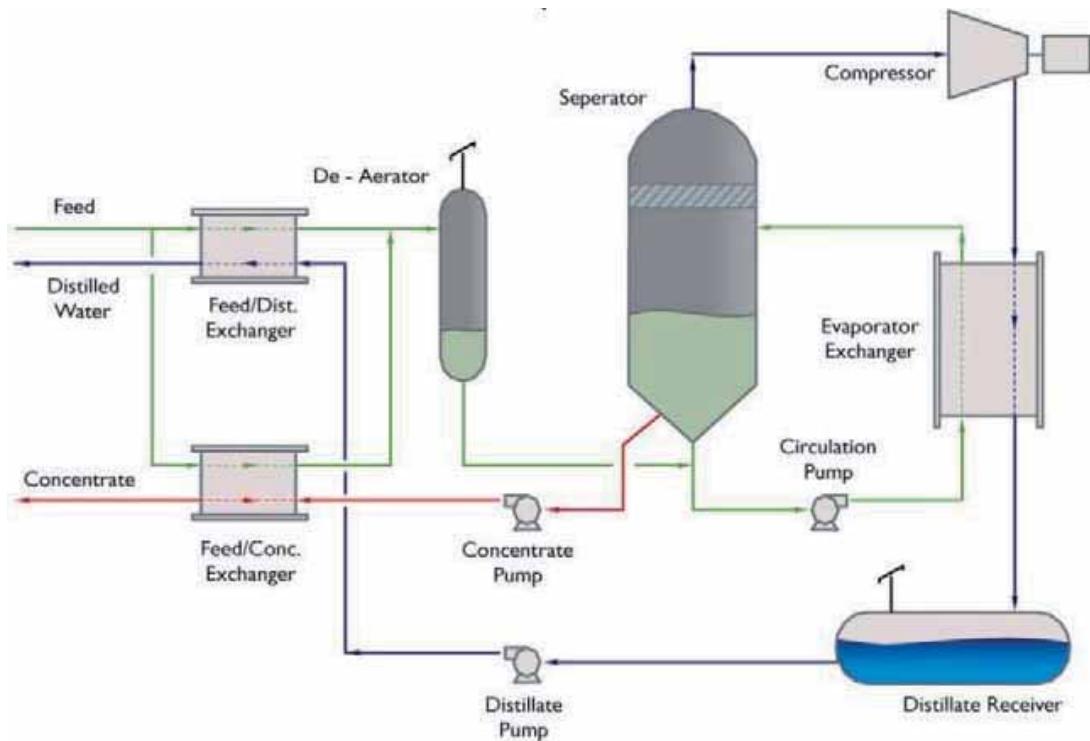


図 2.5.8 Fountain Quail 社の蒸留法におけるシステムフロー



図 2.5.9 Fountain Quail 社のスキッドマウント型蒸留装置

図 2.5.8 中左上の「Feed」が坑井からの Produced water であり、蒸留後の水や濃縮水と熱交換して予熱された後、蒸発器（図中では Separator）に流入する。蒸発器には循環ラインがあり、内部の流体は圧縮後の高温蒸気との熱交換で加熱される。また、蒸発器は圧縮機のサクション側にあるため減圧されており、内部流体はさほど高温でなくとも容易に気化する。気化して圧縮された高温蒸気は蒸発器の循環ラインを流れる流体と熱交換して冷却され、蒸留水となって再利用のために送られる。この方式では Produced water 中の塩分や固形分等は濃縮水として排出される。

[Veolia Water Solutions & Technologies Oil & Gas 社]

Veolia Water Solutions & Technologies Oil & Gas 社（以下 Veolia 社と略）は、その名の通り油・ガス田における水処理専門のサービス会社である。蒸留、膜（逆浸透膜）分離、化学的処理の全ての技術を保有している。

・蒸留方式

図 2.5.10 に Veolia 社の蒸留設備（ZLD : Zero Liquid Discharge）の写真を示す。



図 2.5.10 Veolia 社の蒸留設備（ZLD）

ZLD は Veolia 社グループの HPD 社が開発した技術であり、図 2.5.10 の外観から蒸気エジェクタを用いる方式であることがうかがえる。固形分を含む水処理に適しており、以下の特長がある。

- (1) NaCl、CaCl、重金属を効果的に除去
- (2) 廃棄物は固形ケーキ状であり、埋め立て処理可能→ZLD : Zero Liquid Discharge
- (3) 前処理不要で設備費、運転費削減可能

前述の Fountain Quail 社との大きな相違は(2)であり、廃棄物が濃縮水ではなく固体である点である。

本技術は Marcellus シェールの Produced water でデモを行い、95 %の水を回収して再利用可能としている。

- ・膜（逆浸透膜）分離

図 2.5.11 に Veolia 社の OPUS (Optimized Pretreatment and Unique Separation) 方式の概略フローを、図 2.5.12 に OPUS 方式設備の写真を示す。

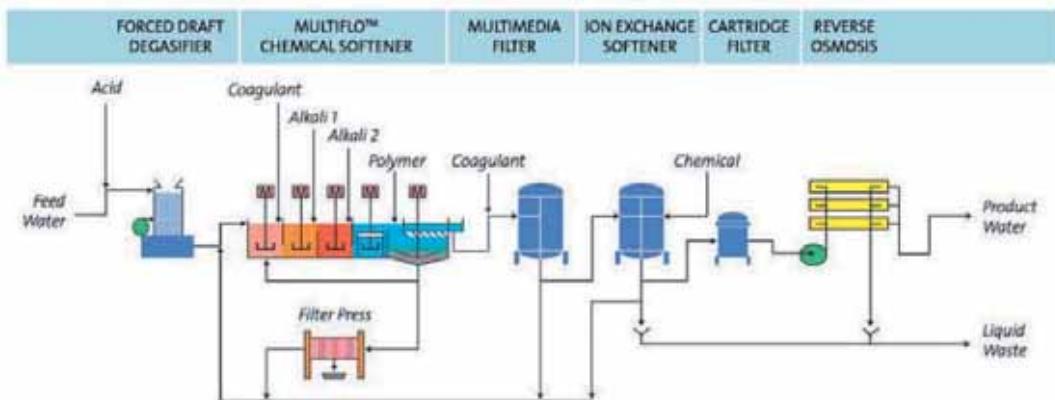


図 2.5.11 Veolia 社の OPUS 方式概略フロー



図 2.5.12 Veolia 社の OPUS 方式設備

OPUS 方式は Veolia 社グループの N.A. Water Systems 社が開発した技術であり、処理対象水の脱ガス・遊離油分除去後、化学的軟化（chemical softening）を行い、金属等の浮遊個体粒子をろ過した後、逆浸透膜で処理する。高 pH での運転によって生物・有機物・固体のスケールを防止することが可能であり、所要エネルギーが少ない事を特徴としている。

- ・化学的処理

前述した蒸留方式、膜（逆浸透膜）分離方式は、比較的大規模なプラント向けであることが写真（図 2.5.10、図 2.5.12）から伺えるが、同社では化学的 Produced water 処理を適

用した可搬型装置 MULTIFLO も開発している。

図 2.5.13 に MULTIFLO の外観、図 2.5.14 にその概要図を示す。本装置は化学処理によるスケール成分 (Ca,Mg,Ba,Sr,Fe,Mn) 除去が目的であり、アルカリやポリマーを加えて沈殿・凝集・分離を行う。処理効果は表 2.5.5 の通りである。装置は可搬型であり、処理能力は 5,000~25,000 バレル/日（約 795~4,000 m³/日）の 4 タイプを所有している。2010 年 11 月から Marcellus シェールガス開発で Produced water の再利用に向けた処理に使用されている。



図 2.5.13 Veolia 社の MULTIFLO 外観

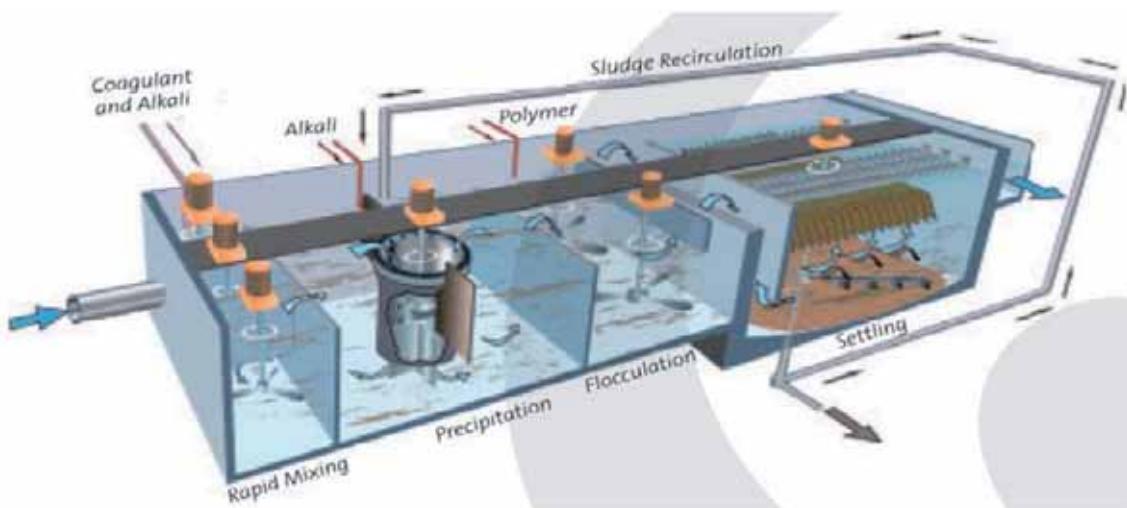


図 2.5.14 Veolia 社の MULTIFLO の概要図

表 2.5.5 MULTIFLO の処理能力

Contaminant	Influent	Effluent
Calcium Hardness, ppm as CaCO ₃	15,000 - 25,000	< 50.0
Magnesium Hardness, ppm as CaCO ₃	1,500 - 2,500	< 50.0
Iron, ppm	100 - 200	< 1.0
Manganese, ppm	5 - 10	< 1.0
Barium, ppm	800 - 2,400	< 10.0
Total Suspended Solids, ppm	100 - 1,000	< 30.0

[Superior Well Services 社]

Superior Well Services 社はスケールを生成する二価陽イオン除去に効果的な方法として次のような処理方法を開発しており、新鮮水に近いフラクチャーリング流体用水を回収可能としている。

- (1) 二価イオンと金属の沈殿に適する pH に調整
- (2) 二価陽イオン添加剤 (Ba, Sr, Ca など) で可溶性イオンを沈殿
- (3) Fe²⁺を Fe³⁺に転換して沈殿除去
- (4) 必要に応じて殺菌、消毒
- (5) 残留固体分をろ過

表 2.5.6 にその処理前後の水質の比較を示す。二価陽イオン除去に一定の効果が認められるが、極めて高い効果とは言えないのが実情のようである。Produced water 処理がこの程度の水質で十分であるならば、Produced water 再利用のための水処理では高度処理のような精微な処理は不要であるとも考えられる。

表 2.5.6 Superior Well Services 社の方法による処理前後の水質比較

ID #:	080309_003	080309_005
Sample ID:	(Untreated)	(Treated/Filtered)
Sample Date:	080309_003	080309_005
Anions		
P Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	0	0
M Alkalinity (mg/L as CaCO ₃)	240	146
Chloride (mg/L as Cl ⁻)	13,300	12,900
Sulfate (mg/L as SO ₄ ²⁻)	10	27
Cations		
Sodium (mg/L as Na ⁺)	7,067	6,788
Potassium (mg/L as K ⁺)	36	35
Calcium (mg/L as Ca ²⁺)	736	540
Magnesium (mg/L as Mg ²⁺)	127	49
Total Hardness (mg/L as CaCO ₃)	2,360	1,550
Iron, Ferrous (mg/L as Fe)	0.0	0.0
Iron, Total (mg/L as Fe)	7.9	1.0
Barium (mg/L as Ba ²⁺)	596	43
Strontium (mg/L as Sr ²⁺)	228	174
Miscellaneous		
pH	6.71	7.90
Total Suspended Solids (mg/L)	116	60
Specific Gravity (g/ml)	1.012	1.015
Conductivity (micromhos)	35,200	34,700
Δ ATP (rlu) – Microbiological Content	89	7
Microbiological Content	Medium	Low
Langelier Saturation Index (LSI)	0.51	1.26
Langelier Potential	Mildly Scaling	Scaling

また、同社は本処理方法の開発と同時に塩分濃度に対する許容範囲が広い摩擦低減剤を開発し、Marcellus シェールの Cabot Oil & Gas 社が開発するフィールドにおいて、Produced water から回収した水のみでフラクチャリングを行っている。

[Ozone Technologies Group 社、Kerfoot Technologies 社]

Ozone Technologies Group 社は、Kerfoot Technologies 社の NANOZOX プロセスを用いる Produced water 処理技術を開発している。NANOZOX プロセスは、表面を過酸化水素で覆われたオゾンのマイクロナノバブルで油分や有機化合物を分解する技術である。これを行い、Ozone Technologies Group 社は 10 万~100 万ガロン（約 380~3800 m³/日）の処理能力をもつ Produced water 処理装置を開発している。据付型から可搬型まで各種が用意されているが、実際のシェールガスフィールドにおける適用はまだ報告されていない。

[PPC(Process Plants Corporation)社]

PPC 社の方式は、酸素を水中に吹き込んで重金属や化学物質を 95 %以上除去するもので、サンドフィルタを併用することで TSS を 99.05 %除去可能としている。この技術をシェールガスフィールドの Produced water に適用した例は報告されていないが、酸性鉱山廃水の処理で図 2.5.15 の様な実績を持つ。

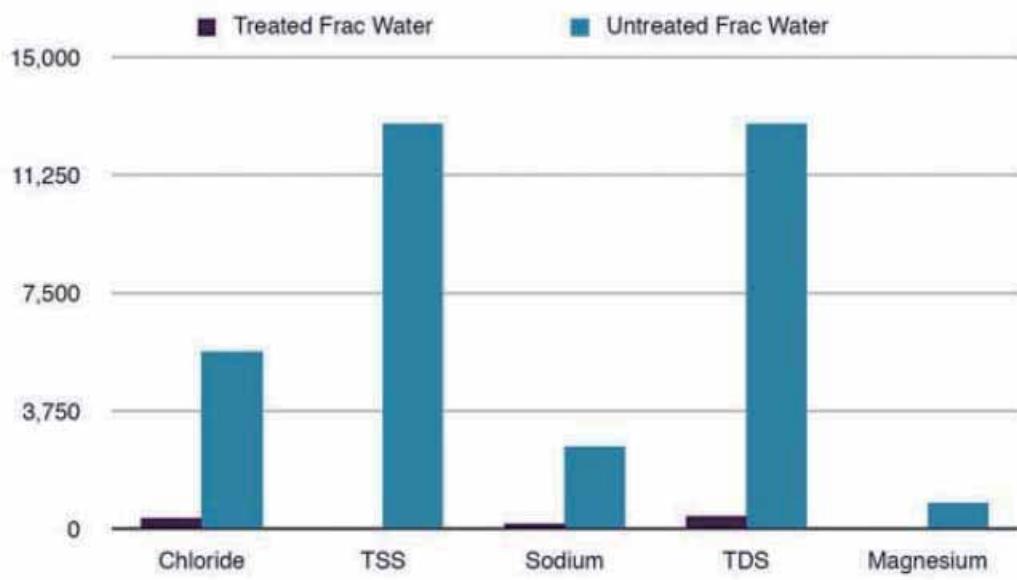


図 2.5.15 PPC 社の方式による処理結果例

2.5.5 Produced water 処理装置におけるマーケットシェア

前項にて Veolia 社が多数の処理装置を保有していることを紹介したが、その他に Siemens、GE、Cameron らが、Produced water の処理装置における Market share で大きな割合を占めている（表 2.5.7）。

表 2.5.7 代表的な会社のマーケットシェア

Competitor	Relevance	Market Share ⁵⁵	
		Primary	Secondary
<u>Siemens Water Technologies</u>	Siemens is a dominant player in the Oil and Gas Produced Water Treatment market and offers a wide range of filtration and separation technologies for produced water treatment. These include: solids separation; primary, secondary and tertiary oily water separation; advanced treatment; solids handling and reverse osmosis (RO) and brine recovery reverse osmosis (BRRO) systems. Siemens is stronger on the advanced treatment (e.g. media filtration, desalination, etc.) side than they are on the primary treatment solutions.	11%	12%
<u>Veolia Water Solutions & Technologies</u>	Veolia Water, a division of Veolia Environnement, designs and operates high-volume mine water treatment systems. Their Produced Water Treatment solutions include Hydrocyclones (solid/liquid and liquid/liquid), Compact flotation unit, Cartridge oil adsorption, UF with ceramic membranes, Dissolved Air Flotation, and induced gas flotation. Veolia is stronger on the advanced treatment (e.g. media filtration, desalination, etc.) side than they are on the primary treatment solutions.	8%	13%
<u>GE Power & Water Water & Process Technologies</u>	GE provides innovations in effective, cost-efficient methods including evaporation systems to treat and supply the millions of gallons of water needed for shale gas production.	-	8%
<u>Cameron</u>	Cameron is a dominant player in the Oil and Gas Produced Water market that is strong in oil and water separation, induced gas flotation and nutshell filtration. Cameron also offers advanced treatment solutions but its focus appears to be in oil and water separation.	55%	20%

但し、現在 Produced water の処理については、その必要性が大きく報じられていることもあり、大小多数の会社が処理装置を保有・開発しているのが現状である。表 2.5.8 にその一例を示す。この表からも分かるように、多くの会社が現状は Primary Treatment の処理を重視していることが分かる。これは、現状の Produced water の処理において、Secondary Treatment を必要とするほど TDS を処理する必要がないことを意味している。但し、今後の規制強化や、水資源の再利用が広まっていくに従い、Secondary Treatment の必要性は増してくることが考えられる。

表 2.5.8 Produced water の処理装置を保有している会社一覧

Company	Technology	Primary	Secondary (Desalination)			Employees
			Reverse Osmosis	Distillation	Crystallization	
212 Resources	Mechanical Vapor Re-compression			✓		30-100
3C Membranes	Membrane Filtration	✓				<5
Altela	Atmospheric Water Capture, Using Waste Heat, Thermal Desalination			✓		5-30
Aqua-Pure Ventures	Mechanical Vapor Re-compression			✓		30-100
AquaMost	Advanced Oxidation Processes	✓				5-30
AquaTech	Zero Liquid Discharge, Membrane Filtration, Biological Treatment Process, Membrane Bioreactors, Package Treatment Plants, Filtration, Thermal Desalination, Ion Exchange	✓	✓	✓	✓	>100
Drake Water Technologies	Ion Exchange, Package Treatment Plants	✓				5-30
Eco-Tec	Ion Exchange	✓				5-30
Ecosphere Technologies	Advanced Oxidation Processes, Ozone, Electro-chemical Treatment, Ultrasonic Treatment	✓				5-30
Epuramat	Package Treatment Plants, Hydrocyclone	✓				5-30
Filterboxx Package Water Solutions Inc	Membrane Filtration, Biological Treatment Process, Membrane Bioreactors, Package Treatment Plants, Filtration, Thermal Desalination, Ion Exchange	✓	✓	✓		5-30
GeoPure Hydro Technologies	Membrane Filtration	✓				5-30
GreenHunter Water	Package Treatment Plants, Membrane Filtration, Crystallization, Thermal Desalination, Advanced Primary Treatment	✓	✓	✓	✓	5-30
Halliburton	Electro-chemical Treatment	✓				>100

Company	Technology	Primary	Secondary (Desalination)			Employees
			Reverse Osmosis	Distillation	Crystallization	
Hydration Technology Innovations (HTI)	Forward Osmosis		✓			30-100
Klaren BV	Thermal Desalination			✓		5-30
MyCelx	Filtration, Physical-Chemical Treatment	✓				30-100
Oasys Water	Forward Osmosis		✓			5-30
Purestream Technology	Mechanical Vapor Re-compression			✓		5-30
Ridgeline Energy Services	Electro-chemical treatment	✓				30-100
Sionix Corp	Dissolved Air Floatation, Membrane Filtration, Thermal Desalination	✓	✓	✓		5-30
Soane Energy	Advanced Primary Treatment	✓				5-30
ZanAqua Technologies, Inc.	Mechanical Vapor Re-compression			✓		5-30

【参考文献一覧】

- ⁱ (2-1) : EIA "Today in Energy" 4th Oct., 2013 "<http://www.eia.gov/todayinenergy/> etail.cfm?id=13251"
- ⁱⁱ (2-2) : EIA "Technically Recoverable Shale Oil and Shale Gas Resources : An Assessment of 137 Shale Formations in 41 Countries outside the United States" June 2013
- ⁱⁱⁱ (2-3) : BP Statistical Review of World Energy June 2013
- ^{iv} (2-1-1) : EIA ホームページ (<http://www.eia.gov/electricity/>)
- ^v (2-1-2) : IEA, "Are we entering a golden age of gas?", WEO-2011 Special Report
- ^{vi} (2-1-3) : IEA, "Golden rules for a golden age of gas", WEO-2012 Special Report on Unconventional Gas
- ^{vii} (2-2-1) : DOE/EIA, "World Shale Gas Resources : An Initial Assessment of 14 Regions outside the United States", April 2011
- ^{viii} (2-3-1) : Barth, J., et al, 2012, "Frac Diagnostics Key In Marcellus Wells," AOG, May 2012 issue, <http://www.aogr.com/index.php/magazine/frac-facts>
- ^{ix} (2-3-2) : 99 PIOGA website, <http://www.pioga.org/environment-safety/hydraulic-fracturing/>
- ^x (2-3-3) : Hydraulicfracturing.com website,
<http://www.hydraulicfracturing.com/Process/Pages/information.aspx>
- ^{xi} (2-3-4) : GoMarcellusShale.com website, <http://gomarcellusshale.com/forum/topics/after-the-well-drilling-has-finished>
- ^{xii} (2-3-5) : MarkWest investor presentation,
<http://investor.markwest.com/phoenix.zhtml?c=135034&p=irol-presentations>
- ^{xiii} (2-4-1) : Germaine, S.S., M. O'Donnell, C.L. Aldridge, L. Baer, T. Fancher, J.L. McBeth, R.R. McDougal, R. Waltermire, Z.H. Bowen, J. Diffendorfer, S.L. Garman, and L. Hanson. 2012. Mapping surface disturbance of energy-related infrastructure in southwest Wyoming - an assessment of methods: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2012-5025. 42 p.
- ^{xiv} (2-4-2) : Carr, N.B., N. Babel, J. Diffendorfer, S. Hawkins, D. Ignizio, N. Latysh, K. Leib, J. Linard, and A.M. Matherne. 2012. Interactive Energy Atlas for Colorado and New Mexico [Website]. U.S. Geological Survey, Fort Collins Science Center: Fort Collins, CO. (<http://my.usgs.gov/eerma/>)
- ^{xv} (2-4-3) : EAGLE FORD SHALE TASK FORCE REPORT, CONVENTED RAILROAD COMMISSIONER DAVID PORTER, March 2013
- ^{xvi} (2-4-4) : MODERN SHALE GAS A PRIMER, U.S. Department of Energy, April 2009
- ^{xvii} (2-4-5) : Discovering Shale Gas: An Investor Guide to Hydraulic Fracturing, Susan Williams, 2012/2
- ^{xviii} (2-4-6) : Deep Shale Natural Gas : Abundant, Affordable, and Surprisingly Water Efficient, Matthew E. Mantel, P.E., 2009
- ^{xix} (2-4-7) : Marcellus Shale Gas Well Drilling : Regulations to Protect Water Supplies in Pennsylvania, The Pennsylvania State University, 2011
- ^{xx} (2-4-8) : 加島 健、シェールガス開発の環境リスク～地震誘発や環境汚染など～, 高圧ガス, Vol.49, No.12, 1065-1069(2012)
- ^{xxi} (2-4-9) : EPA, "Lessons Learned, Reduced Emission Completions for Hydraulically Fractured Natural Gas Wells", (2011), http://www.epa.gov/gasstar/documents/reduced_emissions_completions.pdf

-
- ^{xxii} (2-4-10) : Scott C. Bartos EPA, "Minimizing Methane Emissions from Unconventional Natural Gas Development", (2013) <http://www.doi.gov/intl/itap/upload/Session-03-04-Unconventional-Gas-Jakarta-07May2013.pdf>
- ^{xxiii} (2-4-11) : Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Summary for Policymakers, http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGI_AR5_SPM_brochure.pdf
- ^{xxiv} (2-4-12) : Unprecedented Measurements Provide Better Understanding of Methane Emissions During Natural Gas Production, University of Texas, <http://www.engr.utexas.edu/news/releases/methanestudy>
- ^{xxv} (2-4-13) : EPA Issues Updated, Achievable Air Pollution Standards for Oil and Natural Gas / Half of fractured wells already deploy technologies in line with final standards, which slash harmful emissions while reducing cost of compliance, <http://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/bd4379a92ceceac8525735900400c27/c742df7944b37c50852579e400594f8f!OpenDocument>
- ^{xxvi} (2-5-1) : 安定生産に欠かせない環境リスク克服への技術的考察, JOGMEC, 2011
- ^{xxvii} (2-5-2) : Bluetech Insight Report, "USA Shale Gas Produced Water Treatment Market", Bluetech Research, 2012

第3章 シェールガス関連情報に関する講演

シェールガス・オイル開発に関する企業・有識者の方に、関連する情報について御講演を頂いた。講演内容について、概要を紹介する。(講演資料については、資料-2に添付する。)

3.1 「環境対応のシェール開発技術」(第2回分科会 (H25.7.23))

講演者：ハリバートン・オーバーシーズ・リミテッド ビジネスデベロップメント
橋本 博之 氏

フラクチャリング業務の概要、および環境に優しい、フラクチャリング用添加剤、細菌の制御、水の再処理について報告

➤ クリーンスティムサービス

- ・ 環境を破壊しないフラック流体とは？
- ・ “環境を害しない”、“グリーン”的定義はどんなものか？
- ・ グリーンの基礎として CFR21 (Title 21 Code of Federal Regulations - 連邦規則集) 規制を使用
- ・ 基準は、一般に安全とみなされているものか又は直接食品添加物として CFR21 で登録されている化学薬品を使用する。
- ・ 目標は 200°F 環境でグアガムやホウ酸塩と同等の性能を有する薬品。
- ・ ハリバートン新フラクチャリングフルイドシステム “食品産業より材料を調達”

優れている点

- 環境に害のないフラックゲル流体
- 優れたプロパント運搬能力
- ゲルに残留物がない
- 優れたコンダクティビティ維持
- ドライケミカルブレンダーを使用

不利な点

- インスタントクロスリンク→圧損が大きくなる
- 塩分許容 (最大4% NaCl)
- 数種類のブレーカーが必要
- クロスリンクの使用量が多い
- グアに比較するとゲル剤の使用量が多い

➤ クリーンストリームサービス

- ・ フラック流体の細菌を制御するために、紫外線灯を使用する。

- ・ 殺微生物剤を最小限化もしくは使用しない。
- クリーンウェーブサービス
- ・ 水の再利用の為の技術
 - ・ 電気凝固機能 (Electrocoagulation Capabilities)

3.2 「シェール開発における環境問題」(第2回分科会 (H25.7.23))

講演者：石油資源開発（株）北米シェールプロジェクト部長

米州・ロシア事業本部長補佐 影山 隆 氏

- ・ シェールオイル・ガス開発
 - 今後とも、北米を中心として開発が進む。
 - ・ インフラが整備
 - ・ サービスコントラクターが充実
 - ・ 技術イノベーション
 - 2010年代後半から、他地域でも開発が進む。

環境問題

- ・ 2011
 - フラクチャリング流体の飲料水への混入
 - 飲料水へのメタンガスの混入
- ↓
- ・ 2013
 - 水の供給と廃棄
 - 水のリサイクル
 - 坑井の健全性

水のリサイクル

- ・ フローバックリサイクル
 - 廃水とフレッシュ水のブレンド
 - ・ 低コストだが、プラグされる可能性
 - 物理的、化学的、生物的、膜
 - ・ 高価で、前処理が必要
 - より改善された方法
- ・ 州の規制
 - ペンシルバニア、テキサス、コロラド、ユタ、ルイジアナ、イリノイ、オハイオ、オクラホマ、ワイオミング
- ・ シェール開発は、今後とも北米を中心として進む
- ・ 環境問題は、従来の環境汚染から水問題へシフト

- フラックに使う水使用量の減量
- 水再利用
- ガスフラックなど新しい技術開発
- 米国の動向は、EPA Study が発表される 2016 年以降に明確になる？
 - 環境問題についての訴訟は明確に結論されず
 - 規制は、坑井健全性に対するものが中心？
 - 水資源や地表利用に関するものも
- 世界的なシェール開発は、2015 年以降に活発化
 - 水供給問題など環境問題は、多くのエリアで深刻
 - 米国で開発された技術の移譲が課題

3.3 「シェールガス開発と水」（第 3 回分科会（H25.9.9））

講演者：国際石油開発帝石株 アメリカ・アフリカ事業本部 地域事業ユニット
シニアコーディネーター 萩野浩市氏

Horn Riverエリアのフラクチャリング

- ・圧入量
 - 1ステージあたり $3,000\text{m}^3$ の水を使用する。
- ・ちなみに、プロパントは 200ton/stage
 - 1坑井のステージ数は、水平区間長にもよるが、15から25段。
 - 即ち、1坑井あたり、 $45,000\text{m}^3 \sim 75,000\text{m}^3$ の水を圧入することになる。
 - 1Padでは、 $0.8 \times 10^6\text{m}^3 \sim 1.4 \times 10^6\text{m}^3$
- ・これまでの年間掘削 Pad 数は、1-2

フローバック量

- 圧入量の 50%程度

水の確保が大きな課題

- 地表水（当面は十分）
 - 10数Padを配置できるエリアで、 $\text{数十} \times 10^6\text{m}^3/\text{年}$ （4月～10月）の流量。
 - 年間掘削Pad数との比較において問題ない数字。
 - 但し、市場環境が変わり周辺エリアで一斉に掘削が開始され、フラクチャリング作業が発生すると問題となり得る。
 - 水層の水（十分）
 - 深度は、600m程度のところ（Debolt層）。シェールガス層（2,000m～3,000m）よりも浅く、飲料水用の水層よりも深い。
 - 厚さは数十m。高浸透性の部分は14m。
 - 孔隙率は35%（掘削時の逸泥ゾーンとなる）

- ・圧力は、46 ksc
- ・現在、各社とも、圧入井、給水井の挙動をモニタリング中。
- ・数百× 10^6m^3 と評価

水のリサイクル

フローバック水の圧入

- フローバック水は圧入しているが、圧入し続けると、圧入層の圧力が上昇し、いずれ、圧入が困難になる。さらに圧力をかけると地層に亀裂が入るリスクが生じる。
- ・水層の圧力をなるべく一定に保つ
 - 採取量と圧入量をバランスさせる。
- ・バランス
 - 50%を地表水から
 - 50%を水層から
 - フローバック水は、全体の 50%なので、それでバランス。

3. 4「国内のオイル/ガスフィールドにおける坑廃水処理について」(第3回分科会(H25.9.9))

講演者：(株)テルナイト 技術部長 佐藤 敬氏

石油・天然ガス開発における廃水処理の現況

国内の石油・天然ガス開発業界（掘削・生産）で利用されている主要な廃水処理技術は、大別すると4通り存在する。

- ① 固液分離処理：沈降、凝集、ろ過、脱水、遠心分離
- ② 物理化学的処理：中和、活性炭吸着、油水分離装置
- ③ 生物化学的処理：活性汚泥
- ④ 蒸発濃縮処理

処理対象水の水質や処理目標とする水質レベルによってこれら技術を組み合わせ、廃水処理システムを構築している。

国内石油会社の環境保全意識

国内の石油・天然ガス開発各社は年々厳しくなる法規制への対応もあるが、むしろ「廃水の水質を法規制が許容する必要最低限に調整するだけではなく、完全なる無害化と再利用によって環境保全を最優先とする企業倫理」

実績まとめ

石油・天然ガス掘削井で発生する汚水を、安全で効果的に処理することを目的に、1992年より蒸発濃縮装置レンタル（販売）と技術サービスを開始。

・過去20年以上に亘り、石油掘削井では40以上の工事で使用。⇒2012年まで累計500,000m³ を処理し、70%の蒸留水を再利用。

- ・近年では石油天然ガスの生産鉱場で発生する高塩分の随伴水処理 (100,000m³) や福島第一原発の汚染水処理（淡水化）にも使用。

海外における石油・天然ガス開発の廃水処理動向

廃水処理サービス大手は3社 (MI スワコ社、ハリバートン社、BHI社)

方法

- ・ 電気的凝集
- ・ 薬剤併用投与型の浮揚分離
- ・ 逆浸透膜および脱塩システム

約850の文献および雑誌記事 (2005~2010年) を調査

↓

簡単な処理後に水攻法へ流用する企業、圧入処理を行なっている国や企業が非常に多い。

フラック流体の処理

水圧破碎作業では、1坑あたり1万m³の水（薬剤量は50m³）を地下へ圧入する。

→一般市民は地下水汚染を懸念

テキサス州では2011年から、州規制局への使用薬品の届出と、指定サイトでの成分公開が義務づけられている。

□ Flowback流体（圧入量の10~30%）の処理は、蒸発濃縮、逆浸透膜、化学的処理によって行われている。

随伴水処理

2007年にアメリカ全土で発生した随伴水量は210億BBLであり、これらの95.2 %は圧入によって処理されている。

□ 2010年の調査では、蒸発濃縮法は数例であり、水攻法への流用や地下還元（圧入処理）が多かった。

→近年、蒸発濃縮法は増加傾向にある。

水処理・環境トレンド

□ 水処理の究極のゴールは、処理対象水から汚染源を除去し、再利用することで環境影響と水不足を解消することである。

3Rや使用薬剤の無害化など、処理対象水の発生量、水質の悪化を未然に緩和する対応がとられている。

□ 原水の水質や処理目標とする水質レベル、費用対効果によって廃水処理システムが構築され、適用されている。

→環境規制の厳肅化と社会情勢の変化からゴールに近づいている。

3.5 「非在来型油・ガス田における水処理技術戦略」(第3回分科会 (H25.9.9))

講演者：シュルンベルジェ(株) コミュニケーションマネージャー 大澤 理氏

- ・ フラック流体化学は、必要とされる水質により、推進されてきている。
- ・ 早期の計画が、プロジェクト成功（バランスのとれたコスト）のカギである。
 - フラック流体の組成
 - 水処理プロセス
- ・ 供給される水質を保証しなければならない場合には、特別な水処理のデザインが必要である。
 - 水処理の為の最小限のアプローチ
- ・ フラック流体組成のパフォーマンスを確実にするために、ラボテストが必要
- ・ 再利用は真水を使用しない場合のオプションである

第4章 文献調査

シェールガス・オイルの開発は北米を中心に世界中で行われているが、一部地域において土壤・地下水汚染といったリスクが問題視され、開発が中止に追い込まれた案件もある。環境問題への対応を検討するため、シェールガス・オイル開発において環境に対する問題が生じた事例に関する文献・資料収集を行うこととした。

(対象とする環境問題)

- ・シェールガス・オイル開発における環境に関する法規制（米国、カナダ、フランス、ドイツ、英国、米国各州など）
- ・地下水層汚染（フランクチャーリングによる地下水層汚染の有無、地下水汚染の実例など）
- ・フローバック水による汚染（フローバック水の処理方法及び汚染の実例、フランクチャーリング用液体の添加剤情報及びその処理技術）
- ・廃水圧入による微小地震発生（地震の実例情報など）
- ・ガス漏出（漏出の原因、メタン・揮発性有機化合物（ベンゼン、トルエンなど）の影響）
- ・その他シェールガス・オイル開発における問題があれば、それに関するもの

(文献のまとめ方)

選定した収集文献については、本文を添付するほかに、文献毎に日本語で要約集に取りまとめる事とした。

(業者選定)

石油開発の環境問題について知見のある3社に見積もりを依頼し、EY新日本サステナビリティ(株)に文献調査を依頼した。

4.1 要約版取りまとめ

要約文については、分科会メンバーにより査読を行い、修正を行ったうえで、要約集に取りまとめた。今回取りまとめた文献は以下の通りである。

【No.1 シェールガス・オイルの開発に係る規制ガイドライン】

米国（コロラド州、オクラホマ州、テキサス州、アーカンソー州、ルイジアナ州、ペンシルバニア州、ウェストバージニア州）、カナダ、フランス、ドイツ、英国、の規制・ガイドラインの調査を行った。

【No.2 地域飲料水供給に対するマーセラスガス掘削の影響】

ペンシルバニア州郊外のマーセラス地域近くの水井戸を対象として、マーセラス地域のガス井の掘削前後にその水質について行った大規模な調査について報告したレポート

【No.3 石油・天然ガス開発に関する環境影響評価規制プログラム】

マーセラスに関するニューヨーク州の環境影響評価

1992年版油ガス開発に関する環境影響報告書(GEIS)の改訂版のドラフト(dSGEIS)報告書であり、フランチャーリングなど新たな技術による環境影響が、州の環境基準(SEQRA)を満たすか調査するために準備され、2009年9月に発行されたがまだ内容的に不十分であったため調査対象を追加し再発行されたもの(2011年9月)。

【No.4 イーグルフォードシェールタスクフォース報告書】

テキサス州におけるイーグルフォード開発による水源や水質への影響を調査した報告書

【No.5 米国における現代シェールガス開発(法的枠組み)】

米国環境保護庁(EPA)では、シェールガスに特化した基準は定めておらず、水質、大気及び土地利用に関する環境法令の中で、シェールガス開発・生産活動に関連する主な要求事項をまとめている。

【No.6 Caltex Energy社の水圧破碎事故のエネルギー資源保全委員会の調査報告】

エネルギー資源保全委員会が調査した、グランドプレーリー付近で2011年9月22-23日にクルー・エナジー社によって引き起こされた水圧破碎に係る事故に関するレポート。

【No.7 ホーンリバー堆積盆地で発生した微小地震の調査】

2009年4月～2011年12月の間にカナダ・ブリティッシュコロンビア州ホーンリバー堆積盆地(Horn River Basin)で発生した低エネルギーかつ自然地震とは異なる微小地震に関してブリティッシュ・コロンビア州石油・天然ガス委員会(BCOGC; BC Oil and Gas Commission)が実施した調査報告書

【No.8 欧州での水圧破碎からの環境及び健康への潜在的なリスク特定】

欧州での水圧破碎を含む炭化水素操業からの環境及び健康への潜在的なリスク特定のサポート(欧州委員会環境総局への報告)

【No.9 水圧破碎による環境有害要因の解析】

水圧破碎センターに対して、飲用水資源への潜在的なリスクへの懸念、その他の問題が提起され、議会は水圧破碎と飲用水資源との関係を調べるための研究を行うよう、米国環境保護庁（EPA）を指導した。このモデル化の目的は、それらが生じると予想される条件の範囲を識別して、可能性のある問題シナリオのシミュレーションの提供により EPA の議会への報告書を支援することである。

【N o. 10 飲料水源への水圧破碎による影響の研究】

EPA が、水圧破碎オペレーションが飲料水に与える可能性のある影響について、取水、化学物質の混入、坑井圧入、フローバック・油汚濁水、廃水処理・廃棄物廃棄の観点から研究した文献

【No. 1 : 規制・ガイドライン】

シェールガス・オイルの開発に係る規制・ガイドライン

国/州名	規制名称 (制定日)	規制機関	規制概要	ウェブリンク
米国コロラド州	Rules and Regulations (最終改正 : 2013/8/1)	Colorado Oil & Gas Conservation Commission (COGCC)	<p>State of Colorado Oil & Gas Conservation Commission (COGCC) が石油・ガス産業に関する規制を行っており、水圧破碎処理に関する主なものには以下のとおり。</p> <p>【Rule205】 操業者は、水圧破碎を含む掘削、坑井の仕上げ、改修作業の間、坑井サイトにおいて保持されている化学物質の在庫を管理し、要請に応じて速やかに当局や衛生専門家へと提示する必要がある。</p> <p>【Rule205A】 水圧破碎処理の完了から 60 日以内、かつ処理開始から 120 日以内に、操業者は水圧破碎処理に使用された化学物質添加剤に関する、化学物質公表登録フォームを作成し提出しなければならない。</p> <p>【Rule317】 ・操業者は、適切なケーシング・セメンチングを行い、ガスや流体がより浅い層の帯水層へと漏出しないようにしなければならない。 ・操業者はセメントが、貯留層を適切に隔離していることを確かめるため、ケーシングに關してセメントボンドログを実施しなければならない。</p> <p>【Rule317B】 公共飲用水の水源付近で実施される石油ガス開発について、強制的な</p>	http://cogcc.state.co.us/ http://cogcc.state.co.us/RR_Docs_new/rules/200Series.pdf http://cogcc.state.co.us/RR_Docs_new/rules/300Series.pdf http://cogcc.state.co.us/RR_Docs_new/rules/900Series.pdf http://cogcc.state.co.us/RR_Docs_new/rules/1100Series.pdf

国/州名	規制名称 (制定日)	規制機関	規制概要	ウェブリンク
			<p>抑止、ベースラインサンプリング、及び環境対策の強化が規制されている。</p> <p>【Rule34】 操業者は、水圧破碎作業の間、プロダクションセーフティ外側の圧力をモニタリングして記録し、200 psig を超える圧力の増加を直ちにOGCCに報告しなければならない。</p> <p>【Rule902-905】 坑内の流体による土壤、地下水又は表層水の汚染防止のため、ピットの運用、許可、報告、ライニング、廃止、モニタリング及び二次格納に関して規制している。</p> <p>【Rule1101-1103】 水圧破碎流体の輸送に使用されたものも含め、フローラインの設置、運営及び廃棄のための規制を課している。</p>	http://www.occeweb.com/rules/rulestxt.htm http://www.occeweb.com/rules/Web%20Ready%20Ch10%20FY14%2007-01-13%20Searchable.pdf

規制名 国/州名	規制名称 (制定日)	規制機関	規制概要	ウェブリンク
			<p>れた化学物質に関する情報を、FracFocus Chemical Disclosure Registry か、OCC に直接提出しなければならない。</p> <p>【Rule 165:10-3-4(c)(1)】</p> <p>ケーリング及びセメンチングの最低基準が規定されている。</p> <p>【Rule 165:10-3-4(e)】</p> <p>操業者は、水圧破砕処理の遅くとも 24 時間前までに、関連する保護地区行政事務所 (Conservation Division District Office) や現場監査人 (Field Inspector) に対して水圧破砕処理の開始時刻を報告しなければならない。</p> <p>【Rule 165:10-3-4(c)(7)(l)】</p> <p>ケーリングやセメンチングに問題が発見された後 24 時間以内に、操業者は保護地区行政事務所に報告しなければならない。</p> <p>【Rule 165:10-7-5(c)(1)(A)】</p> <p>操業者は、有害物質の漏えいが発見された場合には、24 時間以内に地区行政事務所や現場監査人へ報告する必要がある。</p>	http://info.sos.state.tx.us/pls/pub/readtac\$ext.TacPage?sl=R&app=9&p_dir=&p_rloc=&p_tloc=&p_ploc=&pg=1&p_tac=&ti=16&pt=1&ch=

国/州名	規制名称 (制定日)	規制機関	規制概要	ウェブリンク
米国アーカンソー州	Fracking Fluid Chemical Disclosure Rules 2011/1/15	the Arkansas Oil & Gas Commission (AOGC)	操業者は、フラクチャリング作業の実施前と完了後に、水圧破碎に使用されたすべての化学物質の情報を開示しなければならない。	http://www.aogc.state.ar.us/OnlineData/Forms/Rules%20and%20Regulations.pdf 3&rl=29
米国ルイジアナ州	Title 43 of the Louisiana Revised Statutes, under Subpart 1, Statewide Order No. 29-B 2011/10/20	Department of Natural Resources (DNR)	操業者は、水圧破碎に使用されたすべての流体で、連邦労働安全衛生局 (OSHA) の危険有害性周知要件 (29 CFR 1910.1200) の対象となりかつ特許とはみなされないものについて開示が要求される。 操業者は、CAS (Chemical Abstracts Service) 番号および化学物質濃度を坑井の完成から 20 日以内に保全課または化学物質開示登記 (FracFocus.org) に報告する必要がある。	http://dnr.louisiana.gov/assets/OC/43XIX_June2010.pdf
米国ペンシルバニア州	H.B. 1950 2012/2/14	Pennsylvania Department of Environmental Protection	操業者は、水圧破碎に使用されたすべての化学物質および濃度を破碎後 60 日以内に開示しなければならない。	http://www.portal.state.pa.us/portal/server.pt/community/laws%2C_regulations_guidelines/20306

国/州名	規制名称 (制定日)	規制機関	規制概要	ウェブリンク
Oil and Gas Act - Act 223		ペンシルバニア州における石油・ガス・石炭開発に関する規則。以下の内容を規定している。 ・環境資源局（Department of Environmental Resources）の義務と権限 ・土地所有者を保護するための規程（水源の 1000 フィート以内で開発を行う場合には水源の所有者に事前に郵送で通知する義務、1000 フィート以内の水源における採掘後 6 ヶ月以内の水質汚濁については事前の水質検査が行われなかつた場合には開発業者に推定責任、廃水の回収） ・坑井の認可、登録（所有者または開発業者が登録すべき項目、登録期限） ・距離やケーリングに関する要件（既存の建物や水の井戸から 200 フィート以内での採掘には所有者からの書面での同意が必要、小川や泉等の水源から 100 フィート以内での採掘や開発の禁止、真水の帯水層よりも下の深さまでケーリング・セメンチングが必要）等	http://files.dep.state.pa.us/OilGas/BOGM/BOGMPortalFiles/LawsRegGuidelines/Act223 uc.doc	
米国ウェストバージニア州	H.B. 401 2011/12	West Virginia Department of Environmental Protection	操業者は、シェールガス開発および水圧破碎に係る添加剤および GAS 番号の開示が求められる。	http://www.dep.wv.gov/oil-and-gas/Resources/Regulations/Pages/default.aspx

国/州名	規制名称 (制定日)	規制機関	規制概要	ウェブリンク
カナダ	CAPP's Guiding Principles and Operating Practices for Hydraulic Fracturing (2012年12月)	Canadian Association of Petroleum Producers	<p>水圧破碎に関するガイドラインを定めたもの。以下の文書から構成される。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ガイドライン ・産業連携について <p>#1 水圧破碎流体の添加物開示</p> <p>#2 水圧破碎流体の添加物によるリスクの評価と管理</p> <p>#3 ベースラインの地下水テスト</p> <p>#4 坑井掘削および、水圧破碎と健全性</p> <p>#5 水の調達、管理及び再利用</p> <p>#6 流体輸送、取扱、貯蔵及び処分</p> <p>#7 変則的な誘発地震：モニタリング、緩和及び対応</p> <p>カナダではブリティッシュ・コロンビア州がガス埋蔵量の大半を占めており、同州内での規制が多い。</p>	http://www.capp.ca/canadianindustry/naturalGas/ShaleGas/Pages/default.aspx#operating
フランス	水圧破碎による非在来型資源（シェール・ガス／オイル）の開発・採掘を禁じる法	Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie	<p>事業者は、原油等の開発のための水圧破碎法の実施は禁止されている。</p> <p>事業者は、採掘に使用する方法を政府に報告しなければならない。</p>	http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000024361355

国/州名	規制名称 (制定日)	規制機関	規制概要	ウェブリンク
（ loi n 。 2011-835） (2011年7月)	Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety(連邦環 境自然保護原子 力安全省)	<ul style="list-style-type: none"> Exxon Mobileによるシェールガス開発を受け実施された水圧破碎による環境影響に関する調査報告書。 本調査を受け、ドイツ連邦環境自然保護原子力安全省は水圧破碎技術に関する規制を制定する予定。 報告書では、環境、技術、法規制及び管理面々で推奨される対応をまとめている。 	http://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Wasser_Abfall_Boden/quachten_fracking_2012_en.pdf	
ドイツ 非在来型ガス 調査・水圧破 碎の環境影響 調査報告書 (2012年11 月)	The Royal Society and The Royal Academy of Engineering review of hydraulic fracturing” 2012/6	<p>左記文献では、事業者に対して以下の義務を課すことが提言されている。</p> <p>(地下水汚染)</p> <ul style="list-style-type: none"> 事業者は、シェールガス事業の事前、実施中および事後に、地下水に含まれる汚染物質のモニタリングを実施し、監督官庁へ提出する必要がある。 (坑井の健全性) 	http://royalsociety.org/uploadedFiles/Royal_Society_Content/policy/projects/shale-gas/2012-06-28_Shale-gas.pdf	

規制名称 (制定日)	規制機関	規制概要	ウェブリンク
		<ul style="list-style-type: none"> ・事業者は、坑井の健全性に関する試験を確実に実施し、報告書をエネルギー・気候変動省（DECC）へ提出する必要がある。 （誘発地震緩和） ・事業者は現地の地質調査を行い、地震活動のモニタリングに基づいて、操業の是非を判定する「信号機システム」を導入し、誘発地震が生じた場合に軽減する措置を講じられるようにしなければならない。 （ガス漏出） ・事業者は、シェールガス事業の事前、実施中および事後に、メタンをはじめとする排出物質を監視し、監督官庁に報告する必要がある。 （水の管理） ・水の使用を最小限に抑え、廃水は可能な限りリサイクル・再使用しなければならない。 （環境リスク管理） ・シェールガス採取のライフサイクル全体にわたる環境リスク（地震のリスクも含む）を評価しなければならない。 （リスク管理） ・事業者は、リスクを「合理的に実行可能な限り低い（ALARP）」レベルまで低減させるという原則に従い、リスク評価を行なわなければならぬ。 	

【文献要旨 : No. 2】

年月	2011年10月
文献発行機関	The Pennsylvania Department of Environmental Protection (DEP)
対象国/州	ペンシルバニア州
問題の種類（カテゴリー）	飲料水への影響
文献名称	地域飲料水供給に対するマーセラスガス掘削の影響 (The Impact of Marcellus Gas Drilling on Rural Drinking Water Supplies)
ウェブリンク	-
概要	
<p>ペンシルバニア州におけるマーセラスでの飲料水への影響</p> <p>ペンシルバニア州郊外のマーセラス地域近くの水井戸を対象として、マーセラス地域のガス井の掘削前後にその水質について行った大規模な調査について報告したレポートである。レポートの概略は以下の通りである。</p>	
<p>背景</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ペンシルバニアでの油・ガス井の掘削は1859年から行われており、これまでに350,000以上の油・ガス井が掘削されている。 ・ マーセラス地域のシェール開発による水平坑井と在来型の垂直井との違いは大量の水が使われ、大量のケミカルが使われることである。ケミカルによる水汚染の可能性については懸念されるものの、最近までU.S. EPAでは規制されていなかったが、ペンシルバニア州環境省(DEP)はフラクチャーリングで使われるケミカル類の公表を課すこととした(2011)。 ・ 過去に、フローバック流体中に飲料水の安全基準を超える成分があることが報告され、不適切な坑井仕上げ、貯水、あるいは漏えいによる汚染の可能性が指摘されたことがある。また、不適切な坑井仕上げのためメタンガスが浅い地下水層へ移動すると、水に溶け込んだメタンガスが居室等で水から分離して爆発の危険があるとも指摘されており、これまでに地下水に移動したメタンガスによる家、キャンプ施設の爆発事故がいくつか報告されており、マーセラス地域に近いDimock Pa.の事例(2009)も含まれている。 ・ 北東ペンシルバニアの最近の調査ではマーセラス地域に近い水井戸のメタンガス濃度が上昇していることもわかっている(2011)。本調査における掘削作業前のベースラインとなる溶解メタンガスの濃度が、自然由来か、ガス井掘削によるのか、十分に調査 	

が行われておらず、資料もないため明らかではない。

調査方法概要

- ・ 2010 年、2011 年にペンシルバニア郊外のマーセラス地域のガス井近くおよび作業地域内の 233 か所の水井戸からサンプリングし、調査した。調査対象を 2 フェーズに分けて実施した。各フェーズの概要は以下のとおり。
 - フェーズ 1：マーセラスの坑井基地から 2,500 フィート以内にある 48 か所の水井戸を対象として、マーセラス地域の掘削作業前後に水を採取し、3 か所の調査機関で成分、固形分、溶解メタンなど分析した。
 - フェーズ 2：坑井基地より 5,000 フィート以内の 185 か所の水井戸に対象拡大し、マーセラス地域の掘削作業後のみ水を採取して分析した。メタン、臭素、油分以外、フェーズ 1 と同様の分析を実施した。

結果概要

- ・ 概略
 - フェーズ 1 の全てのサンプルはフラクチャリング後 8 か月以内に採取され、作業後試料のうち 74% はフラクチャリング後 70 日以内に採取されており、比較的短期間の変化に焦点があてられている。フェーズ 2 のサンプルは、フラクチャリング後 2 日から 800 日以上広範囲に及び、うち 62% がフラクチャリング後 6 か月以内、83% が 1 年以内に行われており、17 坑井は 1 年以上経過後、3 坑井（2%）は 2 年以上経過後に行われた。
 - 189 の水井戸の試料のうち、24% でメタンガスの含有していることが新たに確認されたが、19% は 1 mg/l 以下であり、2% が 10 mg/l 以上、1% が 20 mg/l 以上であり、いずれも注意・警告の数値をはるかに下回る結果であった。
 - 今回の地域の水は、沈殿物、塩素濃度、臭素濃度、バリウム濃度、金属類など掘削作業に起因する成分が相対的に一般の地下水より高かったが、その原因については明らかではない。
- ・ 作業前分析の結果
 - 調査結果によると、約 40% の掘削作業前の水が州の飲料水規格の基準を少なくとも 1 項目が超えており、最も頻度が高かったのは大腸菌、次いで濁り、マンガン濃度が基準を超えていた。これらは過去の調査と類似している結果であった。また、水井戸所有者の多くはこのことを理解していないこともわかった。
- ・ 作業前後の分析の比較
 - 掘削作業前後の分析結果を統計的に解析したが、ガス井掘削あるいはフラクチャリングによる影響は認められなかった。いずれも飲料水の安全基準に問題のない数値であるが、特記事項としては以下の 2 点があった。

- ✧ 溶解メタンガス：フェーズ 1 の対象 48 坑井の作業後試料のほとんどが検知限界の 0.02 mg/l 以下であった。作業前後の分析結果の比較からはメタン濃度の顕著な増加は認められず、唯一作業後メタン濃度の上昇がみられた試料も掘削作業の現場からのものであり、フラクチャリング現場からの試料では上昇は見られなかった。
- ✧ 臭素：一般に臭素は地下水（表層）には含まれないが、地層水あるいは掘削泥水に含まれるため、本調査の分析指標の一つとしていた。作業前試料ではいずれも検知限界 0.1 mg/l 以下であったが、作業後試料では掘削作業現場からの試料の 30%強 (5/16)、掘削作業およびフラクチャリング作業を行った現場からの試料の 8% (2/26) で臭素が検知された。臭素濃度が上昇した試料を採取した 7 坑の水井戸はいずれも北中部から北東部ペンシルバニアのマーセラスの坑井基地から 1,670 フィート以内の地点であった。しかし、7 坑のうち 6 坑から試料はその他成分に顕著な変化はなかった。水質の変化が認められた 1 坑（マーセラスの坑井基地から 1,400 フィート）についても飲料水の安全基準以下であり、かつフラクチャリング終了後数日のうちに採取した試料のみ上昇がみられ、約 10 か月後に採取した試料ではすべての成分が作業前の数値に戻っていた。

結論

新たに本調査の約 20%の試料から溶解メタンガスが検知されたが、いずれも問題ない濃度であり、総じて、本調査の作業前の分析結果は過去の調査結果と大きく変わらなかった。作業前後の分析結果比較からはマーセラス地域の作業の影響による地下水の水質に変化は見られなかった。

【文献要旨 : No. 3】

年月	2011年12月
規制実施機関	New York State Department of Environmental Conservation
対象国/州	New York State (Marcellus)
問題の種類（カテゴリー）	地下水汚染、エコシステムと生態系、大気汚染、GHG 排出、社会経済、騒音等、輸送、NORM、地震活動
文献名称	石油・天然ガス開発に関する環境影響評価規制プログラム。 マーセラスシェールやその他の低浸透率ガス層開発のための水平掘削及び大容量水圧破碎の坑井許可証発行 (SGEIS on the Oil, Gas and Solution Mining Regulatory Program Well Permit Issuance for Horizontal Drilling and High-Volume Hydraulic Fracturing to Develop the Marcellus Shale and Other Low-Permeability Gas Reservoirs)
ウェブリンク	http://www2.epa.gov/sites/production/files/documents/hf-report20121214.pdf#page=75
概要	
<p>マーセラスに関するニューヨーク州の環境影響評価</p> <p>1992年版油ガス開発に関する環境影響報告書(GEIS)の改訂版のドラフト(dSGEIS)報告書であり、大規模水圧破碎(フラクチャリング)は1992年版の規定と全く異なるものとなっている。dSGEISの改訂は2008年秋より開始され、フラクチャリングなど新たな技術による環境影響が、州の環境基準(SEQRA: the State Environment Quality Review Act)を満たすか調査するために準備され、2009年9月に発行されたがまだ内容的に不十分であつたため調査対象を追加し再発行されたものである(2011年9月)。</p>	
<p>dSGEIS の概要</p> <p>2009年版 dSGEIS と比較してフラクチャリングに関する調査を追加した。内容概略は以下のとおりである。</p> <p>第1章 概要</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 2009年版 dSGEIS からの変更点の要約 <p>第2章 推奨されるアクション</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 目的、公的な要求および推奨されるフラクチャリング作業の利点について <p>第3章 推奨される SEQRA の審査プロセス</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ ニューヨーク州においてフラクチャリングを実施する申請を審査する際、当局が1992年版 GEIS と改訂最終版 SGEIS をどのように利用されるか、特に以下のフラクチャリング作業に対して環境アセスメント、SEQRA の要求事項が義務付けられ 	

る。

- ✧ フラクチャリング対象層が 2,000 フィート以浅の場合
- ✧ フラクチャリング対象層の上限と既存の水井戸層の間隔が 1,000 フィート以内の場合
- ✧ 主要な水層の境界内部あるいは境界から 500 フィート以内に坑井基地を設置の場合
- ✧ 河川、湖沼、下水から 150 フィート以内に坑井基地を設置の場合
- ✧ 7 章に記載する当局推奨の方法で地表水を引き込むことができない場合
- ✧ 坑井位置がニューヨーク環境保護省 (NYCDEP) の定める地下の水供給設備から 1,000 フィート以内の場合

第 4 章 地質

- 1992 年版 GEIS に記載される地質情報にマーセラス並びウチカシェール、ニューヨーク州の地震活動、NORM およびニューヨーク州の自然由来のメタンガスについて追記している。2009 年版 dSGEIS からの変更点はない。

第 5 章 天然ガス開発とフラクチャリング

- フラクチャリングおよびマルチパッド掘削を伴う作業について、ペンシルバニア等他所の最近の情報も含め、新たな規定を追加している。
- ✧ マルチパッド掘削では坑井基地の面積は広くなるが、坑井基地を複数敷設する必要がなく、全体として環境負荷も少なくなるとしているが、フラクチャリング作業全般について規定されており、仕上げについても当局として 3 層以上のセメンチングが施されたケーシング設置を義務付けている。
- ✧ 作業後のフローバックについて、その量、特徴、リサイクルおよび廃棄処理についても規定している。

第 6 章 環境影響

- 1992 年版 GEIS の記載に従ってフラクチャリングによる環境影響を特定した。7 章で提案されているこれら環境影響に対する低減・緩和措置と併せて下表にまとめ る。

環境影響の対象	その要因	環境影響の可能性の事象および追加検討事項	低減・緩和措置および提言事項
水の供給源	地表水および地下水からの取水	▶ 取水量は飲料水需要の地下水位レベル、表層水 2.4%程度に過ぎないが、一時的に同じ供給源からの取水は重大な負荷となりうる。	▶ ニューヨーク州およびシラキュース川河川域の取水エリア内でのフラクチャリングの禁止 ▶ 主要な水源エリアおよび植物の自生地・森林地帯など特定地域内でのフラクチャリング原則禁止の提案
	全ての天然ガス坑井開発活動（土地開墾、道路敷設、設備設置地域、掘削、フラクチャリング他）	▶ フラクチャリング流体および生産流体が適切に管理されない場合、雨水などに混入し水源に影響を与える。 (1992 版 GEIS で対応済み)	▶ 主要な水源エリアおよびその周辺（500 フィート以内）での環境レビューの実施の提案
	マルチパッド掘削およ	▶ 一般的な開発活動より大量	

	び多段階のフラクチャリング	の流体を高圧で扱うので、より大きな負荷となりうる。	▶上水施設から 2,000 フィート以内でのフラクチャリング禁止の提案
	坑井掘削および坑井仕上げ	▶坑井の健全性に問題がある場合、ケーシングまたはセメントチング不良箇所より地下水を汚染する可能性がある。	▶氾濫源または私有の水井戸から 500 フィート以内でのフラクチャリング禁止 ▶フラクチャリング流体の成分に関する情報開示義務 ▶ケーシングの強化(ケーシング 3 層を義務化) ▶漏洩対策の二重化および雨水管理の義務化
	廃水の処理	▶すでに州法でも規定されており重大な負荷はないと考えられるが、洪水などが生じて泥だめおよびタンクの流体が溢れた場合には負荷となりうる	▶廃水および固体廃棄物処理に対するトラッキングシステムの義務化
生態系および野生生物	フラクチャリング	▶掘削およびフラクチャリング作業に伴う敷地造成、インフラ整備が、生息地の喪失、細分化により種および個体数に大きな負荷となりうる	▶150 エーカー以上の森林、30 エーカー以上の平原の開発に対する許可申請の義務化
大気	全てのオペレーション	▶NO ₂ と PM2.5 の影響のモデリングを追加検討した。	▶大気環境のモニタリング
GHG	全てのオペレーション	▶すでに dSGEIS で対応済みであるが、特に CH ₄ の排出対策に重点をおいた。	▶GHG 削減計画策定の義務化
社会経済	全てのオペレーション	▶雇用および収入に対してプラスの影響となりうる。 ▶急激な労働者の増加によりホテルなど居住確保に対して負荷となりうる。	—
騒音等	フラクチャリングおよび準備作業	▶騒音および景観に対して負荷となりうる(一時的)。	(その他) ▶許可証発行前の作業現場レイアウト、各坑井のケージングとセメンチング計画のレビューを実施 ▶中間ケージングのフルホールセメンチングの実施 ▶フラクチャリング機材の耐圧試験の実施 ▶2 種類以上の噴出防止装置の使用および機器の耐圧試験の実施、作業の専門家の立会い ▶廃棄物運搬トラックが通行する道路が適切であることの証明 ▶特定地域におけるパッド内の坑井数およびパッド数の制限 ▶騒音低減対策の実施 ▶景観対策の実施

第 7 章 低減・緩和措置

上表参照。

第 8 章 許可手続き

- 坑井の許可に関する内部手続きについての説明。

第 9 章 代替手段

- SEQRA の要望により dSGEIS は代替手段は認められないとしている。

第 10 章 ペンシルバニアで発生した事例のレビュー

- ケーススタディにより dSGEIS はニューヨーク州においてそのようなリスクを抑えるようにペンシルバニアで発生した事例をレビューする。

第 11 章 まとめ

- 1992 年版 GEIS により実施された低減対策の概要および環境影響とその低減措置(6 章、7 章)のまとめ。

今後パブコメを経て、SGEIS 最終版が発行される予定。

【文献要旨 : No. 4】

年月	2013 年 3 月
文献発行機関	TCEQ : Texas Commission on Environmental Quality (テキサス州環境品質委員会) TRRC : Texas Rail Road Commission (テキサス州鉄道委員会)
対象国/州	テキサス州
問題の種類 (カテゴリー)	地表水、地下水の水量不足、水質の悪化
文献名称	イーグルフォードシェールタスクフォース報告書(Eagle Ford Shale Task Force Report)
ウェブリンク	http://www.rrc.state.tx.us/commissioners/porter/reports/Eagle_Ford_Task_Force_Report-0313.pdf
概要	
<p>テキサス州におけるイーグルフォード開発による水源や水質への影響</p> <p>テキサスの油ガスの探鉱・開発を統制し、120 年以上重大な役割を担ってきた鉄道委員会が、2011 年には“フラクチャリングに使用するケミカルを公表する規則”を公布し、現在もそれらが機能しているかレビューしている。</p> <p>鉄道委員会コミッショナーが種々の部門の 24 人をメンバーとする“イーグルフォード特別委員会”を産業の効率的な発展と住民の健康と安全を守ることを検討するため 2011 年に立ち上げた。主な委員会は以下の項目について検討しているが、テキサス州はこれまでも、油ガス開発を積極的に行ってきており、様々な法・規制などにより統括されており、基本的にはシェール開発は同様に扱われている。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 雇用創出 2. インフラ 3. 水質および水量 4. 鉄道委員会規則 5. 経済的利益 6. フレアリングおよび大気放散 7. 健康管理、教育および社会事業 8. 地権者、鉱業権者およびロイヤリティ <p>これらの委員会の検討事項のうち、環境に影響のある、水質および水量に関する事項並びにフレアリングおよび大気放散に関する事項について、概略を以下に記す。</p> <p>➤ 水質および水量</p> <p>✧ ガス産業では探鉱、生産活動、特に後者において地表の水および地下水を利用する。2012 年の州の水利用計画における鉱山（石油、ガス、石炭、碎石、その他金属の探鉱、開発、採掘）での水使用量は全体の 1.6%に過ぎず、灌漑</p>	

事業（55.9%）および地域の水利用（26.9%）が全体の8割以上を占める。今後50年の使用量についても地域の水利用は増加する見込みがあるが、鉱山での水利用は現状維持あるいは減少し、2050年には1.3%にわずかに減少すると見込まれている。

❖ フラクチャーリングによる水に対する一般的な関心事は

- ・ 地上および地下水の供給への影響
- ・ 作業の失敗などによる地下水への汚染の懸念
- ・ ケミカル類等廃棄物管理の問題

としているが、他の油ガス井と同様の地下水保護のための仕上げのルールおよび坑井の圧力の監視のルールで扱われるとしている。加えてフラクチャーリング流体のケミカル類の公開のルールも要求されることになる。

❖ テキサス州でのフラクチャーリングは、利用可能な地下水層の1マイル以上も深い地層に対して行われており、フラクチャーが地下水層に届くことはほとんどありえないと考えており、過去60年間フラクチャーリングによる地下水の汚染の事例は1例も報告されていない。

❖ EOR、廃水圧入、地下貯蔵、鉱泉などの地下への流体の圧入については1936年から規制されおり、圧入するためには州の許可が必要となる。

➤ フレアリングおよび大気放散

❖ 全てのガスの放散は規制されており、10日を超える放散は委員会の許可が必要となる。

貯水ピットの管理、廃棄物管理、廃棄物運搬、リサイクルなど環境影響を及ぼすと考えられる要因は全て規制されており、実行の際には委員会の許可が必要となる。技術の進歩も考慮し、公からの情報も取り入れつつ、今後も継続してレビュー、規則の更新を行っていくことを確認している。

【文献要旨 : No. 5】

年月	2009 年 4 月
文献発行機関	Environmental Protection Agency (EPA:米国環境保護庁)
対象国/州	U. S. A
問題の種類（カテゴリー）	水質、大気、土地
文献名称	米国における現代シェールガス開発（法的枠組み）(Modern Shale Gas Development In The United States –Regulatory Framework–)
ウェブリンク	http://fracfocus.org/sites/default/files/publications/shale_gas_primer_2009.pdf
概要	
<p>米国の石油・ガス開発及び生産に伴う活動は、すべての側面において、連邦、州、地元政府レベルの法規制やプログラムの組み合わせによって規制されており、シェールガスの開発もこれらの法規制の適用を受ける。そして、これらの法規制により、掘削、生産から廃坑までを通して、人の健康や環境を保護するための要求事項が課されている。また、同時にこれらの要求事項により環境リスクが低減され、水、大気、土地等への悪影響が軽減されている。</p> <p>各州や地方政府は、環境保護庁（EPA）等の連邦機関の許可を経て、独自の上乗せ基準を設定できる。</p> <p>水質、大気及び土地利用に関する環境法令の中で、シェールガス開発・生産活動に関連する主な要求事項は以下のとおりである。</p>	
<p>1. 水質</p> <p>(1) Clean Water Act (EPA)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・シェールガス掘削・生産に係る水の排出に関しては、汚染物質の排水基準を定めている。 ・シェールガス掘削・生産に係る水の地表への直接排出に際しては、許可が必要とされている。 <p>(2) Safe Drinking Water Act (EPA)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・シェールガス生産に伴う流体の地下圧入に関して規制を行っている。 ・UIC(“Underground Injection Control”)プログラムにより、廃水の地下飲用水源への圧入について、安全な廃水圧入処理の基準が設定され、同時に特定の圧入処理が禁止されている。 <p>2. 大気</p> <p>(1) Clean Air Act (EPA)</p>	

- ・大気汚染物質の排出基準を規定している（ただし、温室効果ガスは対象外）。
- ・坑井の種類や在来型・非在来型の区別に限らず基準は一様である。
- ・特定の汚染物質についての基準未達成地域（“nonattainment areas”）においては、より厳しい基準の順守が求められる。
(例：Dallas-Fort Worth オゾン基準未達成地域に位置する Barnett Shale Play)
- ・2007年にEPAにより設定された”Maximum Achievable Control Technology (MACT) standard for hazardous air pollutants (HAP)“においては、居住区付近の小規模地域源（シェールガス操業地域等）に関する主にベンゼンなどのHAPの工程からの排出基準が規定されている。
- ・施設所有者と操業者は、許可証（“Air permits”）という法的書類（排出基準等の条件が記載）に従うことが求められており、シェールガス操業者も個々の排出源（掘削・生産に関するエンジン等）に関して許可証への順守が必要となる。

3. 土地使用

(1) National Environmental Policy Act (EPA)

- ・連邦の土地上での開発・生産について、その環境影響の徹底的調査を要求している。

【文献要旨 : No. 6】

年月	2012 年 12 月
文献発行機関	Energy Resources Conservation Board (ERCB) Calgary Office
対象国/州	カナダ アルバータ州
問題の種類（カテゴリー）	帯水層汚染
文献名称	カルテックスエナジー社の水圧破碎事故 16-27-068-10W6M 2011 年 9 月 22 日のエネルギー資源保全委員会の調査報告 (Caltex Energy Inc. Hydraulic Fracturing Incident 16-27-068-10W6M September 22, 2011 ERCB Investigation Report)
ウェブリンク	http://aer.ca/documents/reports/IR_20121220_Caltex.pdf
概要	
<p>エネルギー資源保全委員会（以下、「ERCB」）は、グランドプレーリー付近で2011年9月22-23日にCrew Energy Ltd.（クルー・エナジー株式会社）によって引き起こされた水圧破碎に係る事故に関する本調査レポートを発行した。概要は以下の通り。</p>	
<p>1. 事故の説明</p> <p>2011 年 9 月 22 日、Crew Energy Inc. (Crew 社) は、Caltex HZ ELM 11-34-068-10W6M (実際の坑底位置) の坑井において、4 段目の水圧破碎作業の前段としてパーフォレーションを計画していたが、深さ 136 メートル (mMD) において、間違ってパーフォレーションが行われた¹。しかしそれに気づくことなく作業流体としてゲル化プロパンを使用した水圧破碎作業が実施され、20.07 トンの砂及び 130 立方メートル (m³) のゲル化プロパンがポンプで圧入された。</p> <p>水圧破碎を浅いパーフォレーション部で実施した事が判明した時点で、フラクチャリング区間のフローバック作業が実施された。2 本のモニタリング井による地下水モニタリングプログラムが開始され、この事故による地下水に対する影響の評価が継続して行われている。モニタリング井は、LSD 16-27-068-10W6M に位置する水圧破碎坑井の地表位置の北東約 50 メートルに位置している。この位置は、予想される水の移動方向に基づいて、Crew 社が提示し、アルバータ州の環境・資源維持開発省 (ESRD: Environment and Sustainable Resource Development) が承認した。</p>	
<p>【事象の経緯】</p> <p>9 月 21 日</p>	

¹ Crew Energy Inc. は、この事象の前に Caltex 社を買収していた。Crew 社は、2 社の事業を融合する過程にあり、本坑井サイトでの活動に対して責任を負っていた。

- ・坑井循環によりガンパー屑等を排出するため、坑井に液体を充填した。

9月22日

- ・ガンパーをコイルドチュービングで降下させ、坑井にパーフォレーション実施。
- ・コイルドチュービングが圧潰。
- ・コイルドチュービングを再度降下させ、坑井内を窒素に置換。

9月23日

- ・プロパンによるフラクチャリングを実施。
- ・ブリッジプラグを設置したが、ケーシングの圧力試験は不合格。

9月24日

- ・ダウンホールパッカーを降下し、圧力隔離試験を実施。パーフォレーションが 130 mMD と 150 mMD の間にあることを確認。

9月25日

- ・ダウンホールカメラを降下させ、正確なパーフォレーション位置を確認。パーフォレーション位置が 136.21 mMD であることを確認した。
- ・坑井フロー開始。

9月26日～10月9日

- ・坑井フローを継続。

10月10日～14日

- ・作業なし。

10月15日

- ・136 mMD で、パーフォレーション部にスケイズセメンチング実施。

2. 調査結果

2.1 流体の変更

(1) 観察結果

深さ 1 650 mMD におけるフラクチャリング作業の前段階のブリッジプラグ降下が坑井内のガンパー屑等のために、計画していた深度に到達しなかった。坑井からガンパー屑等を除去するために、塩化カリウム (KCl) 水を坑井内で循環した。結果的に、坑井はガス充填状態ではなく、液体が充填された状態のままになった。

(2) ERCB の所見

コイルドチュービングによるパーフォレーション計画において、坑井を当初予定していた窒素の代わりに KCl 水で充填するという変更が生じた。坑内が KCl 水に満たされたことで坑内が低圧縮性となり、その結果窒素を充填した坑井に比べて編成降下による圧力上昇が急激になったと考えられる。

2.2 圧力測定

(1) 観察結果

ガンパーを坑井内に送り込んでいる間、コイル内及びコイルドチュービングープロダクションケーシングアニュラスの圧力は 8 000 kPa に保持されることになっていた。これは、坑井からテストセパレーターへ流体を脱圧することにより管理されることになっていた。リアルタイムでの圧力の記録は、コイルドチュービング装置データレコーダーが機能しなかったためできなかった。コイルドチュービングサービス会社のオペレーターがアニュラス圧力の 10 000 kPa への上昇を観察したが、対応する深度を記録しなかった。したがって、コイルドチュービングがジャンプした際のコイルドチュービング内部及びコイルドチュービングのアニュラス圧力は不明である。アニュラス圧力を管理する指標である脱圧された流体量も記録されなかった。

(2) ERCB の所見

坑井には KCl 水が充填されていたものの、コイルドチュービングガンパーは、坑井中で元のガス充填坑井用の手順を使用して降下や引き上げが行われた。この手順は、坑井の中の流体に適合するように変更されなかった。

その中でも特に重要なのは、コイルドチュービングープロダクションケーシングアニュラスに加わる圧力を 8 000 キロパスカル (kPa) に維持する手順であった。坑口装置の圧力計は、ガンパーを降下中坑口圧をモニタリングするために用いられていた。コイルドチュービング装置のコンピューターによるモニタリング及び記録は作動しておらず、コイルドチュービング及びコイルドチュービングープロダクションケーシングアニュラス内部の圧力を追跡することも記録することもできなかった。

2.3 ガンパーの誤深度発射

(1) 観察結果

パーフォレーションが確認された深度である約 137 m において、降下中のリール上でコイルドチュービングがジャンプした。これは、コイルドチュービングリールのコイルの巻き方の問題であると解釈された。ガンパーがこの深度において発射された可能性は、その時点では認識されなかった。

(2) ERCB の所見

137 mMD でのコイルのジャンプは、深度を外れたパーフォレーションの第 1 の証拠である。降下間にガンパーがこの深度において発射された可能性は、この時点では考慮されなかつた。その結果、ガンパーの誤深度発射の原因もこの時点では着目されなかつた。

2.4 ガンパーの予定深度での試行

(1) 観察結果

ガンパーは計画深度である 1 486 mMD まで降下され、坑井をパーフォレーションするために加圧された。パーフォレーションはシヤーピン圧で起動し、27 330 kPa で発射することになっていた。観測された圧力は 17 000 kPa であり、設計圧力を 10 000 kPa 以上下回っていた。この差異は重大な逸脱であると認識されず、坑井が計画の深度でパーフォレーションされなかった可能性があることを示すものとも認識されなかった。

(2) ERCB の所見

観測された 17 000 kPa の圧力が設定圧力を大幅に下回ることは、サービス会社によっても Crew 社の監督によても、作業中に認識されなかった。このことは、ガンパーの誤深度発射の第 2 の徵候として認識すべきであった。

2.5 コイルドチュービングの破損

(1) 観察結果

コイルドチュービング及びガンパーを坑井から引き上げている間に、ボトムホールアセンブリ (BHA) の上方約 75 m から 27 m でコイルドチュービングが圧潰していることが判明した。この圧潰は、パーフォレーション深度に影響を与えるとは認識されなかった。コイルドチュービングが圧潰した原因については、現場の要員によても、事象後に確認された破壊メカニズムによっても説明されなかった。その結果、コイルドチュービングの圧潰と深度を外れたパーフォレーションとの関係は、十分説明されていない。

(2) ERCB の所見

NOV Quality Tubing 社は、コイルドチュービングの損傷の最も可能性の高い原因が外力による圧潰であると結論付けた。コイルドチュービングの損傷部分の機械的試験では、規格外の材料は確認されなかった。したがって、計画の圧力である 8 000 kPa のほぼ 2 倍のアニュラス圧力がコイルドチュービングに加わり、コイルドチュービングが圧潰した可能性がある。確認された最高圧力は 10 000 kPa であったので、圧潰圧力の確認はできない。

2.6 高い蒸気圧によるフラクチャリング

(1) 観察結果

プロパンを用いた高い蒸気圧 (HVP) によるフラクチャリングが実施された。しかし、パーフォレーションが 136 mMD で行われたことには誰も気づかなかった。地上における水圧破碎のピーク圧力 (42.9 メガパスカル (MPa)) は、この坑井での他のフラクチャリング区間に比較して半分程度であった。全体的な圧力応答について、GasFrac 社の監督者は、作業の間地上圧力が低下し、作業が終了した時点で坑井の密閉圧力が低かったことから、異常であると認識していた。(GasFrac 社は、フラクチャリングポンプサービス及びゲル化プロパンフラクチャリング流体を供給したサービス会社である)

(2) ERCB の所見

密閉圧力が低いこと及び地上圧力の低下を GasFrac の監督者が認識していたにもかかわらず、疑問視されなかった。

2.7 ケーシングの圧力試験

(1) 観察結果

1 486 mMD での計画パーフォレーション区間は、1 387 mMD にブリッジプラグを設置することにより遮蔽された。ブリッジプラグ上方のケーシングの圧力試験から、ケーシングには圧力保持性がないことが判明した。このことから、ブリッジプラグ上のケーシングに問題があることが初めて認識された。引き続いて行った圧力試験及びダウンホールカメラの降下により、136 mMD でパーフォレーションされた事が判明した。

(2) ERCB の所見

ブリッジプラグ上方のケーシングの圧力試験およびダウンホールカメラ降下により、深度 136mMD でパーフォレーションされた事が判明した。

2.8 未回収のプロパン

(1) 観察結果

坑井が 136 mMD におけるパーフォレーションにおいてフラクチャリングされたことが確認されたため、坑井では可能な限りプロパン及びフラクチャリング流体を回収するためにフローバックを実施した。しかし約 42 m³ のプロパンが回収されなかった。

地表下の土壤中におけるフラクチャリング流体の動きを調査するために、地下水モニタリング用の井戸が設置された。

モニタリング用の井戸は 2 つ設置された。1 つはパーフォレーション深度 (137 mMD) まで掘削され、もう 1 つは地下 81 メートル (81 mbgl : meters below ground level) の深度でその上方に広がる、上水用帯水層 (DUA: domestic use aquifer) の可能性があると考えられる砂岩層中に設置された。モニタリング用の井戸は、Crew 社の坑井の地表位置の約 50 m 北に設置された。

プロパンと想定される可燃性ガスが、可燃性ガス検知器 (LEL) を用いて深い方の井戸の表面で検出された。しかし、ゲル化プロパンの添加化学物質は、この井戸から収集された流体サンプル中には同定されなかった。深いモニタリング用井戸のポンプ試験結果からは、フラクチャリングされた区域の圧力拳動から帯水層へ導通するには圧力が低すぎることが示された。

(2) ERCB の所見

137 mMD のフラクチャリング区域と、地下 81 mbgl より上方に広がる砂岩帯水層の間の導通は、ポンプ試験からは確認されなかった。これにより、ESRD は、本事故は飲料水資源に大きなリスクを及ぼさないと見なした。

上記調査の結果、ERCBは、Crew Energy Ltd. が浅部に施したパーフォレーションと水圧破碎は不適切な方法で行われたと結論付けた。同委員会は本件を重大な危険を及ぼしうる行為として行政処分を発動するにあたり、以下の法令違反を挙げている。

- 地下水保護基底部の上部で無毒性のフラクチャリング流体以外を使用した。
- 地下水保護基底部の上部におけるパーフォレーションおよび水圧破碎を招いた様々な問題に対する認識や適切な評価が欠如していた。

同行政処分の発動を受け、同委員会は同社に対し、将来の再発防止対策を示した是正措置計画の作成と実施を命じた。同委員会は現在、同社より提出された措置計画の監査を実施している。また、ERCBは同社に対し、Alberta Environment and Sustainable Resource Development（アルバータ州政府環境・資源維持開発省）指導の地下水モニタリングプログラムに基づくすべての分析データを提出するよう命じた。

【原因/未然防止の可能性】

- 事故発生時、流体を充填した坑井の圧力モニタリングのための機器や手順がより適切に計画されていれば、ガンパーの誤深度発射やコイルドチュービングの圧潰を回避あるいは検知できた可能性がある。
- コイルドチュービングのジャンプがガンパーの発射によるものであると認識されていれば、水圧破碎作業は未然に防ぐことができた可能性がある。
- 浅部でパーフォレーションが行われたことの原因是、機器の欠陥ではない。しかし、パーフォレーションを試みた際の圧力が設定圧力を下回っていたことが疑問視されれば、水圧破碎作業を未然に防ぐことができた可能性がある。
- コイルドチュービングが圧潰した際に、原因や起こりえる影響に関する調査が行われなかった。作業の時点で圧潰について調査が行われていれば、水圧破碎作業は回避できた可能性がある。
- 水圧破碎作業時において圧力異常が認識されたにもかかわらず、早期に作業停止やその原因究明を行うには至らなかった。
- 地下水観測井の現時点までのデータによると、本事故が周辺地域の飲料水に与えるリスクは軽微である。
- Crew社と現場作業を担当する企業関係者のいずれもが、コイルドチュービングによるパーフォレーションとプロパンを用いた水圧破碎作業に伴うリスクの適切な管理を怠った。問題の存在を認識する機会は複数回あり、地下水保護基底部の上部における水圧破碎作業を未然に防止あるいはその影響を最小化できた可能性がある。

【文献要旨 : No. 7】

年月	2012 年 8 月
文献発行機関	BC Oil and Gas Commission(BCOGC)
対象国/州	British Columbia, Canada
問題の種類（カテゴリー）	地震
文献名称	ホーンリバー堆積盆地で発生した微小地震の調査 Investigation of Observed Seismicity in the Horn River Basin
ウェブリンク	http://bcogc.ca/publications/reports

概要

本報告書は、2009 年 4 月～2011 年 12 月の間にカナダ・ブリティッシュコロンビア州ホーンリバー堆積盆地 (Horn River Basin) で発生した低エネルギーかつ自然地震とは異なる微小地震についてブリティッシュ・コロンビア州石油・天然ガス委員会 (BCOGC ; BC Oil and Gas Commission) が実施した調査をまとめたものである。

BCOGC は、カナダ天然資源省 (NRCan ; Natural Resources Canada) が石油・ガス開発地域近辺で低エネルギーかつ自然地震とは異なる微小地震を多数記録した後、すぐに調査を開始した。調査対象である微小地震のうち、NRCan によって有感地震として記録されているものは一件のみ (2011 年 5 月 19 日に発生した地震) である。調査中、BCOGC は 8,000 件以上の多段階水圧破碎作業が、自然地震とは異なる微小地震を伴うことなくブリティッシュ・コロンビア州北部で完工していることを把握していた。NRCan からは、人的被害および家財への被害、環境・健康に対するリスクをもたらす微小地震は報告されていない。

本調査では、2009 年 4 月～2011 年 12 月にホーンリバー堆積盆地で発生した自然地震とは異なる微小地震は、既存断層に近接した水圧破碎作業における流体圧入によって断層が再活動し、引き起こされたものだと結論付けられている。本調査で NRCan の地震観測網により記録された 38 件、Etsho 地域の高密度地震観測網で記録された 216 件、及び Kiwigana 地域の高密度地震観測網で記録された 18 件の微小地震を対象に詳細検討がなされており、これらは全て断層の再活動の結果として説明されている。

BCOGC は、調査に基づき 7 つの対応策を提示している。

- ① ブリティッシュ・コロンビア州北部におけるカナダ国立地震観測網の精度向上
- ② 既存断層を識別する地質学的・地震学的評価の実施
- ③ 誘発地震のモニタリング・周知方法及び要求事項の確立
- ④ 誘発地震によるリスクを定量化するために、ブリティッシュ・コロンビア州北東部のコミュニティをいくつか選択し、その近くに地震計を配置すること
- ⑤ BCOGC は、誘発地震が予測される、あるいは起きている場所を選択し、高密度臨時地震観測網の展開を調査・検討する
- ⑥ 水圧破碎作業の監視及び既存断層を識別するために、微小地震活動報告書の提出

を求める

⑦ 水圧破碎作業における操業パラメーターと地震活動間の関係性に関する調査

本委員会は、州北西部における誘発地震の拡がり、規模、影響などを含むスタディーを、ブリティッシュ・コロンビア大学と共同で開始しているが、それは水圧破碎に係る各種パラメーターやジオメカニクスを根拠とした誘発地震の震源位置と規模の予測や、誘発地震予測、地震検出、地震観測網などに関する技術基準の創設を目的としている。

【文献要旨 : No. 8】

年月	2012 年 8 月
文献発行機関	European Commission DG Environment
対象国/州	欧洲
問題の種類（カテゴリー）	非在来型ガス開発による環境・健康リスク全般
文献名称	欧洲での水圧破碎を含む炭化水素操業からの環境及び健康への潜在的なリスク特定のサポート(欧洲委員会環境総局への報告) (Support to the identification of potential risks for the environment and human health arising from hydrocarbons operations involving hydraulic fracturing in Europe (Report for European Commission DG Environment))
ウェブリンク	http://ec.europa.eu/environment/integration/energy/pdf/fracking%20study.pdf
<ul style="list-style-type: none"> • 現状 : EU では大規模水圧破碎を行っているのはポーランド (6 坑井) と UK (1 坑井) のみ。しかし、多くの国がシェールガスの開発に関心を示している (ポーランド、ドイツ、オランダ、UK、スペイン、ルーマニア、リトアニア、デンマーク、スウェーデン、ハンガリー)。 • シェールガスの開発は、一般に坑井基地 (Well-pad) 単位で進められる。以下のプロジェクトのステージごとに主な環境リスクをまとめるとともに、複数のプロジェクトによる累積的なリスクについても検討している。 <ul style="list-style-type: none"> 1- 坑井基地の準備 2- 坑井計画、掘削、ケーシング／セメンチング 3- 水圧破碎技術 4- 坑井仕上げ 5- 生産 6- 廃坑 • 上記検討の結果、シェール層を含む非在来型炭化水素資源の大規模水圧破碎による開発は、在来型油田開発に比べてより大きな環境リスクを伴う。主なリスクは以下の通りである。 <ul style="list-style-type: none"> - 従来型のガス生産に比べて、水や化学物質を大量に使用する。 - 非在来型の坑井当たりのガス生産量は在来型に比べて低いので、単位生産量当たりの環境への影響が大きくなる。 - 表層水や地下水汚染のリスク回避のために、開発、生産から廃坑に至るまでの全期間にわたって、坑井及びその他関連機器の健全性を維持しなければならぬ 	

い。

- 開発、生産期間を通して、環境汚染を引き起こしうる化学物質や廃水の漏洩を防止しなければならない。
- 地域固有の地質学的特徴や長期間にわたり地下にフランクチャーリング流体が存在することによる不確実性に係るリスク評価に基づき、適切な確認と選択を行わなければならない。
- 化学添加剤の潜在的毒性と、より安全な代替添加剤の開発が必要となる。
- 機器、資材、廃棄物をサイトへ搬入／搬出しなければならぬので、交通への影響が生じる（緩和は可能だが、完全な回避はできない）。
- 在来型のガス開発より、広範な地域での開発が必要となる。
- 坑井仕上げ及び水圧破碎の期間、施設や機器の使用に伴う大気への排出や騒音が不可避である。
- 先行して大規模水圧破碎が行われている米国・カナダでは、これらのリスクの明確化、既存或いは新規法規による対応、及び検証・提言が行われている。USDOE の提言の多くはヨーロッパの規制当局の見解と同じで、特に、以下に挙げるような潜在的リスクに対する包括的な検討が必要であると考える。
 - 重要な景観、生息域、移動経路等に係る科学的な調査
 - 地域住民や土地利用に対する累積的な影響評価を行うための、効率的なモニタリング／実施体制の構築
 - 生物多様性、水資源、住民への影響等から見て高い価値を持つ、あるいはセンシティブな地域に対する、開発の禁止或いは規制
- リスク管理に係る提言：以下のような対策をとることが必要である
 - 地上及び地下に対するリスク削減のための、適切な開発地域選定
 - 土地改変や土地取得を削減するための方法及び対策
 - 掘削、フランクチャーリング、仕上げ作業中の大気汚染削減や騒音低減対策
 - 水資源の減衰対策
 - 交通量の増加対策
 - 坑井健全性（integrity）の向上と、地上及び地下水汚染リスクの削減対策
 - 生物多様性への影響削減対策
- EU 法規の課題：水圧破碎については、EU 指令の規制対象となっていない場合が多く、適切な対応がとられない可能性がある。
- 今後の課題：以下のような項目について、より詳細な検討や調査研究が望まれる
 - 二酸化炭素回収／貯蔵に係る指令（Carbon Capture and Storage Directive: 2009/31/EC）に規定されている関連条項
 - 水圧破碎における微小地震モニタリング手法の活用

- フラクチャリング流体とシェール岩石間の科学反応や貯留流体との置換メカニズム
- 水圧破碎によって誘発される地震活動
- 環境負荷のより少ない掘削泥水やフラクチャリング流体の開発
- よりよいケーシングやセメンチングの開発による坑井健全性の改善方法
- 水圧破碎流体組成に係る検索可能な欧州データベースの構築
- シェールガス層から地下水層へのメタン移動のリスクと原因に係る研究
- 環境的にセンシティブな地域の開発システム構築（開発活動のオフセットのための緩和クレジットの利用など）

【文献要旨 : No. 9】

年月	2011年12月
文献発行機関	Environmental Protection Agency (EPA:米国環境保護庁)
対象国/州	米国
問題の種類（カテゴリー）	表土破碎による汚染物質の上昇
文献名称	水圧破碎による環境有害要因の解析 (Analysis of Environmental Hazards Relating to Hydrofracturing)
ウェブリンク	http://www2.epa.gov/hfstudy/qapp-analysis-environmental-hazards-relating-hydrofracturing
概要	
<p>水圧破碎センターに対して、飲用水資源への潜在的なリスクへの懸念、その他の問題が提起されてきた。国民の関心を受けて、議会は水圧破碎と飲用水資源との関係を調べるための研究を行うよう、米国環境保護庁（EPA）を指導した。このモデル化の目的は、それらが生じると予想される条件の範囲を識別して、可能性のある問題シナリオのシミュレーションの提供により EPA の議会への報告書を支援することである。</p> <p>水圧破碎による環境影響を評価して事前に対応策を検討するための、複数のシナリオが提示されている。具体的には、誘発刺激により、ハイドロカーボンの上昇移動につながるメカニズム、及びこうしたシナリオが生じうる条件が記載されている。特に設備的な対応等については記載されていない。</p>	
<p><u>シナリオ A</u></p> <p>セメントの設計や強度が不適切／不十分であったため、水圧破碎法実施の間に生じる坑井の破壊。この事例の場合、坑井周辺のセメントのつながりが弱く、刺激法プロセスの間に破碎するが、地層の導通は起こらない。不適切なセメントと坑井仕上げは、裸孔周辺に、汚染物質が上昇するような浸透性の高い経路を作る可能性がある。</p>	
<p><u>シナリオ B</u></p> <p>水圧破碎法オペレーションの不適切な設計による上部層破碎。結果として、従来の貯留層における廃坑井（またはその近辺）にまで破碎が到達する。この古い坑井は地下の帶水層と導通しており、仕上げ／セメントの不適切または失敗により、飲料のための地下水資源に汚染物質が到達する経路を作る可能性がある。</p>	
<p><u>シナリオ C</u></p> <p>不適切な水圧破碎による上部層破碎。結果として、地下水資源または一般的により浅い地下含水層と接続している高浸透性の層に亀裂が到達する。</p>	

シナリオ D

誘発亀裂が上昇し、追加的な資源となりうる従来の貯留層にダメージを与えた後、地下水資源に到達する。

シナリオ E

閉止されていた亀裂と断層が水圧破碎オペレーションにより活発化し、帶水層を横切る断層に水圧破碎に伴う亀裂が繋がり、ハイドロカーボンとその他の汚染物質の上昇・地下水資源への到達経路を作る。

【文献要旨 : No. 10】

年月	2012年12月
文献発行機関	Environmental Protection Agency (EPA:米国環境保護庁)
対象国/州	Las Animas and Huerfano Counties, Colorado
問題の種類（カテゴリー）	地下飲料水汚染
文献名称	飲料水源への水圧破碎による影響の研究 (Study of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources)
ウェブリンク	http://www2.epa.gov/sites/production/files/documents/hf-report20121214.pdf#page=75
概要	
<p>EPAが、水圧破碎オペレーションが飲料水に与える可能性のある影響について、取水、化学物質の混入、坑井圧入、フローバック・油汚濁水、廃水処理・廃棄物廃棄の観点から研究した文献。</p> <p>この報告書は、飲料水源への水圧破碎の潜在的影響に対するEPAの研究についてのプロジェクトごとの進捗状況の説明である。</p> <p>EPAは水圧破碎と飲料水源の潜在的関係を調査しているが、これは既存のデータをコンパイルするコンピュータモデルを用いて行うシナリオ分析と、実験室での化学物質の毒性評価及びケーススタディである。</p> <p>＜既存データ分析＞</p> <p>以下を含む、7つのソースからデータが集められている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水圧破碎サービス会社9社からの情報 ・石油・ガス事業者9社が提供する333の坑井ファイル ・FracFocusデータ（フラクチャリングに使用する薬品の記録等） ・国家対応センター、コロラド州、ニューメキシコ州、ペンシルバニア州からの漏洩報告 <p>＜シナリオ分析＞</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 地表下移行モデル <p>【シナリオ A】坑井の仕上げが不適切または十分でなく、水圧破碎の間に超過圧力がかけられた結果、刺激法プロセスを通じて坑井健全性にダメージを受ける。セメントや裸孔近くのエリアを通過し、帯水層まで液体が移動するような移行経路が作られる。</p> <p>【シナリオ B1】水圧破碎の設計が不適切だったためフラクチャリングの結果、シェールガスの貯留層とその上の帯水層の間に液体が通過する亀裂ができてしまう。</p> <p>【シナリオ B2】シナリオ B1 と同様に、フラクチャリングにより、従来の炭化水素貯留層にダメージを与えた後、シェールガスの貯留層と帯水層の間に液体が通過する亀裂ができるてしまう。</p>	

【シナリオ C】遮蔽された亀裂または断層が水圧破碎のオペレーションにより活発化し、炭化水素とその他の汚染物質が上昇移動する経路が作られる。

【シナリオ D1】フランクチャーリングにより、従来の貯留層にあるセメントが劣化した廃坑井へ炭化水素とその他の汚染物質が移動するような経路が作られる。廃坑された坑井は、帯水層と交流しており、セメンチングが十分でなかった場合には、こうした汚染物質が地下水層に到達する経路ができることがある。

【シナリオ D2】シナリオ D1 と同様に、フランクチャーリングにより、炭化水素とその他の汚染物質が、従来の貯留層における不適切にケーシングのダメージが認められる廃坑井に移動する。廃坑した坑井により、シェールガス貯留層と地下水帯水層をつなぐ経路が作られる。

- 地表水モデル

水圧破碎の廃水を処理する廃水処理施設から公共用水域へ放流する際の、公共用水域における化学物質の集積に関するモデル

- 水利用可能性モデル

Colorado川上流域及びSusquehanna川流域での水圧破碎プロセスにおける水利用が、飲料水の利用に与える影響についてのシナリオの評価

＜実験室分析＞

飲料水源へのフランクチャーリング用水流入の可能性の潜在的な影響に焦点を当てた実験室での研究が実施されている。

＜毒性評価＞

EPAは2005年～2011年までのフランクチャーリング流体に使用される化学物質及びフローバック水や生産水の化学物質を特定するためのデータ評価を行った。しかし現時点ではこれらの化学物質が飲料水源に与える影響については、判断を行っていない。

＜ケーススタディ＞

EPAは予測される事例についてケーススタディを計画し調査活動を開始するために、業界パートナーと協力して進めている。

＜各ステージと想定し得る環境影響＞

ステージ	想定し得る環境影響
取水	▶水利用 ▶水質について取水への影響
化学物質の混入	▶表層水および地下水への放出 ▶化学物質輸送時の事故
坑井圧入	▶地面や地表水に対する放出事故 ▶フランクチャーリングの液体の帯水層への移動（流入） ▶流体の構成物の帯水層への移動（流入） ▶表層の構成物質の帯水層への移動
フローバック・油汚濁水	▶地表水および地下水の放出 ▶貯留施設から飲料水への漏出 ▶坑井の仕上げ、維持、閉鎖が不適切である

廃水処理・廃棄物廃棄

- ▶表層水および地下水への表面および地下への排出
- ▶廃水および固体廃棄物の処理が不完全である
- ▶廃水の輸送時の事故

最終的な報告は、非常に影響力のある科学的評価であるとされ、科学諮問委員会による事前レビューを受ける事になる。研究の結果は、取水、フラクチャリングに関する化学物質の輸送、廃水処理や廃棄物処理、飲料水源への潜在的な影響を特定されることが期待される。

(結論)

この報告書では、飲料水源へのフラクチャリングによる潜在的影響の研究の EPA での進捗状況をまとめている。本報告書の一部として提出された情報は、水圧破碎からの飲料水源への潜在的な影響について結論を出すために使用することはできない。

第5章 海外調査

本事業においては、環境上問題となっている、帯水層の汚染、フローバック流体の処理、微小地震対策等について、情報を収集しているが、実際にシェールガス・オイルを開発している地域に行き、直接携わっている担当者に話を聞く事は、本調査研究を進めるにあたって環境面の具体的な問題を理解する上で非常に重要である。

今回、分科会の松谷委員（石油資源開発株）及び高橋事務局の2名で、北米で進められているシェールガス・オイル開発の一つの拠点であるカナダ国カルガリーにおいて、水処理のセミナーが開催されることからこれに参加し、また同地域に事務所を構える日本の石油会社を訪問して、情報収集を行った。

また、あまり開発の進んでいない欧州については、なぜ進んでいないのかを調査する事を計画していたが、参加候補としていた国際会議がキャンセルとなったため、国内で情報収集を行った。

これらについて以下に報告する。

5.1 訪問先

石油資源開発株 カルガリー事務所 : (JAPEX MONTNEY LTD. : Suite 2320 Stock Exchange Tower, 300-5th Ave. SW, Calgary AB T2P3C4, Canada Tel: +1-403-351-1150)

国際石油開発帝石株 カルガリー事務所 : (Sun Life Plaza North Tower, Suite 2710, 140-4th Avenue SW, Calgary, Alberta T2P 3N3, Canada Tel:+1-587-353-5770)

5.2 参加会議

“Tight Oil & Shale Gas Water Management Canada”
Cost Effectively Recycling and Handling Flowback and Produced Water
Sep25-26 2013 Calgary Canada : (The Coast Plaza Hotel & Conference Center : 1316 33 Street NE, Calgary, Alberta, T2A 6B6 Canada Tel : +1-403-248-8888)

5.3 スケジュール

9/23 東京（成田）(17:00) →カルガリー (11:40) エアカナダ AC010 便

9/24 10:00 JAPEX カルガリー事務所訪問

9/25-26 会議参加

9/25 16:00 INPEX カルガリー事務所訪問

9/27 カルガリー (13:45) →東京（成田）(9/28 15:25) エアカナダ AC009 便

5.4 企業事務所訪問

5.4.1 石油資源開発(株) カルガリー事務所訪問 (9/24 10:00-12:00)

カナダ国ブリティッシュコロンビア州でのシェールガス開発プロジェクトについて質問表に基づき、回答頂いた。JAPEX MONTNEY LTD. 社がブリティッシュコロンビア州 North Montney において実施している Pacific Northwest LNG プロジェクトは、プログレスエナジー社がオペレータとして操業しており、JAPEX MONTNEY LTD. 社はマイナーシェアホルダーとして、プロジェクトに参画している状況である。鉱区面積は約 700,000 エーカーあり、対象層の深度は約 2,000m である。坑井の掘削長は 3,500m 程度が一般的で、垂直に 2,000m、水平区間として 1,500m が掘削される。垂直深度 2,000m にシェール貯留層が位置するのは、北米シェール層では比較的浅いほうである。本プロジェクトでは、フラクチャーリング水の確保に一部雪解け水を利用している。また、フラクチャーリング水には増粘剤は使用せず、Friction Reducer や界面活性剤等を加えたスリックな水を使用している。またフローバック水はフィルター処理を行い、基本的に再利用している。塩分濃度が一定レベルを超えたフローバック水については産廃処理している。

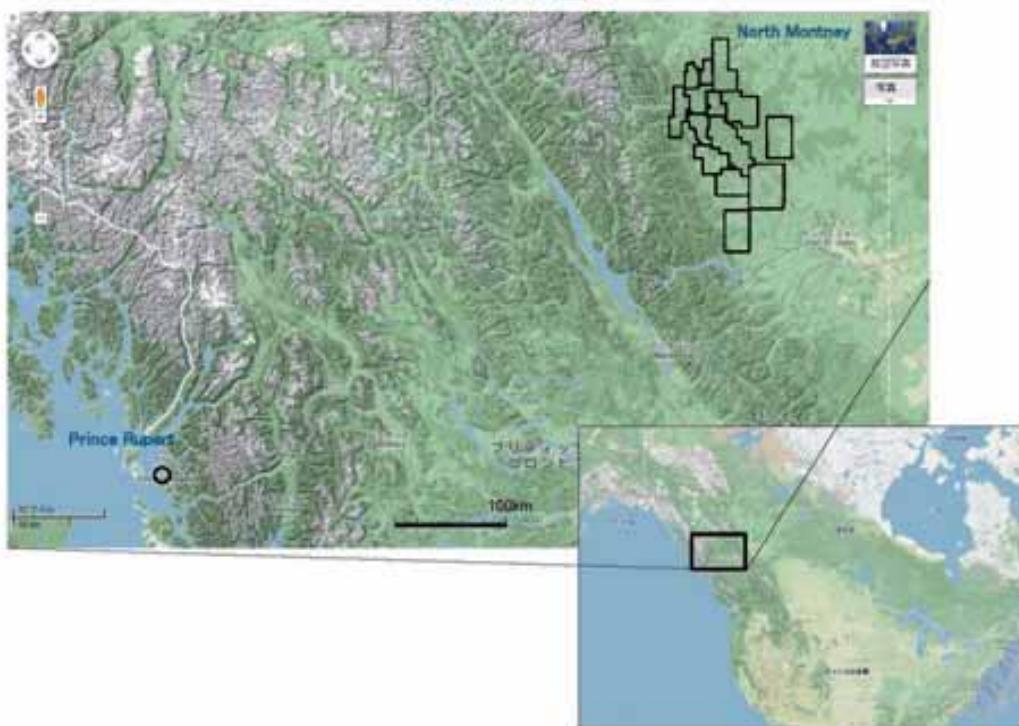
現在は、生産したガスは、カナダガスマーケットへパイplineで販売しているが、2018 年には LNG として日本向けに輸出予定である。



1. プロジェクト概要



対象鉱区位置図



プロジェクト質問表

番号	質問事項	御回答
1	プロジェクト会社名	JAPEX MONTNEY LTD.
2	記入御担当者名	菅野俊、吉川誠治
3	プロジェクト名（油・ガス田名）	Pacific Northwest LNG Project
4	プロジェクトエリア	Canada BC 州 North Montney
5	鉱区名、鉱区面積	約 700,000 エーカー
6	対象層、深度	Montney 層、2,000m+/-
7	坑井数、掘削深度	生産中の水平井 107 本@7月末、平均掘削深度 3,500m+/-
8	生産レート・累計生産量	
9	採取方法	自噴
10	油・ガス処理方法（設備能力）	
11	送油・送ガス方法	
12	パイプライン状況 1) 距離 2) サイズ 3) 能力	Prince Rupert Gas Transmission Pipeline 1) 750km 2) 48in 3) 2Bcf/d +
13	販売先	現在はカナダガスマーケットへ P/L で販売
14	フラクチャリングについて 1) 水源 2) 使用ケミカル 3) 水平距離及びステージ数 4) フラクチャー長さ（深さ）	1) 主に河川水（雪解け水）、水井戸も利用 3) 1,500m、8 ステージ x 3 Cluster 4) 縦 100m x 横 400m の橙円形
15	フラクチャリング時のフローバック水量（1 坑あたり）	入れた水の 30%程度がリターン $1,200\text{m}^3/\text{stage} \times 8\text{stage} \times 0.3 = 2,880\text{m}^3$
16	フラクチャリング時のフローバック水処理方法	パイプラインもしくはトラッキングにて貯水ピットへ運ばれ、フィルタリング後再利用される。
17	圧入処理している場合は、圧入層（深度）と圧入レート	圧入処理はしていない。
18	フローバック水再利用状況	上記 16 でも記載の通り、坑井からのフローバック水はほぼ再利用される。残りは産廃処理。
19	フラクチャリングの安全対策に対	オペレータ (Progress/Petronas) の HSE 基

	する御社の基本的考え方をお教え下さい。	準に従って、安全作業を確保する。オペレータの HSE 基準は Canadian Association of Petroleum Producer (CAPP) ガイドラインや、Oil and Gas Commission (OGC) の regulation に沿って構成されている。実際の作業を行うのはコントラクターであるので、コントラクターがそれらの基準を満足することを確認し作業にあたらせる。
20	フラクチャリング作業において過去に問題が発生したことがある場合は、それについてお教え下さい。	フラクチャリング作業において過去に問題が発生したことはない。
21	操業上の関係法令	上流のシェールガス開発及びコンプレッサステーション、ガスプロセシングプラントの建設については、事前の EIA は不要。すべて OGC への許可申請方式である。日本の産業保安監督部同様（鉱山保安法）、各関係法令を OGC という一つの窓口で管理監督する One Window Policy をとっている。
22	地元対応 ・ 地元説明会等の実施状況	ほとんどのプロジェクトエリアは森林地帯であり、住民はいないが、まれにファーマーなどが居住していることがある。OGC の regulation により、施設の規模や数によって Notification Distance (事前の書面通知でよい距離) と Consultation Distance (事前に話し合いが必要な距離) が規定されており、その取決めに従って事前に地元住民に説明している。
23	緊急時対応 1) 油、ガス、水漏洩対応 2) 暴噴対応 3) 火災対応	プロジェクト実施に伴い発生する可能性のある緊急事態を想定し、Emergency Response Plan を設定している。ERP はコントラクターにも周知徹底されている。
24	プロジェクトにおいて、過去に事故・災害等が発生した事があれば、それについてお教え下さい。	過去に大事故や災害が発生したとは聞いていない。今年 1 月から 8 月までの Lost time incidents は 4、Medical Aid Incidents は 10、man hours worked は 4,182,385 と報告を受けている。Incidents の詳細は不明。

25	プロジェクトを推進する上での環境対策について、御社の考え方をお教えて下さい。	ほとんどの環境に関する懸念は OGC への許可申請時に洗い出される。それとは別に CAPP のガイドラインに基づく取り組み、例えば雪解け水を主とした取水方法やサーフェスケーシング設置による帯水層保全といったことにより環境対策は担保されていると考えている。

5.4.2 国際石油開発帝石(株) カルガリー事務所訪問 (9/26 16:00-17:00)

カナダブリティッシュコロンビア州北東部における、シェールガス開発について質問表に基づき、内容を確認した。

本プロジェクトは、ブリティッシュコロンビア州 Horn River , Liard, Cordova Shale Gas を対象として設立された、INPEX Gas British Columbia Ltd. 社がオペレータである NEXEN 社と操業しており、国際石油開発帝石(株)の社員数名が NEXEN 社に出向している。ガス処理は、第3者が行っており、処理後のガスはパイプライン会社に送られている。LNG として日本に送る場合、LNG 輸出基地までパイplineを自社で引くか、パイpline会社に引いてもらうかといった内容も検討する必要があるとのことであった。

メインの貯留層は、3鉱区とも同じ(Muskwa, Otter Park, Evie)である。貯留層深度は、Horn River が約 2,500m、Cordova が約 2,000m に対し、Liard は約 5,000m(Liard が 5,000m と下がっているのは断層によるため)。Horn River は所有する 3鉱区の中で唯一開発している鉱区であり、1つの坑井基地から 1 年で約 20 本の坑井が掘られている。坑井の掘削長は 4,500 - 5,000m で垂直深度 2,500m、水平区間 1,800-2,500m である。

フラクチャリングは掘削が終了した翌年の夏場に実施される。フラクチャリングに必要な水は天然の池から取水されている。取水する水の量は池の容量の 1/600 程度で取水に問題はなく、州政府からの許可も得ている。フラクチャリング水にはほとんどケミカルは入れない。フローバック流体の量は、圧入量の 50%程度で水層(600m)に圧入している。圧入層の上にはシール層がある事が確認されている。また、現場付近には地震計を設置し、フラックと微小地震のデータも取られている。採取されたデータは州政府にも提供している。

プロジェクト質問表

番号	質問事項	御回答
1	プロジェクト会社名	INPEX Gas British Columbia Ltd.
2	記入御担当者名	荻原 正樹
3	プロジェクト名（油・ガス田名）	Horn River, Liard, Cordova Shale Gas
4	プロジェクトエリア	北東BC州 Horn River, Liard, Cordova Basins
5	鉱区名、鉱区面積	Horn River 90,000 エーカー Liard 128,000 エーカー Cordova 82,000 エーカー
6	対象層、深度	Muskwa、Otter Park、Evie の 3 層 Horn River 約 2,500m Liard 約 5,000m Cordova 約 2,000m
7	坑井数、掘削深度	NA
8	生産レート・累計生産量	NA
9	採取方法	NA
10	油・ガス処理方法（設備能力）	Field 内で脱水・加圧、Field 外の第三者プラントで脱 CO ₂ , H ₂ S 処理
11	送油・送ガス方法	パイプラインでの輸送
12	パイプライン状況 1) 距離 2) サイズ 3) 能力	第三者商業パイプラインに接続している。
13	販売先	NA
14	フラクチャリングについて 1) 水源 2) 使用ケミカル 3) 水平距離及びステージ数 4) フラクチャー長さ（深さ）	1) 地表流水、水井戸 2) 希釀した塩酸 3) NA 4) NA
15	フラクチャリング時のフローバック水量（1坑あたり）	NA
16	フラクチャリング時のフローバック水処理方法	NA
17	圧入処理している場合は、圧入層（深度）と圧入レート	圧入層 : Debolt 層（深度 約 600m） レート : NA

18	フローバック水再利用状況	再利用している。
19	フラクチャリングの安全対策に対する御社の基本的考え方をお教え下さい。	リークを防ぐ目的もあり、2段の CSG は Full Cementing するなど、可能な限り対応。
20	フラクチャリング作業において過去に問題が発生したことがある場合は、それについてお教え下さい。	これまでに大きな問題は発生していません。
21	操業上の関係法令	
22	地元対応 ・地元説明会等の実施状況	近隣の Fort Nelson (Field から 70km 南) で随時説明会を開催、4 半期に一度 Newsletter を発行するなどしている。
23	緊急時対応 1) 油、ガス、水漏洩対応 2) 暴噴対応 3) 火災対応	1) 2) コントラクターと契約 3) Camp に消防車を配備。
24	プロジェクトにおいて、過去に事故・災害等が発生した事があれば、それについてお教え下さい。	
25	プロジェクトを推進する上での環境対策について、御社の考え方をお教え下さい。	法律遵守はもちろん、周辺住民や権利保有者等にもサポートしてもらえるレベルでの対策を行う。

5.4.3 カナダオイルサンド社訪問 (9/24 16:00-17:00)

JAPEX カルガリー事務所に紹介され訪問した。事前に質問表を送付していなかったため、技術的な情報は得られていない。

現在カルガリーの事務所には 50-60 名が勤務しており、日本人は 11 名勤務しているとのことであった。追加で鉱区の取得を行っており、積極的な姿勢が見られた。

5.5 カンファレンス参加 (9/25-26)

「カナダにおけるタイトオイル&シェールガスの水管理」(Tight Oil & Shale Gas Water Management CANADA) カンファレンス参加

Water Management とタイトルが付けられていたが、単に圧入水やフローバック水をどう処理するかというだけでなく、水源をどこに求めるか、その輸送をどうするのか、規制機関や地元への説明等、多岐にわたる内容であった。

シェールオイル・ガスの開発に関しては、行政側としても開発行為を阻害しかねない規制は行わない方針のようである。しかし、シェールガス開発に関する水使用量の多さのために水の使用に関しては許認可が必要であり、大量に水を使用するフランクチャーリングにおいては、水の確保が非常に重要で、いかに効率よくかつ安価に水源を確保するかという事が、一番大きなテーマであったように思われた。

その対応として、水使用の許可から、各坑井基地までの輸送、フローバック水の管理までを行うコントラクターも出てきているようである。また開発会社数社で水源から共同の水用のパイプラインを敷設し、利用するといった事も報告されていた。短期間であれば、タンクローリーでの輸送という事も考えられるが、長期の開発計画全体を考え、もっとも効率的な水管理システムを追及している姿が窺えた。

水処理に関しても、水源の一部という考え方からフローバック水を利用する事が広く行われているようであるが、水質としては表層水に放流するわけではなく、あくまでフランクチャーリングへの再利用が目的であるため、油分及び固形分を除去する程度の水処理で十分という考え方のようであった。水源の保護という面からも、フローバック水の再利用について説明されていたが、これについても同様に経済効率の良い対応が求められているようであった。

環境面の取り組みや地元地域への対応についても各社とも力を入れている事が伺えた。フランクチャーリング水の取水に関しては州政府へ届け出し許可を得ている事や、シェール開発についても州政府のレギュレーションと CAPP(Canadian Association of Petroleum Producer)の取り決めに従っている事が報告されていた。河川や湖からの取水については、非常に細かく取水制限がされており、河川については川底から最低 30 cm以上あることや、流量 50L/sec 以上である事が取水の条件であり、湖については取水開始から 10cm 液面低下があれば、取水を中止することなどが盛り込まれている。

地元住民へは対話、説明をする機会を設け、環境面での誤解や懸念を解こうとする取り組みがされている。会社によっては、定期的に説明会を設け、地元住民の理解と協力が得られるよう働きかけている。

カンファレンスの報告内容の概要を本章末尾にまとめる。

5.6 欧州のシェールガス開発動向

米国EIAの2013年の報告によれば、欧州主要国のシェールガス資源評価量（技術的回収可能資源量）は以下のとおりである。

ポーランド	148Tcf
フランス	137Tcf
ウクライナ	128Tcf

ルーマニア	51Tcf
デンマーク	32Tcf
オランダ	26Tcf
イギリス	26Tcf
ドイツ	17Tcf

主な国のシェールガス開発への取り組み状況を以下にまとめる。

①ポーランド

ポーランドは欧州で最もシェールガスの資源量が多い国である。このため、ポーランド大使館にコンタクトを取り、シェール開発関連資料を送付していただいた。それらを基に、以下にポーランドでのシェールガス開発状況を簡単にまとめる。

ポーランドは、ロシア産天然ガスへの依存度を下げ、エネルギーセキュリティの向上を図るため、政府としてもシェールガス開発を推進していることから、欧州では最も開発が進んでいる国である。

ポーランドのシェール層は深さ 1,500m～3,000mと米国のシェール層に比べるとやや深く、また掘削作業の業界規模が小さい事から、開発コストは割高とならざるを得ない。

2010 年 8 月、ポーランドの首相は、2014 年にはシェールガスの商業生産を開始し、2035 年には自国の需要を賄う事が出来るようになると述べている。また、環境省は非在来型天然ガス探査のために、110 以上の許可を発行するとしており、外資系企業にもライセンスを与えている。(エクソンモービル、シェブロン、コノコフィリップス、マラソン、エニ、タリスマン等) また、国内のガスパイプライン網が不十分であるため、パイpline建設に関する 20 件の許可も発行している。

社会経済研究センター (CASE) による 2012 年の報告によると、2025 年においてシェールガスの最大年間産出量を以下のように予測している。

緩やかな成長シナリオで	30 億m ³
海外からの投資シナリオで	60 億m ³
開発加速シナリオで	200 億m ³

しかし、探鉱の結果が良くないためか、2012 年にはエクソンモービル、2013 年にはタリスマン、マラソンといったところが撤退している。これらの動きから、開発のスピードが減速の方向に向かわざるを得ない。

②フランス

フランスは、欧州の中でポーランドに次いでシェールガス資源量が多いが、2011 年 6 月環境影響の懸念から水圧破碎の禁止を議会で決定しており、いくつかの開発ライセンスが無効となっている。

オランダ大統領は、任期が終了する 2017 年末まで、フランス国内での水圧破碎禁止措置を継続すると発表した。しかし、一部に水圧破碎禁止を見直すべきとの声も出始めている。

③ウクライナ

ウクライナは、欧州で 3 番目にシェールガス資源量が多い国である。

2013 年 1 月にシェルが期間 50 年の生産物分与計画に調印している。また、シェブロンとも生産物分与契約協議中である。

ウクライナは少数の大規模会社に大きな鉱区を与える政策を取っている。

④イギリス

英国政府は 2011 年 5 月、Cuadrilla Resources 社の探鉱作業で、イングランド北西部ブラックプールで小規模地震が発生したとして、水圧破碎を一時中断したが、2012 年 12 月に地震監視及び掘削調査に関するルールを導入するという条件で、水圧破碎を伴うシェールガス開発の再開を許可した。

英国政府は、シェールガスがエネルギー安全保障と気候保護の観点から重要なエネルギー源と捉え、環境影響評価が適切に行われる事を条件に、開発推進の姿勢となっている。

英国のシェールガス資源量は 26Tcf と評価されているが、シェール層は厚く米国では 90m 以下であるのに対して、1,600m 以上の所もあり、効率的な採収が可能である。

⑤ドイツ

ドイツにおいては、政府が原子力発電所の 2022 年までの停止を打ち出しており、非在来型天然ガスもこの代替エネルギーとして重要な意味を持っている。連邦政府と州政府により、水圧破碎の環境影響に関する研究がおこなわれており、水圧破碎に関しては条件付きでの許可になる方向である。

地下水に対する悪影響を懸念して、ビール醸造業者の反対運動もおこっている。

カンファレンス報告項目

番号	報告項目
No. 1	長期にわたる水計画の開発 水源、処理、フローバックの再利用等の水のライフサイクルの最適化
No. 2	水確保戦略開発を支援する大規模な開発プログラムのための真水の必要条件の識別
No. 3	低浸透率油層への生産水の再圧入による真水使用料の削減
No. 4	リサイクルと再利用を最大化する水圧破碎の生産水化学とフローバック水化学
No. 5	水管理の短期的及び長期的な物流や資本計画等を評価するためのシミュレーションモデルの適用
No. 6	責任ある資源開発と環境保全を確保するために、統合された資源管理システムの利点の調査
No. 7	持続可能な水戦略の実施を通してのライセンスの維持
No. 8	どのようにして、水圧破碎用の水を確保するのか
No. 9	地表水の利用を減らし、深い帯水層からの水を利用する最適なロケーション
No. 10	タイトオイルとシェールガス開発のための水源選定
No. 11	淡水依存を減らすための、革新的で持続可能な水戦略の実行
No. 12	共通理解を通しての上流の石油ガス部門の社会ライセンスの獲得と維持
No. 13	理解を通してのシェール開発懸念の解決
No. 14	水平坑井のセメンチング

【No.1】

発表日	Sep 25, 2013
会議名称	TIGHT OIL & SHALE GAS WATER MANAGEMENT CANADA 2013/10/09
発表者	Brandy Faris
所属	Boann Ventures & Canbriam Energy , VP
タイトル	長期にわたる水計画の開発 (Developing Long-term Water Plans) 水源、処理、フローバックの再利用等の水のライフサイクルの最適化 (From sourcing, treatment and re-use of flow back to optimize the water life cycle of operations)
概要	
<p>KPMG サステナビリティレポート（2012年10月）によると、「世界中の大企業の75%が水問題は重要だと認識しているが、それらの多くの企業は長期的な水戦略が欠落している」とされている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 水の管理にはいくつかの定義があり、常に新しい取組みが行われてきた。 ➤ いずれの管理計画も同じものにはならない。環境・社会・経済条件等により変わるものである。 ➤ これまでと異なる水の使用であるため、法令やステークホルダーの関心が増加している。 	
<p>(どこからはじめるのか?)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 会社の目標を定める <ul style="list-style-type: none"> ・ 水源の確保 ・ 操業許可の維持 ・ 流域の新たな水源が限られる中での、水需要の監理 ・ ステークホルダーとの関係の最適化 ・ コストを削減する中での資産状況の改善 	
<p>(戦略開発プロセス①)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 必要性評価 <ul style="list-style-type: none"> ・ 水源の決定 ・ 水量及び使用薬品 ・ フローバック量と廃棄の必要性 ➤ 外部環境要因 <ul style="list-style-type: none"> ・ 法規制 ・ 水文学、水文地質学、環境感受性 	

- ・ ステークホルダーの感受性
- ・ 現存するインフラ
- リスク分析
 - ・ 水源・貯蔵・取り扱い&廃棄
 - ・ 法規制
 - ・ ステークホルダー
 - ・ 経済性
- 必要性評価（以下を考慮）
 - ・ 近未来及び将来の操業方針（容量及びブラックタイプ）
 - ・ 必要な水源の許可と制限（1年未満の短期と2年以上の長期）
 - ・ ステークホルダーの感受性（当面及び将来）
 - ・ 水にかかるコストが、年間経費計画内に収まっているかどうか

（戦略開発プロセス②）

- リスク緩和
 - ・ ステークホルダーとの関係
 - ・ コミュニケーション戦略
 - ・ 水源・取り扱いと再利用戦略
 - ・ コンプライアンスと環境保護の必要性
- 操業遂行
 - ・ プロセス最適化
 - ・ 革新技術やデザイン改善
 - ・ 産業界の協業
 - ・ 繼続的な法令及びステークホルダーとの関係

（モントニーシェールでの長期戦略）

- リスクの緩和

必要性とリスクアセスメントの結果により、緩和計画とプロジェクトの優先順位が決められる。

 - ・ 水源戦略：水源の確保が最も大きな問題である。法的及びステークホルダー&経済的実行可能性によって、水源の長期戦略が立案される。
Canbriam と Talisman は Williston 湖から、2本の 16in 水線を引き、共同で管理している。この許可は、20 年間 $10,000\text{m}^3/\text{d}$ レートの水を使用できるものである。
 - ・ 貯蔵&取扱戦略：開発段階におけるフローバック水、採取水、及びその混合水の効率的な保管と取り扱いが重要である。
 - ・ 再利用&廃棄戦略：再利用方法の改善によるフィールド内のフローバック水の

利用の最大化及びそれによる廃棄の最小化

➤ 操業の最適化

- ・ 最適化の出発点として、水源、貯蔵、取扱、再利用及び廃棄のコストベースラインを決める。
- ・ 水管理に必要な長期に渡る資産と操業経費のバランスを決める事で、コスト最適化の年間計画を立案する。
- ・ テスト段階から開発段階に移行する時に、コスト削減の為の年間ターゲットを明確に定める。
- ・ 実績として、水管理コストは徐々に減少しているが、この要因としては、湖からの取水ラインの設置が一番大きなものである。

(キーポイント)

- 戦略を決める上でのコーポレートリスク
 - ・ 水源
 - ・ フローバック水の貯蔵
- 長期にわたって使用するインフラの適正サイズ化
- 従業員の能力改善や新技術への対応といったコストも含めた適正なベースラインの理解

【No. 2】

発表日	Sep 25, 2013
会議名称	TIGHT OIL & SHALE GAS WATER MANAGEMENT CANADA 2013/10/09
発表者	Steve Dunk
所属	Progress Energy Environment & Regulatory Affairs Manager
タイトル	水確保戦略開発を支援する大規模な開発プログラムのための 真水の必要条件の識別 (Identifying Fresh Water Requirements For A Large Development Program To Help Develop A Withdrawal Strategy)
概要	
<p>プログレスエナジー・カナダは、ブリティッシュコロンビア州のノースモントニーと、アルバータ州のディープベーンの開発を行っている。</p> <p>ノースモントニーでは、パシフィックウェスト LNG に必要な生産量を確保すべく開発を行っている。</p> <p>ノースモントニーでは、プログレス社は最大の鉱業権の保有者である。対象層の厚さは 280–360m あり、13,000 以上の掘削ロケーションが設定されており、130 坑が既に掘削されている。20–25 の掘削リグが稼働中である。生産量は 2 billion ft³/d を目指している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ FID (Final Investment Decision) は 2014 年の第 4 四半期 ➤ 2012–2015 が評価段階 ➤ 2015–2018 が開発段階 ➤ 2018 年第 4 四半期が LNG First Cargo <p>(モントニーの坑井の典型例)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 垂直深度 2,000m、サーフェスケーシング 350–650m (地下水保護の為) ➤ 水平距離 1,500m ➤ 仕上げデザイン 8 ステージ：各ステージ 3 パーフォレーション <p>(最適な使用)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 加圧流体 ➤ 生産水及びフローバック水の最大限の利用 ➤ 他のオペレータとの共同利用 (モントニーウォーターグループ) <p>(エリアでの状況)</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 必要水量 600,000m³/y ➤ フローバック流体回収率 35–45% (すべて再利用) ➤ 生産水の再利用：生産開始から 90 日間に生産された水を再利用 	

- 2012 年の水源実績
 - ・ 49% フローバック/生産水の再利用
 - ・ 16% 貯蔵水 (Dugouts)
 - ・ 14% 河川水
 - ・ 20% 雪解け水 (Seasonal (rivers/dugouts))
- 輸送
 - ・ 6in の鋼管設置により、中央サイトからウェルパッドまでの送水が可能。同様にフローバック水を中央サイトや他のウェルサイトへ送ることも可能。
 - ・ これにより、効率は上昇し、交通量は減少し、環境への影響も減少した。
- 生産水の貯蔵
 - ・ フローバック水と生産水を貯蔵するピットまで 2 線引かれている。
 - ・ 200, 000m³ の貯蔵が可能
 - ・ 野生生物の侵入を防止する設備あり。
- 天然水の貯蔵 (Dugouts)
 - ・ 1, 300, 000m³ の真水を貯蔵可能
 - ・ 春の雪解け水を貯蔵する。

(ブリティッシュコロンビア州 Water Act)

水の利用には、パーミットもしくはライセンスが必要である。Water Act では次のように定義されている。

- Stream : 天然の水の流れや水源 : 湖、川、小川、泉、峡谷、沼地他
- Divert : 水源から水を分け別に送る (許可が必要)
- Water License (beneficial use FITFIR)

(Water Act Section8 : 短期間の利用)

- 最大 24 カ月まで
- 追加の承認が必要 (Federal Fisheries Act and Navigable Waters Protection Act)
- 短期の使用許可は、Ministry of Forests Lands and Natural Resource による。ブリティッシュコロンビア州の oil and gas Commission は Water Act の Section8 によって管理している。

(水位測定)

- 装置 : 圧力伝送機

プログレス社がブリティッシュコロンビア州で 2012 年に使用した真水量は 286, 099m³

【No. 3】

発表日	Sep 25, 2013
会議名称	TIGHT OIL & SHALE GAS WATER MANAGEMENT CANADA 2013/10/09
発表者	Eric Klotz
所属	ANDMIR, Advisor Petro China
タイトル	低浸透率油層への生産水の再圧入による真水使用料の削減 (Reducing Fresh Water Consumption by Re-injecting Produced Water Into Low Permeability Oil Reservoirs)
概要	
発注者 (Petro China) は、いくつかの低浸透性油貯留層を保有しており、そこに圧入するための水処理法を検討中である。	
(発注者の要求)	
<ul style="list-style-type: none"> ➢ 平均粒子径 $\leq 1 \mu\text{m}$ ➢ TSS (Total Suspended Solids) $\leq 1\text{ppm}$ ➢ 油含有量 $\leq 5\text{ppm}$ 	
(ANDMIRシステム)	
$\rightarrow \boxed{\text{DGF (Dissolved Gas Flotation)}} \rightarrow \boxed{\text{2段フィルター}} \rightarrow \boxed{\text{膜}} \rightarrow \text{送出}$	
(DGF : 溶解ガス浮遊分離)	
DGFは、油や個体を取り除く事によって水を浄化する、固液分離プロセスである。分離は、圧力下の状態から圧力が解放されることで行われる。解放された気体は、細かな泡を形成し、浮遊物質を水の表面に浮かせ、それによって分離させる。	
DGFユニット能力は、600ppmで入ってきた液中の油含有量を10ppm以下にできる。TSSは20ppm以下にできる。	
(フィルター)	
デュアルメディアフィルター	
<ul style="list-style-type: none"> ➢ マイクロフィルターに入る前の事前ろ過 ➢ 通過後のTSSは $< 5\text{mg/l}$ ➢ きめの粗いものと細かいものの2重構造 <ul style="list-style-type: none"> ・ フィルタリング流速 10.0m/h ・ 入口 TSS $\leq 15\text{ppm}$ ・ 油分 $\leq 10\text{ppm}$ ・ 出口 TSS $\leq 5.0\text{ppm}$ 	

油分 \leq 5.0ppm

マイクロメディアフィルター

- 膜処理前の事前ろ過
- クルミの殻と微小媒体の2層からなる
- 通過後TSSは < 2mg/l
- クルミの殻は親油性で、油を吸着する
- マイクロメディアフィルターの能力
 - ・ デザイン流速 $V = 10.0 \text{ m/h}$
 - ・ 入口 TSS $\leq 5.0 \text{ ppm}$
油分 $\leq 5.0 \text{ ppm}$
 - ・ 出口 TSS $\leq 2.0 \text{ ppm}$
油分 $\leq 2.0 \text{ ppm}$
 - ・ 粒子径 $\leq 1.5 \mu\text{m}$

(膜)

- 膜の能力
 - ・ 膜差圧 0.15MPa
 - ・ 回収率 $\geq 90\%$
 - ・ 入口の水質 TSS $\leq 2.0 \text{ ppm}$
油分 $\leq 2.0 \text{ ppm}$
粒子径 $\leq 1.5 \mu\text{m}$
 - ・ 出口の水質 TSS $\leq 1.0 \text{ ppm}$
油分 $\leq 1.0 \text{ ppm}$
粒子径 $\leq 0.8 \mu\text{m}$

(ケーススタディ Huan #7)

- 圧入水量 320–400m³/d
- 貯留層状態
 - ・ 初期地層圧 29.32 MPa
 - ・ 飽和圧力 20.9 MPa
 - ・ 平均孔隙率 15.1 %
 - ・ 平均浸透率 $37 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
 - ・ 原油粘性 3.43–5.74mPa · s (@50°C)
 - ・ Wax含有率 8.23 %

処理結果は次ページ表の通りである。

項目	目標	供給水	処理後
TSS (ppm)	≤1.0	≤200	≤1.0
粒子径 (μm)	≤0.8	5.0	≤0.8
油分 (ppm)	≤5.0	≤100	≤1.0
総イオン含有率 (ppm)	≤0.50	≤2.8	≤0.50
温度 (°C)	—	35~45	35~45

システム3年操業後の実際の水サンプル



ケーススタディ結果

年間240万ドルの生産量が改善された。

375,000ドルの水処理費用が削減された。

年間75,000m³の真水が削減された。

以上

【No. 4】

発表日	Sep 25, 2013
会議名称	TIGHT OIL & SHALE GAS WATER MANAGEMENT CANADA 2013/10/09
発表者	Vita Martez
所属	SAIT Project Lead and Senior Research Associate
タイトル	リサイクルと再利用を最大化する水圧破碎の生産水化学とフローバック水化学 (Produced Water Chemistry in Hydraulic Fracturing Assessing Source And Flow Back Water Chemistry For Maximizing Recycle And Reuse)

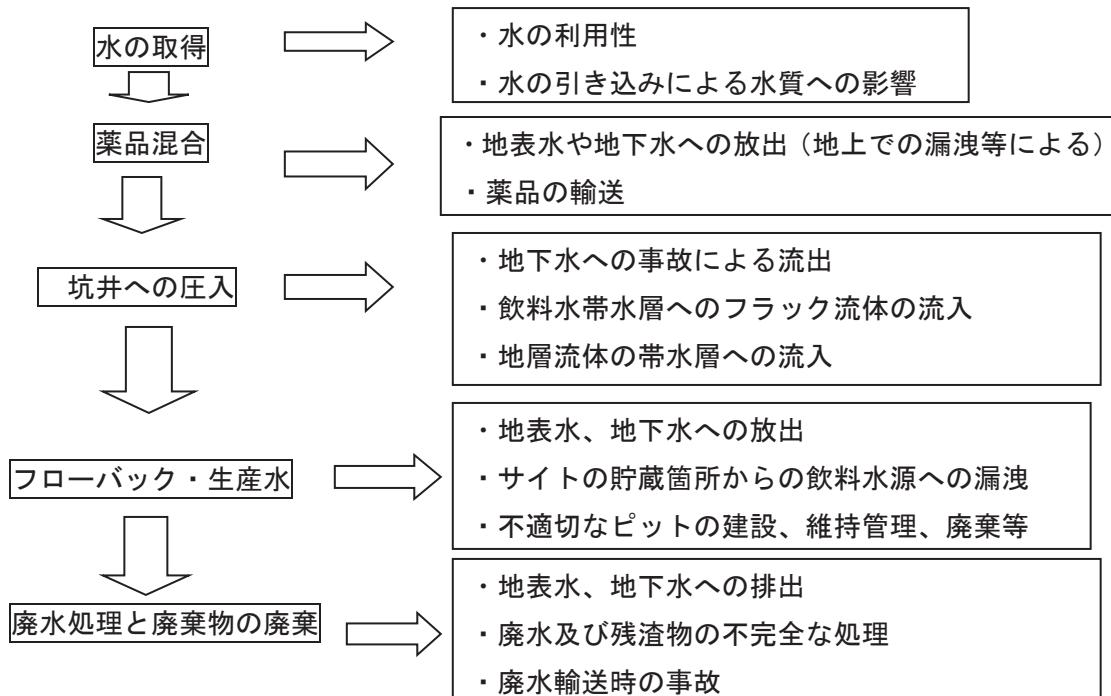
概要

1.0 水圧破碎と水の使用

水圧破碎における水の使用と問題点

水圧破碎における水の使用

飲料水の問題となる可能性



2.0 総合水管理

(水の供給)

- 水源、輸送、後方支援、貯蔵、地上もしくは埋設パイプライン

(水圧破碎)

- 坑井掘削、水圧破碎、ブラック流体、低粘性水 (Slick Water)

(水処理)

- 生産水、フローバック水の水処理（混合及び希釈）

(水の廃棄)

- 水の廃棄、廃水管理、再利用

3.0 水源、フローバック & 生産水

(水源)

項目	真水 (0m) (mg/l)	浅地下水 (<600m) (mg/l)	深地下水 (>600m) (mg/l)
TSS	<100	<250	>1000
pH	4.5–6.5	4.9–7.5	5.2–8.5
炭酸カルシウム	<25	<200	>1,000
TDS	<1,000	<4,000 から 8,000 まで	>15,000 から 200,000 まで

(フローバック水)

- ブラック流体：ブラック流体は、生産を刺激するため地層に新たな流路を開く破碎プロセスを促進するために圧入される。
- ブラック流体のフローバック：圧入した流体の5–50%が回収される。

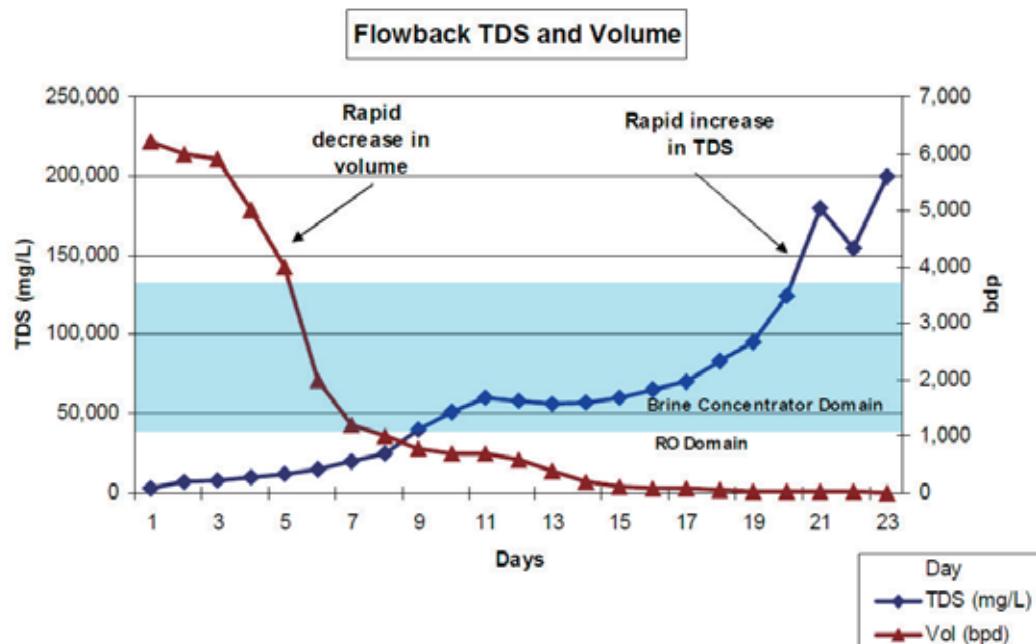
添加剤とその機能

薬品	使用目的	使用しなかった場合の帰結
酸	坑井近傍ダメージの除去	ブラック処理圧力の上昇
殺菌剤	バクテリアの成長防止	地層の酸性度の上昇及び腐食の増加（硫酸還元バクテリアによる H ₂ S ガス発生）
腐食防止剤	酸使用による配管の腐食防止	酸による配管腐食の著しい増加
摩擦減少剤	ポンプ送出による摩擦の減少	ブラックポンプ圧力の上昇
ゲル化剤	プロパント移送の改善	使用水量の増加（ガス回収率が 30–50% 減少の可能性）
脱酸素剤	坑内配管の酸素による腐食防止	腐食の著しい増加

薬品添加濃度

薬品名	ブラックへの使用の有無	一般的な濃度
酸 (15% HC I)	使用	1500 to 2500 gallons total
バクテリア調整剤	使用	0.0 to 0.001%
摩擦減少剤	使用	0.01 to 0.025%
脱酸素剤	使用	0.005%
防食剤	使用	0.001%酸使用の場合 0.2%
界面活性剤	一般的、時に使いすぎ	0.005 to 0.01%
ゲル化剤	ハイブリッドブラックのみ	10 to 20 lb/1000gal
Cross Linker(架橋剤：洗濯石鹼がベース)	ハイブリッドブラックの一部の場合	種々あるがいずれも低濃度
KC I (塩化カリウム)	シェールではあまり使用されない	2%
ゲルブレーカー	ゲル使用時のみ	0.01%
pH 調整剤	ゲル使用時のみ	0.01%
スケール防止剤	まれ	1 to 2 gallons/1000gallons
鉄分コントロール	まれ	0.001 to 0.004%

(フローバック水量と TDS の経時変化)



(生産)

生産水の汚染物質

無機汚染物質	有機汚染物質
TSS (Total Suspended Solid)	遊離ガス及び溶解ガス
重金属	CO ₂ , H ₂ S, CH ₄
溶存金属	油分及びグリス
陽イオン：鉄、バリウム、カルシウム、マグネシウム、ストロンチウム、カリウム、ナトリウム、等	メタノール及び同時産出物
陰イオン：塩化物、硫化物、炭酸塩、重炭酸塩、水酸化物、臭化物、等	有機酸及びフェノール合成物
NORM(Naturally Occurring Radioactive Material 自然起源放射性物質) (Ra226, Ra228)	ポリマー、腐食及びスケール防止剤
TDS (Total Dissolved Solids)	ブラックと薬品の残渣物バクテリアやそれに関する有機種等の微生物
ブラックと薬品の残渣物	

水源、フローバック水、生産水の濃度 (Source : Monteney 2012)

項目	単位	塩分を含んだ地層水	フローバック水	生産水
ナトリウム	mg/l	5,316	21,000	52,900
カリウム	mg/l	270	424	1,000
カルシウム	mg/l	458	2,590	2,510
マグネシウム	mg/l	137	282	474
バリウム	mg/l	N/D	157	200
ストロンチウム	mg/l	N/D	369	370
鉄	mg/l	Trace	15.7	17.8
塩化物	mg/l	7,827	41,487	22,699
重炭酸ソーダ	mg/l	1,479	272.5	12.6
硫化物	mg/l	1,640	35.4	46.2
H2S (@25°C)	mg/l	880.4	N/D	34.08
総アルカリ性炭酸カルシウム	mg/l	N/R	223.33	628.33
TDS	mg/l	17,457	65,952	140,526

pH		9.06	7.57	7.53
油分 & グリス	mg/l	N/D	189	227

4.0 一般的な処理の目的と基準

(水処理の目的)

- 地方及び連邦政府の法規に合致
- ステークホルダー、環境 & 厚生問題
- 水中の汚染物質の処理
- 処理技術の有効性
- 処理やりサイクル、廃棄に対する技術の能力及び経済的効果

一般的処理基準

項目	フローバック/生産水の範囲	フラック流体に必要な基準
TSS (mg/l)	100–500	<100
粒子径 (μm)	不定	<1
TDS (mg/l)	50,000–150,000+	<50,000
溶解油分 & グリス (mg/l)	~300	<30
固化金属 (mg/l)	100–1000+	<10
H ₂ S (mg/l)	不定	0
微生物 (cell/ml)	10^6 – 10^9	<10
フラック薬品残渣 (mg/l)	典型的なものは<250	<100

5.0 フラック処理水のリサイクル/リユース

技術的選択

発生する問題	修正の選択
バクテリア	電気凝析、酸化
SS (Suspended Solids)	重力沈降、ろ過、浮揚分離、電気凝析、Hydroclone
有機物	電気凝析、酸化
硬度 (スケール発生しやすさ)	化学沈殿、電気凝析、
溶解固体物 (DS)	イオン交換、逆浸透、蒸発
温度	熱交換

以上

【No. 5】

発表日	Sep 25, 2013
会議名称	TIGHT OIL & SHALE GAS WATER MANAGEMENT CANADA 2013/10/09
発表者	Tekla Taylor
所属	Golder Associates US Energy Services Leader
タイトル	水管理の短期的及び長期的な物流や資本計画等を評価するためのシミュレーションモデルの適用 (Applying Simulation Modeling Tools To Evaluate The Short And Long-Term Logistical And Capital Planning Aspects of Water Management)
概要	
水管理に関する、短・長期の後方支援及び投資計画を評価するためのシミュレーションモデルの適用	
<p>ダイナミックシミュレーションとは、以下のモデルである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 将来の量的項目（たとえばコストやリスク）の予測 ➤ 長期間における管理項目を理解するための、異なるオプションの分析 ➤ 提案された活動、計画、設計の重大性の決定 <p>操業上の水バランスモデル 十分な処理、貯蔵、輸送能力の確定 入力項目</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 生産量 ➤ 処理計画 ➤ 貯水量 ➤ パイプ能力 <p>操業期間全体を見通した後方支援モデル</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 國際石油・ガス会社のグローバル資産としての全体水サイクルモデル ➤ 地表水、地下水、排水も含めた水源 ➤ 輸送：トラック vs パイプラインの評価 ➤ 廃棄：廃棄処理、再利用、リサイクルについてのライフサイクルコストと正味現在価値の評価 (複数シナリオに対する一般モデル) 	

典型的な作業の流れ

- プロジェクト情報を提供
- 評価を踏まえた、水源、水の利用方法、輸送方法のオプションを明確にする
- 水需要と水の生産の予測を行う
- 水源のオプションを評価する
 - ・ 需要に見合った能力
 - ・ 水処理と貯蔵の必要性
 - ・ 物流
- 生産水オプションの評価
 - ・ 水処理の必要性
 - ・ 貯蔵
 - ・ 物流

輸送オプション：輸送費を減らすためのマネジメント

- 中央監理または分散監理
- すべてパイプ
- すべてトラック
- パイプからトラック
- トラックからパイプ

利点

- システムアプローチ：ガスフィールドのライフサイクルに合わせた全体の水管理システムができる
- コミュニケーション：開発チームから水管理設備への情報伝達
- シナリオ計画：水管理シナリオを比較する。リスクベースアプローチと What-If 問題に対する回答を規定する
 - 水源の継続性
 - コスト効率のよい物流
 - 水処理の必要性
 - 再利用/廃棄の評価
 - 法制度化の影響

以上

【No. 6】

発表日	Sep 25, 2013
会議名称	TIGHT OIL & SHALE GAS WATER MANAGEMENT CANADA 2013/10/09
発表者	Shannon Flint
所属	Assistant Deputy Minister -Policy Division, AER
タイトル	責任ある資源開発と環境保全を確保するために、統合された資源管理システムの利点の調査 (Examining The Benefits of an Integrated Resources Management System To Ensure Responsible Resource Development and Environmental Conservation)
概要	
好機	<ul style="list-style-type: none"> ➢ アルバータのきれいな環境、活発な経済、健康な社会を規定する ➢ アルバータとカナダ両方の経済の利点を生かし、アルバータがビジネスの活発な場所としてあり続ける事を確実にする。
挑戦	<ul style="list-style-type: none"> ➢ アルバータの為に、新たに統合された資源管理システムを作る。これは責任ある資源の開発と保護を確実にするため、環境管理と公共の安全を強く約束するものである。
(統合された資源管理)	
なぜ IRM (Intregrated Resources Management) の追求なのか？	
<ul style="list-style-type: none"> ➢ 繼続的な経済成長と人口増加 ➢ 積み重ねられた結果の管理の必要性 ➢ 公共及びステークホルダーの発展の可能性 ➢ 統合に対する強い要望 ➢ 資源管理を進めるための社会ライセンスの育成 	
(達成するには何をすべき)	
<ul style="list-style-type: none"> ➢ 統合されたモダンなエネルギー政策と法規制システム ➢ 積み重ねられた成果に対応するための明確な政策 ➢ 広範な科学に基づく環境モニタリングシステム ➢ パートナーやステークホルダーとの強固な関係 ➢ 情報評価に基づく、政策、保証、成果の継続的な改善 	
(2つの部門の統合)	

- IRM のキーとなる第 1 ステップ
- 一つの部門が、非常に入り組んだ問題を扱っている。
- 別々のビジョンによる調整されたアプローチ
- 中核となる、大気、地表、水質、生物多様性の全体を見渡す

(IRM システム-優先事項)

- 地域計画：ユニークな地域のニーズを反映した、戦略的な成果と政策を規定する
- 法的強化：成果の効果的な保証を規定し、環境管理や公的安全の為の約束を表明し、二重業務を廃止することで効率を改善する
- 環境モニタリング：進捗の記録を残し、オープンで透明性が高く、中央と調和した管理行動や、環境メディアを横断する形で、統合された科学に基づくシステム情報を提供する

(地域計画)

- 環境に影響を与えるすべての開発活動を記録する
- 少なくとも 50 年間の計画期間で、5 年サイクルで更新する
- 地方に望まれる成果を明確に定める
- 成果を達成するための戦略と事前活動を明確にする
- モニタリングと報告の戦略を明確にする

(規定された強化計画：どのように達成したか)

- 2010 年強化タスクフォースの達成が規定された
- 保証の強化-議論の記録 - 2011 年 5 月に公開
- 6 項目の推薦事項を前進させている

(タスクフォースの推薦事項)

- 政策管理事務所の創設
- 上流の石油、ガス、オイルサンド、石炭に関する一つの規制団体を作る
- 公の約束手順を明確にする
- リスクアセスメントと管理のアプローチを共通にする
- パフォーマンスを査定し、システムの改善を継続的に行う
- 地主との関係を改善するメカニズムを作る

(政策管理事務所：2012 年秋に創設)

- 天然資源に関する政策、成果、活動の統合を保証する
- 創設者と政策を伝える規定書の統合を保証する

- 創設者と政策を伝える規定者の間の相互交流を管理する

(信頼できるエネルギー開発法)

- アルバータエネルギー管理事務所は上流の油、ガス、オイルサンド、石炭の規制機能を担当する
- これは独立した組織であり、アルバータ政府とは関係ない
- この法律は、鉱物保有権や地上権の機能を含むものではない
- 法の権限：効率的で安全で秩序と環境に配慮したアルバータ州のエネルギー資源の開発を規定する。

(アルバータエネルギー規則)

- 申請の確認と決定
- コンプライアンスの監視
- サイトの状態と環境への影響の監視
- 停止、廃坑、閉鎖の監視
- 是正と返還要求
- 地権者登録

(段階的導入)

- 規制局の対応は、段階的に進められ、ERCB (Energy Resources Conservation Board) エネルギーの制定に関連する所と同時に開始される。ERCB は解体され、AER はこれらの機能を引き継ぐ
- REDA の布告は、新しい項目の段階を除いて、2013 年 6 月 17 日に規定された。
 - ・ 申請の公的通知
 - ・ 環境法令 (EPEA, Water Act, Public Lands Act, Part8 Mines & Minerals Act)
 - ・ 個人の地上協定の登録
- 全体の統合された規程は 2014 年 6 月

(水規制の機能)

- AER に引き継がれるもの
 - ・ 水法の承認
 - ・ 規制対象施設への EPEA の認可
 - ・ 上記法律におけるコンプライアンスと執行活動
- ESRD/GoA に残るもの
 - ・ 政策に関連する水の開発
 - ・ 地上使用の枠組みのもとでの地域計画

(アルバータエネルギー局による最近の規制強化)

- 水圧破碎作業に対する総水使用量報告システム(Directive 59)
- フラクチャーリング流体の添加剤の全開示と報告 (Directive 59 と FracFocus, ca)
- 地下の整合性、塩分の無い地下水の保護を確保するために強化された要件 (Directive 83)
- 非在来型の法規制の枠組み (URF) - 油・ガス開発管理の新しいアプローチ

(現在の水政策の取組み)

- 水の分配と使用
 - ・ すべての上流側油・ガス活動における石油フィールドでの圧入の為の節水と配分政策の展開
 - ・ 上記政策下での地下部門ガイドラインの開発（増進回収法、熱回収法、水圧破碎法、オイルサンド鉱山）
- 地下水水質の保護
 - ・ 水圧破碎作業の為に必要なベースライン水の坑井テストの展開を考察する
- 地域の湿地対策
 - ・ 州計画をサポートするための柔軟性を持った、地域を横断する湿地に対する管理の為の共通の枠組み
 - ・ ステークホルダーとのキーとなる詳細項目の開発を可能にするため、2014/2015 に実行段階に移る

以上

【No. 7】

発表日	Sep 26, 2013
会議名称	TIGHT OIL & SHALE GAS WATER MANAGEMENT CANADA 2013/10/09
発表者	mark-taylor
所属	A Junior Producer Perspective - Mosaic Energy
タイトル	持続可能な水戦略の実施を通してのライセンスの維持 (Maintaining Social License to Operate Through Implementation of a Sustainable Water Strategy:)
概要	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ モザイクエナジー社について <p>開発地域 : Redwater Viking, Gilby Glauc, Edson/Carrot Creek and Jayar 開発の効率化のために水平坑を複数掘削し一度にフラックする方式を採用している。 会社の規模に関わらず、開発に必要な水の調達は各社の課題である。</p> ➤ 開発のためのライセンス <p>ライセンスを許可されると開発をコントロール出来る。開発をコントロールするためには、フラックに使用する水の戦略が必要である。 開発はある程度の会社規模が必要とされるため、中小の会社がライセンスを許可される事は難しい。</p> ➤ 水戦略の要素(考慮する点) <ul style="list-style-type: none"> ・リザーバー/フラック技術 <p>フラクチャリングデザインと、フラクチャリング流体は最適か。 どのくらいの規模のフラックが、1坑井あたりどのくらい必要か。 フラクチャリング流体の種類。 CO₂ や N₂ でフラクチャリング流体の代用ができるか(水とコストの削減に寄与するか)。 何割のフラクチャリングフルイドがフローバックするか。</p> ・水源の確保 <p>どこで水を貯めておくか。フラックの際にどのように水を利用するか(パイプライン、トラック)。 <ul style="list-style-type: none"> - 地表水 - 十分な数量が確保できるか、年間の水位変動についての理解、薬品との適合性。 - 地下水(塩水含む) - 十分な数量が確保できるか、掘削による地表への影響、薬品との適合性。調達 </p> 	

コスト、ブラック流体として使用するための処理の有無。

- ・ステークホルダー

ステークホルダーの考え方や、懸念等(生活水の汚染、 トラックの騒音)を理解すること。

- ・フローバック流体

- ・経済性

➤ 水戦略についてのモザイクエナジー社の工夫

他のパートナーと水源を共有する。

請負業者に水を提供してもらう。

業界全体のプロジェクトに参加する(GeoScience BC、Horn River Basin Aquifer Project 等)

フラクチャリング水に、フローバック水のリサイクル水や、非生活用水を使用する。

➤ まとめ

水戦略(地下水の保護、効率的な水の利用、生産水の処理、再利用と水の保全)は、シェール開発には欠かせない。モザイクエナジー社は、他社と水源を共有する等の工夫をし、シェール開発のライセンスを維持している。

以上

【No. 8】

発表日	Sep 26, 2013
会議名称	TIGHT OIL & SHALE GAS WATER MANAGEMENT CANADA 2013/10/09
発表者	derek-brown
所属	Strategic West Energy Ltd.
タイトル	どのようにして、水圧破碎用の水を確保するのか (How To Secure Water For Hydraulic Fracturing Operations:)
概要	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ プロジェクト概要 <ul style="list-style-type: none"> ・ 使用可能な水 地表水、表層堆積物や浅い岩盤帶水層、深部塩水帶水層 ・ 共同プロジェクト AUPRF (PTAC) シード資金、10の業界パートナー、2年間のプロジェクト フィールドは中西部アルバータ州のシェール 	
<p>プロジェクトチームは下記三社から構成されている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ Foundry Spatial 地表水、空間データベースのコンパイル、データ統合、水文モデリング ・ Petrel Robertson Consulting 深部塩水と浅い非塩水の帶水層特性評価 ・ Strategic West Energy 一般的なプロジェクトの設計、管理 	
<p>プロジェクトの目的</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 中西部アルバータ州のシェール開発をサポートするために、水資源の総合的な地域評価を提供 水源と深い廃液処分ゾーンの概要 探鉱開発情報の提供等 	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ プロジェクト経緯 <ul style="list-style-type: none"> ・ 2012年7月～2013年6月 地表水、浅い帶水層：データ編集と組織編成 深部塩水帶水層：優先度の高い地域のマッピングと特性評価 ・ 2013年6月から2014年6月 浅層、深層の帶水層の特徴 帶水層の能力と、水のスループットのモデリング作業 	

➤ プロジェクトチームの成果

許可およびライセンス取得のための情報提供

操業のために使用可能な水を定義

ステークホルダーとのコミュニケーション(懸念の解消)

以上

【No. 9】

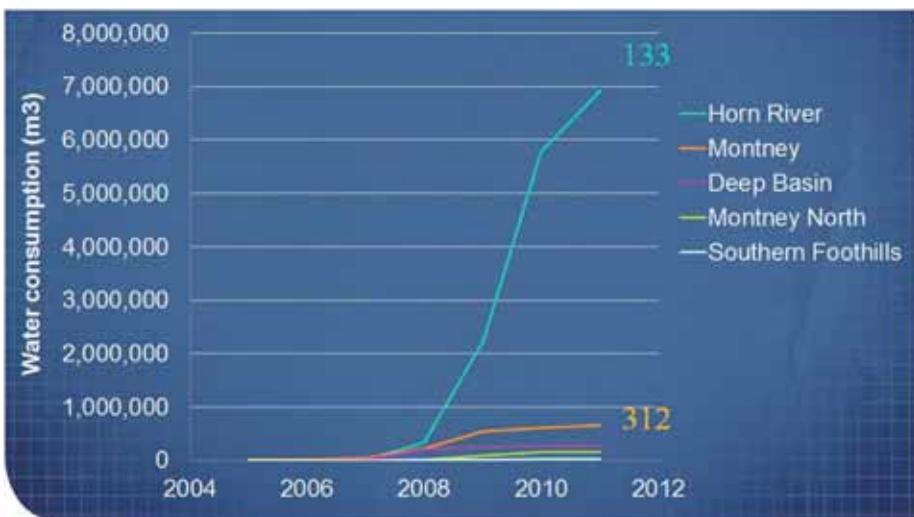
発表日	Sep 26, 2013
会議名称	TIGHT OIL & SHALE GAS WATER MANAGEMENT CANADA 2013/10/09
発表者	Carlos J. Salas and Dr. Brad J. Hayes
所属	Geoscience BC
タイトル	地表水の利用を減らし、深い帯水層からの水を利用する最適なロケーション (Pinpointing Optimal Locations For Water Withdrawal In Deep Aquifers To Alleviate Strains On Surface Water Resources:)

概要

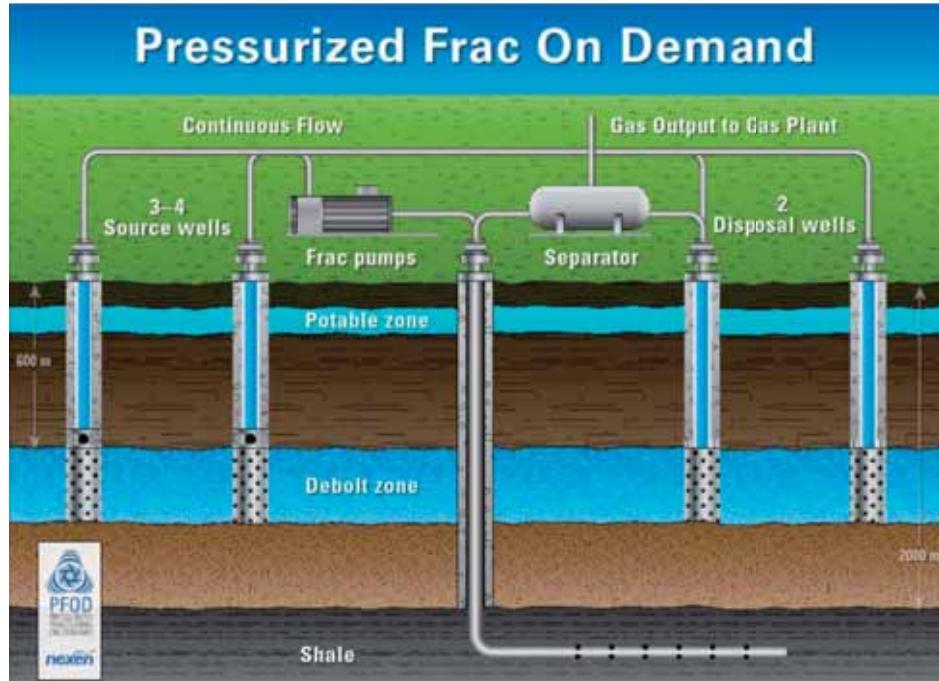
本報告はブリティッシュコロンビア州北東エリアにおける持続可能な水管理についての紹介である。

➤ ホーンリバー帯水層プロジェクト

下図はBC(North East)のシェールフィールドの水使用量(累積)であるが、ホーンリバーが累積の水の使用量が圧倒的に多い事が見てとれる。この水使用量について改善しようと立ち上げられたのがホーンリバー帯水層プロジェクトである。ホーンリバー帯水層プロジェクトは、ホーンリバーで開発、生産を行っている会社が技術データを持ち寄り水使用量の削減を検討した共同プロジェクトである。主要な帯水層についての評価を実施し、帯水層の深度、層圧、孔隙率等のデータをまとめた。この結果、帯水層の浸透率が非常に良い事が分かり、フラクチャリング水の取水とフローバック流体の処理にこの帯水層(生活水としては使用されておらず、シール層もあるため地表や人への影響はない)を利用する循環システムが考案された(次ページにシステム概要図)。



BC (North East) のシェールフィールドの水使用量(累積)



フラクチャリング水循環システム概要図

給水井の坑口圧力は、バクテリアが繁殖しないように圧力が掛けられた状態でコントロールされている。

本報告では、ホーンリバーの他、Montney、Liard地域の帯水層スタディーが紹介されたが、現状ではホーンリバーのような帯水層を用いた循環式ウォーターマネジメントシステムを構築するには至っていないとの事であった。

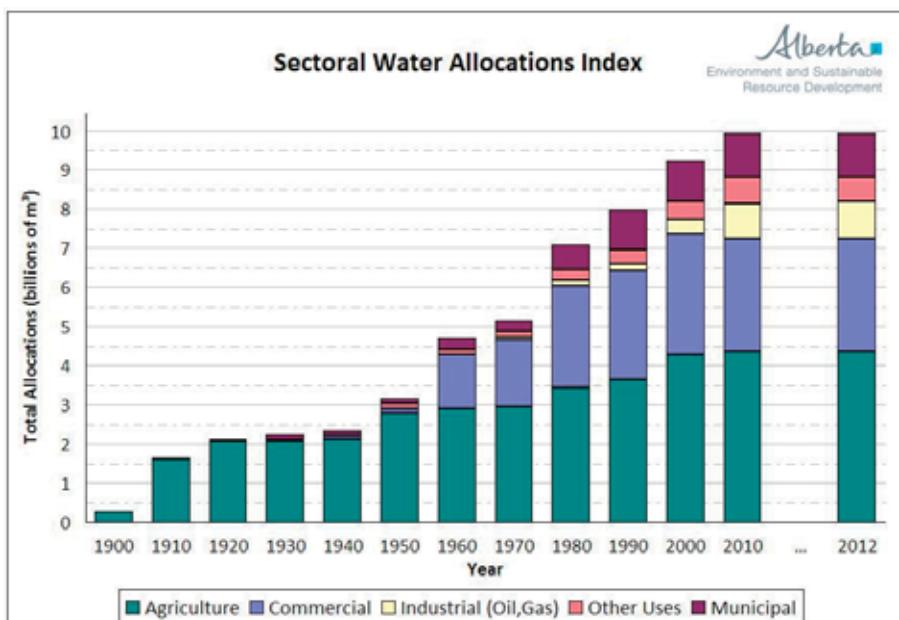
以上

【No. 10】

発表日	Sep 26, 2013
会議名称	TIGHT OIL & SHALE GAS WATER MANAGEMENT CANADA 2013/10/09
発表者	Robert George
所属	Water Policy Branch
タイトル	タイトオイルとシェールガス開発のための水源選定 (Outlining Source Water Selection Policy For Tight Oil And Shale Gas Production To Maintain Compliance:)
概要	

➤ シェール開発と水

2012年のアルバータ州での水の使用量は全産業で $9.9 \times 10^9 \text{m}^3$ であり、そのうち石油産業が占める量は $951 \times 10^6 \text{ m}^3$ であった。



アルバータ州の水の使用量

近年石油産業の水使用量が増えているのは、シェール開発によるフラクチャリング水のためである。

➤ フラクチャリング水に伴う問題点

フラクチャリング水に伴う問題点としては下記が挙げられる。

- ・高品質な水が求められている。
- ・持続可能な地下水源が求められている
- ・地下水保全の問題
- ・設備の問題

上記の問題点からも、フラクチャリング水としてフラクチャリングのフローバッ

ク流体や、その他の産業で排出される水のリサイクル化が促進されている。また、低品質な水の利用や、雪解け水の使用も行われている。

➤ 水の利用とライセンス

水利用はライセンス管理されている。ライセンスの発行者は州政府であるため、ライセンスを得るには州政府に申請し承認を受ける必要がある。ライセンスは取水期間や取水範囲により下記に分類される

- ・ Short Term : 使用量が少ないため、リスクも小さい。開発段階の使用量を減らす目的がある。
- ・ Term License : 5-10年 開発段階のプロジェクトに適用される。
- ・ Long Term License : 商業開発される段階になったプロジェクトに適用される。

法令には様々な産業が協力して水管理に努める事が謳われている。このほか、シェール開発に伴いフラクチャリングを行なうには、フラクチャリング流体についての報告と、水の使用量を報告する事、地下水のモニタリング等が義務付けられており、近年州政府の法令は厳しくなる傾向にある。

以上

【No. 11】

発表日	Sep 26, 2013
会議名称	TIGHT OIL & SHALE GAS WATER MANAGEMENT CANADA 2013/10/09
発表者	Dr. RUDY SOOKBIRISINGH
所属	UNIVERSITY OF TEXAS EL PASO (UTEP)
タイトル	淡水依存を減らすための、革新的で持続可能な水戦略の実行 (Implementing Innovative And Sustainable Water Strategies To Reduce The Dependency On Fresh Water. :)
概要	

➤ 水処理プロセスの紹介

・機械処理

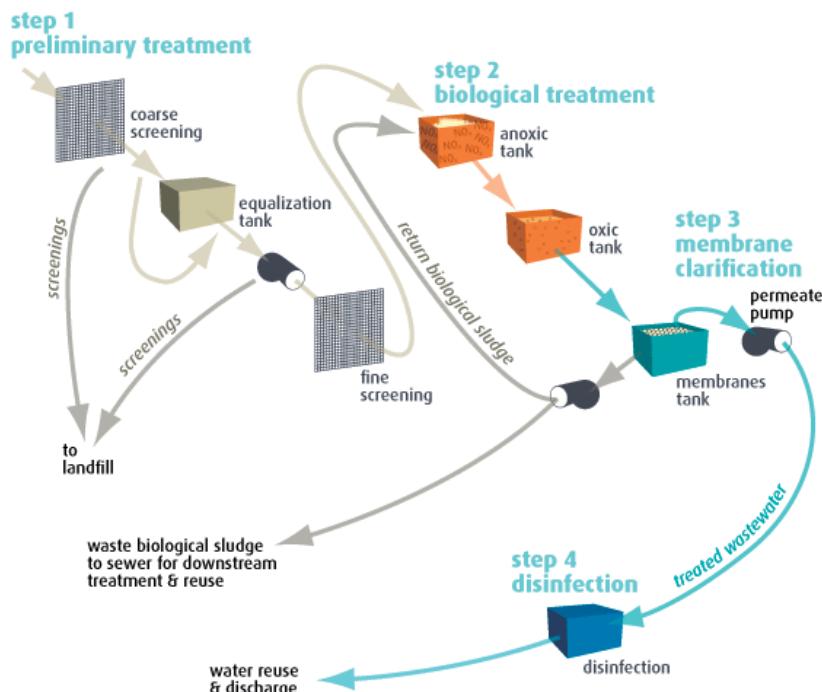
機械処理は浮遊個体やグロスを取り除く処理であり、スクリーニングや、重力沈降により浮遊物質が取り除かれる。

・微生物処理

微生物処理は、機械処理で取り除けなかった溶解有機物を取り除く処理である。微生物が有機物を消費する事でCO₂や水等に分解する。

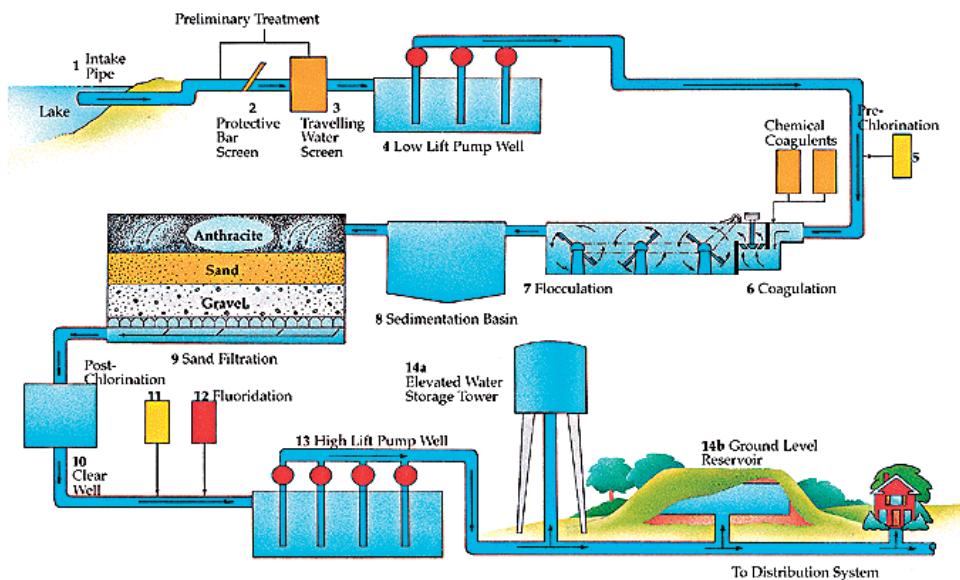
・化学処理

微生物処理を施した後に薬品を添加する処理である。本処理で99%の溶解物質が除去され、ほとんど飲料水と同等の水が得られる。



水処理フロー概要図(1)

WATER TREATMENT PLANT SURFACE WATER SUPPLY



水処理フロー概要図(2)

➤ 水のリサイクルと水使用量削減のためのエンジニアリング、科学技術の活用

- ・薬品添加 - 消毒
- ・分離、透明化 - デカンタ
- ・イオン交換 - 脱イオン、脱塩装置
- ・ライム柔軟剤 - 膜処理、精密ろ過システム
- ・逆浸透システム（ROシステム） - 淡水化プラント
- ・汚泥脱水 - ベルト式フィルタープレス
- ・精密ろ過 - 精密ろ過システム

➤ まとめ

アルバータ州では水源の管理及び、科学技術を駆使したリサイクルシステムを確立する事が求められている。

以上

【No. 12】

発表日	Sep 26, 2013
会議名称	TIGHT OIL & SHALE GAS WATER MANAGEMENT CANADA 2013/10/09
発表者	Scott Meakin
所属	Corporate Responsibility Canadian Association of Petroleum Producers
タイトル	共通理解を通しての上流の石油ガス部門の社会ライセンスの獲得と維持 (Earning and Maintaining Social License for the Upstream Oil and Gas Sector Through Common Understanding. :)
概要	
<p>➤ フラクチャーリングのガイドライン by CAPP(Canadian Association of Petroleum Producers)</p> <ol style="list-style-type: none"> 可能な限り水のリサイクルに努め、地表水及び地下水の質と量を保全する。 環境への影響を削減するために水の使用量を開示する。 環境リスクのためにフラクチャーリング添加物の開発をサポートする。 フラクチャーリング添加物を開示する。 フラクチャーリングの潜在リスクを削減するため技術開発に努める。 <p>➤ フラクチャーリングの操業ルール</p> <ul style="list-style-type: none"> 使用薬品の含有物について、坑井ごとに公表する。 フラクチャーリング流体の添加物のリスクアセスメント及び管理 地下水の水質調査(鉱区内の地下水をモニタリング) 坑井の健全性保証 フローバック流体、生産流体、塩水、地表水等の有効利用、再利用 流体の取り扱いリスクを最小化(移送、貯蔵、廃棄) フラクチャーリングによる誘発地震のアセスメント(地震計の設置) <p>➤ まとめ</p> <p>カナダは今後もシェールガス&オイルの開発機会に恵まれているが、開発はCAPPのガイドラインに基づき進める事が基本条件である。</p>	

以上

【No. 13】

発表日	Sep 26, 2013
会議名称	TIGHT OIL & SHALE GAS WATER MANAGEMENT CANADA 2013/10/09
発表者	Patricia Etris
所属	Manager, Community Relations and Investment
タイトル	理解を通してのシェール開発懸念の解決 (Calming O&G Development Concerns Through Understanding Public Perception. :)
概要	
<p>➤ デボンエナジー社の活動</p> <p>デボンエナジー社のカナダシェール開発において、地域とのコミュニケーションを活発にすることで、開発における様々な懸念を解決してきた。</p> <p>具体的なデボンエナジー社の活動としては、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ローカルスタッフの採用 ・開発はライセンスを取得し、開発している事を現地で説明 ・コミュニティへの投資 ・シェール開発においてどのように環境を守るかについての説明。 ・産業の経済性についての説明。 <p>➤ 開発についてのキーポイント(地元住民に対して)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・シェール開発の開発履歴を地元住民と共有する。 ・地元住民にエネルギーの意義を伝える。 ・懸念事項は対話で解決する。 ・法令をクリアして開発している事実を主張する。 ・地元住民との間で信頼関係を構築する。 <p>➤ まとめ</p> <p>デボンエナジー社はシェール開発において地域住民との結びつきを大切にしている。地域住民との対話、地域社会への資金投資により関係性を良好に保ち、住民との間でシェール開発に伴う懸念事項を解決してきた。</p>	
以上	

【No. 14】

発表日	Sep 26, 2013
会議名称	TIGHT OIL & SHALE GAS WATER MANAGEMENT CANADA 2013/10/09
発表者	Kirk Harris
所属	Global Cementing Specialist, Talisman
タイトル	水平坑井のセメンチング (CEMENTING HORIZONTAL WELLS:)
概要	
➤ 帯水層の保護	
<p>シェール開発のセメンチングは生活用水が取水される帯水層への逸泥を起こさせないために、比重の重いテールセメントのボリュームを削減、セメントの比重を落としセメントの粘性を上げる、必要に応じてLCM(Lost Circulation Materials)をセメントに添加する等の対策が取られている。</p>	
<p>下記はTalisman社の帯水層に用いているセメントスラリーのレシピである。</p> <p>比重 = 14.5 -15.8 ppg</p> <p>Thickening time = 1:15 (hr:min)</p> <p>Rheological properties = 77 / 15 (PV / YP)</p> <p>Compressive strength = 850 psi (8 hr), 2020 psi (48 hr)</p> <p>Free water / settling = 0</p> <p>Fluid loss control = NR</p> <p>Expansion = 0.3 -1.2 %</p>	
➤ シャローガス対策	
<p>ライトアングルセット(早期に強度発現する)のセメントを使用する。</p> <p>膨張セメントを使用する。</p>	
➤ 水平区間のセメントスラリー	
<p>水平区間のセメンチングは、ハイサイドにフリーウォーターが出来る。</p> <p>フラクチャリングのため10,000psiのケーシング加圧テストを実施する必要があるが、新しいタイプのセメントプラグを用いる事で圧力を維持させていく。</p>	
➤ まとめ	
<p>Talisman社のオペレーションでは、サーフェスケーシングのセメンチング区間に、逸泥やシャローガスが発生する区間があるが、ライトアングルセットのセメントと膨張セメントを用いて、帯水層の保護に成功した。また、セメントのボンディングについてもシャローガスを含む区間で良いセメントボン</p>	

ドを得る事に成功している。

水平区間のセメンチングでは、セメンチング中に管動が実施されるのが一般的で、ローテーションはさほど行われていないようである。水平区間のケーシングFracFocus (<http://fracfocus.org>)にはセンテックセントラライザーが使用されているとの事である。

以上

第6章 まとめ

平成25年4月に公益財団法人JKA(競輪)の補助事業としての承認を得て以来、6月の第1回シェールガス委員会・第1回分科会において、本調査・検討の方針を決定し、本事業を推進してきた。本年度実施してきた事業内容について、以下にまとめる。

(シェールガス開発に伴う環境問題の現状と対策)

シェール層を対象とした石油・天然ガスの開発は、米国が先行しているが、カナダにおいてもすでに活発化している。シェールガスは浸透率が0.01md以下という極めて小さいシェール(頁岩)の中にあり、これを効率よく採取するために、坑井を水平に掘削し、その坑井の水平部分に1ステージ約120メートルの間隔で10~20ステージの多段階の亀裂(フランクチャーチ)を作るという高等手法を取っている。シェールガスの開発は、水平坑井の掘削技術とフランクチャーリング技術の進化の賜と言っても良い。本事業のタイトルでは、シェールガス開発と謳っているが、同様の手法で回収率を上げ事が可能なシェールオイルやタイトオイルについても調査対象とした。北米においては、近年シェールガスの価格の下落により、その開発はガスから高価格推移のオイルにシフトしてきている。

シェールガス開発の特徴は在来型に比べて一定の生産量を確保するために多くの坑井が必要な事である。また、多段階フランクチャーリングを実施するに当たっては、タンクやポンプ等を数多く必要とする事から、広い坑井敷地が必要となる。このため、環境に配慮し地上の使用面積を減らす目的で、一つの坑井基地(パッド)から8~16の坑井を掘削する対応が取られている。フランクチャーリングは一般的に多量の水を使用するため、米国やカナダにおいては、取水が許可制になっていたり、取水量の制限が設けられているところもある。このような事からフローバック水の再利用についても、積極的に取り入れられつつある。

シェールガス開発に伴う、飲料水用の浅層地下水の汚染については、様々なマスコミ報道がなされており、因果関係が明確でないものもあるが、坑井の仕上げに問題があるような場合には地下水層にメタンやフランクチャーリング水が混入した事例がみられている。一般的なマスコミ報道においては、フランクチャーリングを行う事で問題が発生しているように報じられているが、実際の事例から、フランクチャーリング作業が直接地下水層に悪影響を及ぼしている事実は確認できなかった。しかし、数多くのパッドエリアで多数の坑井が掘削されている実情を見ると、すべての坑井の仕上げを確実に実施することが地下水系汚染を防止する上で肝要である。

また、シェールガス開発に伴うと考えられる誘発地震については、フランクチャーリング作業そのものによって発生したというよりも、フローバック水等の液体の廃棄のための還元圧入作業によって、既存の地震断層に影響を与えた可能性が高いと考えられているが、そのメカニズムについては簡単ではなく、現在も研究対象となっている。誘発地震に対する対応としては、地震計の設置等による地震モニタリング体制の充実およびその情報開示、地

下の状態を十分に把握することが求められている。

シェールガス開発が、北米経済に大きなメリットを与えていた事はシェールガス革命といった呼び方が一般化している事からも見て取れるが、社会に対するデメリットも当然のことながら存在する。掘削作業の騒音や振動、輸送における排気ガスの増加や、メタン VOC の排出増加といった大気汚染の問題が指摘されているほか、大量の資機材輸送に伴う交通量の増加による渋滞、道路の損傷、粉じんおよび騒音といった影響を最小限にする対策も求められている。

従来の石油開発同様、開発に伴う環境・社会への影響は見られるものの、シェールガス開発においてとりわけ影響が大きくなっているという事は窺えず、問題が発生した場合の対応もコスト面も考慮しながら法規制に従って適切に対応されている。

(シェールガス関連情報に関する講演)

ハリバートン社橋本氏の講演では、既に環境を破壊しない食品添加物からなるフランク流体が開発されている事が報告されたが、使用実績は少ないようであった。万が一、飲料水系に混入した時の対応を考えるよりも、コスト面も考慮し、地下水系にフランク流体が流入する事の無いように、坑井の仕上げを確実に行うという対策に重点が置かれていると考えられる。

石油資源開発(株)影山氏の講演では、シェールガス開発の環境問題が移り変わってきたという話がなされた。環境問題といえば、2011年頃はフランクチャーリング流体の飲料水への混入や飲料水へのメタンガスの混入という論調であったが、2013年では問題に対する理解が進んだせいかマスコミで取り上げられる機会も少なくなり、水管理の問題（水の確保、水の輸送、リサイクル再利用等）に移ってきてている。

国際石油開発帝石(株)荻野氏からは、実際のフィールドでの操業について紹介されたが、北米におけるフローバック流体の処理は90%が地下圧入によるといわれているが、当該プロジェクトにおいても非常に浸透性の高い圧入層（水層）の存在により、圧入処理が行われているとの事であった。

(株)テルナイト佐藤氏の講演では、国内の坑廃水処理の紹介だけでなく、国外のフローバック流体や随伴水の処理の動向についても紹介され、現状では圧入処理が多いものの、取水の制限に対応するために水処理による再利用の必要性が徐々に高まる傾向である事が示された。

シュルンベルジェ(株)大澤氏からは、水の再利用についてフランクチャーリング流体を作液する際に必要とされる水質によって、フローバック流体の水処理技術が異なり、コストバランスのとれた計画が大切であるとの指摘がなされた。

(文献調査)

シェールガス開発に関する操業、環境規制は、米国各州やカナダ、欧州等で徐々に進めら

れてきている。フランクチャーリングについては、禁止している国がある一方で、推進している国・地域もあり、立地条件等で大きく異なっている。最近の傾向としては、リスクを評価し対策を明確にしたうえで推進という方向が多いように思われる。

米国マーセラス地域においては、不適切な坑井仕上げにより、メタンガスが浅部帶水層に移動したことによる起因して、水井戸のメタンガス濃度が上昇している事例がある事が分かっている。

米国ニューヨーク州では、環境影響評価がまとめられており、水井戸から 500 フィート以内の水圧破碎禁止等の低減措置が定められており、また、添加剤の情報開示も義務付けられている。

米国テキサス州では、シェールガス開発も在来型ガス開発と同様の規制で扱われており、フランクチャーリングによる地下水の汚染はこれまでに 1 件も報告されていない。

カナダアルバータ州では、浅部地下水層に間違って穿孔を行い、フランクチャーリングが実施されたミスオペレーションの事例が報告されている。

カナダブリティッシュコロンビア州では自然地震とは異なる微小地震に対して調査が行われ、既存断層に近接した水圧破碎作業における流体圧入によって、断層が再活動し引き起こされたものと結論付けられている。この対応策として、地震計の設置による地震観測網の整備および既存断層の調査等が挙げられている。

欧州においては、北米に比べてシェールガス開発実績は少なく、水圧破碎が禁止されている国がある一方、開発に関心を示している国もある。欧州において評価されているリスクに関しては、北米における多くの実績に基づく検証・提示を利用してリスク評価及び対策を実施することが可能と思われる所以、それを進めて行く事が今後の課題となる。

米国連邦政府下の環境保護庁(EPA)においては、水圧破碎による環境有害要因の解析や、飲料水源への水圧破碎による影響の調査研究等が行われており、2016 年には最終報告が公表される予定である。

(海外調査)

カナダにおいて、シェールガス開発に参画している石油資源開発(株)カルガリー事務所及び国際石油開発帝石(株)カルガリー事務所を訪問し、プロジェクトの内容を直接見聞した。

フランクチャーリング用流体は、どちらも添加剤が少ないいわゆるスリック水を使用していた。水源は河川水や湖沼水を利用している。水処理に関しては、石油資源開発(株)の案件では、フローバック水をほぼ再処理し再利用しているのに対して、国際石油開発帝石(株)の案件では、圧入及び再利用の併用となっていた。

カナダカルガリーで開催されたシェールガス開発における水管理に関するカンファレンスに参加し得た知見では、水源の確保、水の輸送、フローバック水の再処理といった項目が大きな懸案テーマとなっていた。特に水源の確保や水の輸送を減らすといった観点からも、フローバック水の再処理は最も大きな問題であるとされていたが、その方法はフィー

ルドによって千差万別である。地層の性状により、採用するフラクチャリングデザインは異なり、添加剤も異なる。また、フローバック水の取り扱いも圧入か放流か再利用かによって、求められる水質も異なる。これらを考え合わせて、各々のフィールドに最適な処理方法を採用していかなければならない。

(今後の課題)

本年度の調査において、シェールガス開発に伴う環境影響問題の概要については把握できたと思われるが、その問題に対する解決策については、具体的に示せていない状況である。一口にシェールといっても、その性状は千差万別であり、フラクチャリングデザイン（使用する添加剤）についても、その性状に合ったものを使用しなければならない。今回行ったヒアリングの範囲ではスリックウォーターの使用が多かったが、文献等によると高粘性のブラック流体が使用されているフィールドも多々ある。そのため、水処理を行うに当たっても、使用するブラック流体に適合した処理方法が必要である。また、フローバック水の処理についてもフィールドによって地下圧入が可能な場合もあれば再利用が必要な所もある。このように見えてくると、具体的なフィールドを対象とした調査を積み上げ、具体的な事例に基づく水処理技術や水管理手法をまとめて行く事が肝要であると思われる。米国EPAでも水圧破碎による環境有害要因の調査研究を鋭意継続中であることに鑑み、わが国の水処理専門会社や分析サービス企業の技術やノウハウが拡大する北米シェール開発に役立てないかと期待したい。資源生産現場に乏しいわが国にとっては、政府の支援のもとに石油・ガス開発分野と環境技術・水処理分野の専門家が視察団を組み、米国のシェール開発現場の実態調査を行うことは価値のあることと思料する。

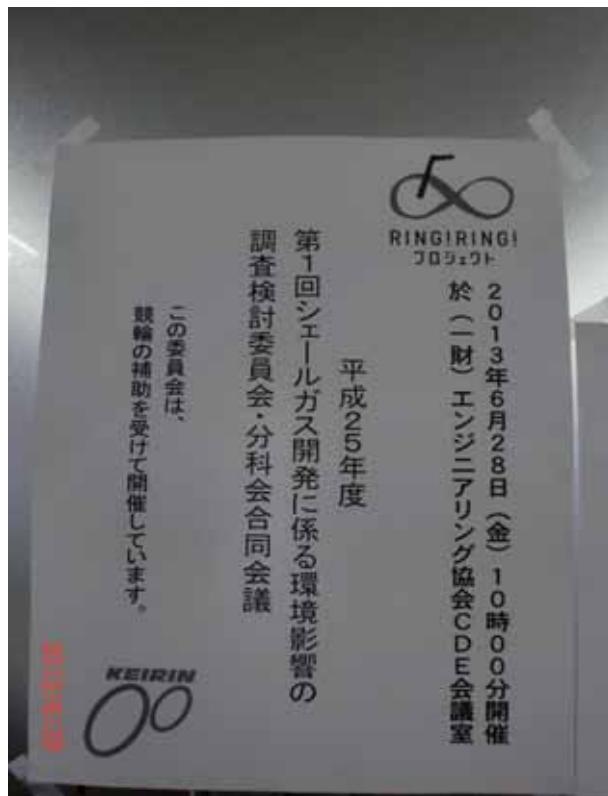
誘発地震については、専門家の間でもそのメカニズムがいまだ研究中であるといった事から、簡単に結論を出せるものではないが、地震計の増設によるモニタリング体制の充実および情報開示を進めることが重要であり、誘発地震の発生については、引き続き注視していく必要がある。

今回の調査では実際に開発の進んでいる北米を中心となつたため、欧洲については本格的な調査ができなかった。今後、開発の滞っている欧洲と進んでいる北米を比較することで、問題の所在を明確にしていくことができると思われる。

資料-1：委員会、分科会活動状況資料

- (1) 平成 25 年 6 月 28 日
第 1 回委員会・第 1 回分科会合同開催
- (2) 平成 25 年 10 月 10 日
第 2 回委員会・第 5 回分科会合同開催
- (3) 平成 26 年 3 月 3 日
第 3 回委員会・第 9 回分科会合同開催

第1回委員会・第1回分科会合同開催



第1回シェールガス委員会・第1回分科会合同開催



第1回シェールガス委員会・第1回分科会合同開催



第1回シェールガス委員会・第1回分科会合同開催



第1回シェールガス委員会・第1回分科会合同開催



第1回シェールガス委員会・第1回分科会合同開催



第1回シェールガス委員会・第1回分科会合同開催

【第1回シェールガス委員会・第1回分科会合同開催議事録】

日時：平成25年6月28日（金）10：00-11：45

場所：エンジニアリング協会 C, D, E会議室

出席者

委員会：藤田委員長、増田委員、小山委員、坂本委員、石井委員、牧委員、上條オブザーバー、沼倉オブザーバー、福田専門職殿

分科会：田中殿（堀江分科会長代理）、松下委員、横山殿、大江委員、山田殿、竹原殿（関本委員代理）、横山委員、井田委員、松谷委員、佐々木委員、豊田委員、池口委員、大西殿（中川委員代理）、河合オブザーバー、根本オブザーバー、藤井殿（佐藤オブザーバー代理）

事務局：中村所長、山田副所長、高橋部長

- 議事：(1) 平成25年度活動計画（案）について
(2) 委員会・分科会のスケジュールについて
(3) その他

配布資料：資料1-1 委員会、分科会委員名簿

資料1-2 平成25年度実施計画（案）

資料1-3 シェールガス開発の環境問題に関する文献・資料調査 仕様書（案）
平成25年度JKA（競輪）補助事業「シェールガス開発に係る環境影響の調査検討」実施計画について（パワーポイント資料）

海外セミナー情報

【挨拶】

（中村所長）

多くの皆さまにご出席いただき、感謝申し上げます。第1回の委員会と分科会を合同で行うこととしたのは、委員会の考え方を分科会とも共有した方がよいと思ったからです。分科会においては、汗をかいて頂こうと考えております。産・学・官の英知を結集してよりよい成果を導き出せればと思っておりますので、よろしくお願いします。

（上條課長補佐）

シェールガス開発については、やっと国としても米国からのLNG輸入に関して風穴をひとつ明けた状況ですが、日本としてどういう技術がシェールガス開発に貢献できるのか、ということは重要だと思っています。国内での実績がない中で、このように多くの人が集まって議論を深めることは、非常に有意義なことだと思いますし、期待もしております。

(沼倉課長補佐)

我々の鉱山保安法では、鉱業を行うに当たり、現況調査が義務付けられています。あくまでも自主保安体制となっています。我々として協力できるところは、環境面での法規がどうなっているかというところだと思いますので、その面からのお手伝いができればと思っています。

(藤田委員長)

今回委員長を仰せつかった藤田です。今回は非常に多くの方にお集まりいただき、これだけの方にご協力いただけたということで感謝いたします。事業を進めるに当たっては、データ収集や文献等の調査だけでなく、現地を見ることが重要です。シェールガス開発のトリガーは油価の上昇であったと思いますが、それからまだ4年しかたっていないので、タイミングとしてはまだ遅くないと思います。米国ではシェールガスの表（光）の面が大きく報道されているようですが、裏（影）の面いわゆる環境影響面の問題もあるので、これに取り組むことは非常に有意義であると思っています。今回の環境影響調査の実質作業を行う分科会委員にこの様に大勢の専門家がお集まり頂き頗もしく心強い限りです。本年度の活動を通じ互いに問題意識を共有し、北米シェールガス開発に係わる環境影響の諸問題の実態を纏めて頂ければ貴重な調査資料となるでしょう。是非、分科会委員の皆さんから情報提供と本事務局へのご協力をお願いします。

【審議事項】

審議事項（議事（1）、（2））については、以下の質疑コメントを頂き、承認された。

（質疑、コメント等）

増田委員：2.（2）の実施企画書の策定とは、どのような内容を想定しているのか。また誰が作成するのか

事務局：実施企画書は、文献調査及び海外の情報収集等で得られた情報を基に、10月以降どのポイントにフォーカスして調査するかを、第2回の委員会で審議頂くための資料と考えている。分科会で作成し、委員会で承認を頂く形を考えている。

石井委員：外部委託先と分科会の関係であるが、分科会の委員に文献の査読等をお願いすることになるのか。

事務局：委託先は専門業者にお願いし、分科会は資料を基に問題の抽出やその後の対応を考えることとするが、外部委託でカバーしきれないところは、分科会にお願いする所もあるかもしれない。

坂本委員：業者を選定するにはある程度のパフォーマンスの見込める業者となると思うが、透明性はどのように確保するのか。

事務局：JKAの条件として、3社以上の見積もりを取って選定することとされている。

藤田委員長：文献調査の仕様書に日付が入っていないが、いつ頃までの完成を考えているのか。

事務局：8月いっぱいに文献調査を終わらせ、9月の分科会で皆さんに確認していただく事を考えている。

小山委員：文献調査範囲が定められていないが、どのくらいの事例を想定しているのか。

事務局：業者が決まった時点で、協議して決めたい。

牧委員：北米で取り組んでいるのはシェール層だけでなく、タイトオイル・ガスといったものも含まれるので、それも含めて考えてもらいたい。調査に当たって、カンファレンスに行くのは良いが、石油会社（Independent）に行って話を聞いた方がよい。その地域で最も活動の活発な会社にターゲットを定めてコンタクトしてはどうか。あるいは日本の会社も参加しているので、そういうところからアプローチしてはどうか。

石井委員：資料調査については、国内で知識を持っている会社は限られるが、海外の会社では翻訳に金がかかる。ある程度分科会の人に汗をかいてもらわないといけないと思う。当社もマイナー権益を保有しているが、我々が現場見学することも大変であり、難しいように思う。

藤田委員長：中々難しい問題があるので、最初は色々な問題を集めて、このような問題があるというところをまとめるということではないか。

佐々木（天然ガス鉱業会）：文献調査のところで、事象の調査にとどまらず、作業面についてもどのような問題があったということを含めて、調査してもらいたい。

藤田委員長：活動計画案については、ご承認いただいたということで、この計画に基づいて進めていきたい。

【その他】

議事（3）に関して、以下のコメント・ご意見を頂いた。

石井委員：最終的な方向は環境面での対応ということであれば、石油会社でなくとも業者に当たってみるという手もあるのではないか。オイルカンパニーに聞いて、どういう業者が携わっているか聞いてみればよいと思う。秋田のタイトオイルに関しては紹介できると思う。

藤田委員長：帝国石油の南長岡でフラクチャリングの実績があるので、日本で行った大規模フラクチャリングの話も聴かせてもらってはどうか。水平掘りも含めわが国土での実績はどの程度だったのか、ヒアリングして欲しい。

大江（オルガノ）：水処理会社として、色々話を聞かせていただきありがたく思っている。法規制がどのようにになっているかについても、注意を払っていきたい。

横山（応用地質）：誘発地震が実際にあるのかどうか知っている人がいれば教えてもらいたい。個人的には微小地震が起きたからといって大きな地震を誘発することはないとと思っている。

河合（地科研）：地震多発国と地震の無い国では異なるが、どこまでを地震とするか微動とするかは非常に難しいが、実際に割れ目を作っているので、地震が起きないということは言えないと思う。

牧委員：米国ではたくさんの事例が公開されている。Googleでfracturingとinduced earthquakeで調べると、多くの事例が出てくる。原因として多いのは、フローバック流体や生産水の地下圧入によるものである。

井田（JFEエンジ）：文献調査に当たって、特許を調べるというのも一つの切り口だと思う。

横山（新日鉄エンジ）：海外の環境に関する法規制の調査も必要だと思うが、向こうの政府関係者とも接触を図る必要があると思う。

藤田委員長：今年良い仕事をすれば、JKA補助金事業が来年以降にもつながる可能性もある。一通り皆さんのご意見も頂けたと思いますので、本日の議事はここまでとしたいと思います。ありがとうございました。

【今後の予定】

委員会：第2回 10月10日（木）15:30-

第3回 3月 3日（月）15:30-

分科会：第2回 7月23日（火）13:00-15:00 @JAPEX会議室

現場報告：「イーグルフォードシェールオイル開発にノンオペ参加して」（仮題）

～プロジェクト概要、技術的諸問題点と環境影響問題について～

石油資源開発（株）北米シェールプロジェクト部長 影山 隆氏

第2回委員会・第5回分科会合同開催



第2回シェールガス委員会・第5回分科会合同開催



第2回シェールガス委員会・第5回分科会合同開催



第2回シェールガス委員会・第5回分科会合同開催



第2回シェールガス委員会・第5回分科会合同開催

【第2回シェールガス委員会・第5回分科会合同開催議事録】

日時：平成25年10月10日（木）15：30-17：10

場所：エンジニアリング協会 C, D, E会議室

出席者

委員会：藤田委員長、増田委員、小山委員、坂本委員、石井委員（欠）、牧委員、吉野オブザーバー（鉱山・火薬類監理官）上條オブザーバー、沼倉オブザーバー、福田専門職殿

分科会：堀江分科会長、松下委員、横山委員、大江委員、関本委員、井田委員、松谷委員、池口委員、河合委員、佐藤オブザーバー、曾我オブザーバー

事務局：中村所長、山田副所長、高橋部長、百田研究主幹

議事：(1) 平成25年度活動経過について

- 1) 分科会活動経過報告
- 2) 文献・資料調査（外部委託）結果について
- 3) 海外調査報告

(2) 平成25年度今後の活動計画案について

- 1) 今後の活動方針案について
- 2) 委員会・分科会のスケジュールについて

(3) その他

配布資料：資料2-1 分科会活動経過報告

資料2-2 文献・資料調査結果について

資料2-3 海外調査報告

資料2-4 今後の活動方針案について

資料2-5 第1回委員会議事録

【挨拶】

（中村所長）

本日は、ご多忙の中、ご出席いただきありがとうございます。今回は、先々週にカナダに出張して情報を集めてきたという事で、その報告も行ってもらいます。委員会・分科会合同開催という事で、活発な意見交換をお願いいたします。また、本日経済産業省からもおいでいただいておりますので、我々産業界の話も含めて、議論の盛り上がりを期待しております。限られた時間ですが、よろしくお願ひします。

（吉野鉱山・火薬類監理官）

経済産業省で、鉱山保安を担当している吉野でございます。石油の分野は国内では活発な

活動は行われていないが、シェール開発には取り組まれているという事で、このような委員会で研究されているという事を我々も参考とさせていただきたく、参加させていただきました。皆さまの調査研究の成果をしっかり勉強させていただきたいので、よろしくお願ひします。

(上條課長補佐)

前回に引き続き参加させていただいております。よろしくお願ひします。

(藤田委員長)

皆さんお忙しい中、このように大勢の方にお集まりいただき、ありがとうございます。本日、委員会の元で色々な活動を行ってもらっている分科会の方にも、一緒に参加してもらっています。内容の濃い意見交換を行いたいと思いますので、よろしくお願ひします。第1回の合同委員会の時と比較しても、シェールガス開発についていい影響が見えてきます。日本向けLNGの認可といった動きもあります。これが実現できるかどうかは、今回議論される環境影響がどうなるかという事にもかかわっている。シェールガス開発の光の部分だけでなく、影の部分も検討しておかねばならない。多くの方に参加して頂いてスタートできたことは非常に良いタイミングであったと思っている。これから来年に向かっても今回の議論を生かせるように、熱のこもった委員会にしていただければと思います。

【議事】

(1) 平成25年度活動経過

1) 分科会活動経過報告

資料2-1により説明、特に質疑なし

2) 文献・資料調査結果について

資料2-2にて説明

(質疑、コメント等)

藤田委員長：業務を請け負った会社はどういう会社か？

事務局：新日本サステナビリティは、元は監査法人であるが、その一部門としてHSEの調査・コンサルタント業務等を行っている会社である。JAPEXさんから御紹介頂いた。

藤田委員長：能力としてはどう感じたか？

事務局：主担当の方は、十分な能力を有しているように感じたが、スタッフはまだ若い人もおり、一部経験不足のような所もみられた。

藤田委員長：英語の能力は十分か？

事務局：英語の能力は十分であるが、Oil & Gas業界における知識が不十分なように思われる所もあった。

小山委員：調査に関して、十分納得のいく結果が得られたのか？

事務局：予算の制限もあったのでもう少し件数があれば良かったと思うが、最低限の情報は得られたと思う。

藤田委員長：もっと予算があれば、もっと深く情報を得られたと思うが。

事務局：対象を絞ったので、これで十分かといわれるとまだまだ調べるべきものはあるよう思う。

坂本委員：本文の要旨をまとめたものとなっているが、分科会で内容を読み込むという事はやっているのか？

事務局：全部読みこむという事は出来ないと思うが、これから対象を絞って読み込んでいきたいと思う。

吉野監理官：水に対する汚染と、地震の2つが環境問題の対象だと思うが、資料を見たところでは、水の問題に重点が置かれているように見える。地震についても調査は行っているのか？

事務局：地震についても、一部報告に入っている。最初の目的として、エンジニアリング協会として、水処理の企業もあり、多少そちらに重点が置かれた面もあるかと思うが、地震についても調査は行っている。

増田委員：報告書をみると文献の要約となっているが、それに対する結論みたいなものはどのようにまとめるのか？

事務局：請け負った会社にはもうお願いできないので、我々で行っていく事になると思う。

牧委員：調査をしてみて、新しい発見があったといった事はあったか？

事務局：文献調査よりも、分科会で講演を行っていただいた時に非常に参考になる話が多かったと思っている。

牧委員：フラクチャーリングと地下汚染の関係は、調査した結果、無いとの事を聞いた事があるが、今回の調査で必ずしもそうではないといった事は出てきたのか？

堀江分科会長：ミスオペレーションで汚染といった事例はあるが、明らかにフラクチャーリングで起こったという事例の報告はない。

3) 海外調査報告

資料2-3により説明

(質疑、コメント等)

小山委員：レギュレーションというのが何に対するレギュレーションかはっきりわからなかつたので、教えてもらいたい。

松谷分科会委員：取水の為のレギュレーションである。

小山委員：それは環境を守るという事からか？

松谷分科会委員：水を大量に使用することで、環境に影響があるかもしれないとの事であ

った。

小山委員：地元対策についてもレギュレーションがあったが、これはまた別のレギュレーションということか？レギュレーションが多いのでわかりにくい。

松谷分科会委員：地元対応のレギュレーションは別のものである。

藤田委員長：現地を見る事が出来なかったという事であるが、現地を見るためにはどうすればよいと思うか？

松谷分科会員：大きな制約はオペレーターではないという事だと思う。

堀江分科会長：INPEX もオペレーターは NEXEN であるが、中々行かせてもらえないようである。

牧委員：私も行こうと当たってみたが、現地に行くにも一般道は整備されておらず、専用に作った道路だという事で、アクセスが難しいという問題はある。アクセスしやすいところを選んだほうが良いと思う。バッケンの Independent の 4 社にレターを出し、1 社に受け入れてもらった。必ずしもノンオペだから駄目だという事はないと思う。向こうにもこういうメリットがあるといった事を伝えるレターを書くようにすればよいように思う。

(2) 平成 25 年度今後の活動計画案について

1) 今後の活動方針案について

資料 2-4 にて説明

(質疑、コメント等)

藤田委員長：目次案が出されたが、分科会の委員が手分けして作成するのか？

堀江分科会長：これから分担等について検討したい。

牧委員：IEA が出した Golden Age, Golden Rules は取り入れるのか？

堀江分科会長：5 章の 1 番あたりで入れる予定である。

牧委員：環境対策というのは、どこまでやるのかというのが一番の問題である。開発の経済性を損なう環境対策というのは現実的ではないという考え方がどこかに入ってくるのか？

堀江分科会長：アメリカでは、規制側もシェールの重要性を認識しており、開発が後退するような規制はしない方向のようである。

牧委員：EPAあたりは、開発をスローダウンさせる気はないというような事を言っているが、今後の環境対策の指針みたいなものがこの報告書の中で示されれば、なお良いように思う。もう一つ、一番大きな問題は水処理だと思うが、NEXEN は全量圧入と言っていたが、一方同じフィールドのアパッチは全量回収再処理となっているとの事であった。なぜ会社によって対応が異なるのか、会社の考え方の違いといったものも調査すれば、日本の水処理技術も生かせるのではないかと思う。

堀江分科会長：会社によってフィロソフィーの違いみたいなものがあるのかどうかは良く分からぬが、NEXEN の場合、恒常にフラックを行っているわけではないので、再処理しても使えないといった事もあるようである。

藤田委員長：今回の調査ではそこまで踏み込んだ調査はできないと思う。水処理に関しては、日本は技術はあるがフィールドに入り込めていない。これから我々の技術を提供するといった方向での提案ができればよいように思う。

堀江分科会長：再圧入といった場合、大した処理も行われていないのが実情のようである。

増田委員：出張報告であった水処理コントラクターというのは、どういう事をやっているのか紹介いただければ、日本の企業が入る余地があるのかどうかわかるのではないか。

堀江分科会長：水処理業者がどういう事をやっているかについては、報告書に入れたいと思っている。

増田委員：単純な水処理だけの話ではないということか？

堀江分科会長：水に関する一連のサービスについて考えている。

増田委員：SPE のワークショップで、ジョンソンスクリーンの方が、新しい水処理の方法を提案されていたと思う。

藤田委員長：そういうところも参考にして作成してもらいたい。

坂本委員：前向きな米国の例が多数出されているが、一方欧州では開発が規制されているところもある。その差はどこからきているのか。また、日本を考えた場合に、どちらに近いのかといったところも調べてもらえると面白いと思う。

堀江分科会長：米国でもニューヨークではモラトリアムとなって停滞している。そのような所も入れていきたい。

小山委員：次回の調査に向けて、何を言わなければいけないかという所が、大事な点だと思っているので、そのところについてもよろしくお願ひしたい。

沼倉オブザーバー：今回の報告は、会員企業の方が海外でビジネスをする事を意識してまとめているのか、それともこれまで取得した海外情報を日本でのシェールガス・オイルの開発に利用とするものか、どちらでしょうか？

堀江分科会長：日本の場合には、米国のようにウェルパッドがたくさんあるといった状況にはならないと思う。オイル・ガス産業ではあまり問題になるようなことではないと思うが、一般社会においては懸念されているといった事もあるので、そういう事に対する説明といった面はあると思う。日本への応用という事では、水関連以外では難しいのではないかと思う。

牧委員：シェールガス・オイル開発が、今のペースで進むのか、何か急ブレーキがかかるような要素が出てくるのか、アメリカのシェールガス開発は世界のエネルギーに関して非常に影響が大きいので、そのような視点から環境問題を見ていくべきなのではないか。

上條オブザーバー：さまざまな問題があり、それらが報告書に載せられると思うが、それらを解決するような新しい技術開発というのはあるのか、またそれらを報告書に入れるという事はあるのか？

堀江分科会長：基本的にオイル・ガスの開発に伴うものであり、規模が大きくなったり、スピードが速くなったりするところはあるが、技術的には対応できる。しかし、水処理に関しては、シェール開発に特異な所があるので、それに関する技術は必要だと思う。安く再利用する技術とか、あるいは水を使わないフラックといった技術もあると思う。

福田オブザーバー：大変勉強させていただいている。保安の立場で言うと、保安として何に取り組むべきかといった所をぜひ示唆していただきたいと思う。それがあれば我々も予算等に反映させられるように思う。

【今後の予定】

委員会：第3回 3月 3日（月）15:30-

分科会：第6回 11月11日（月）15:00-17:00 @E N A A会議室

藤田委員長：熱心な御討議ありがとうございました。これをもちまして、第2回シェールガス委員会、第5回シェールガス分科会を終了いたします。ありがとうございました。

第3回委員会・第9回分科会合同開催



第3回シェールガス委員会・第9回分科会合同開催



第3回シェールガス委員会・第9回分科会合同開催



第3回シェールガス委員会・第9回分科会合同開催



第3回シェールガス委員会・第9回分科会合同開催

【第3回シェールガス委員会・第9回分科会合同開催議事録】

日時：平成26年3月3日（月）15：30-17：10

場所：エンジニアリング協会 D, E会議室

出席者

委員会：藤田委員長、増田委員（欠）、小山委員（欠）、坂本委員、石井委員、牧委員、沼倉オブザーバー、森元専門職

分科会：堀江分科会長、松下委員、横山委員、大江委員、関本委員、井田委員、池口委員、佐々木委員、河合委員、櫻井委員、佐藤オブザーバー、曾我オブザーバー

事務局：山田所長、高橋部長、百田研究主幹

議事：(1) 平成25年度報告書案について

(2) その他

配布資料：

資料3-1 委員名簿

資料3-2 報告書目次案

資料3-3 用語集

資料3-4 第1章

資料3-5 第2章

資料3-6 第3章

資料3-7 第4章

資料3-8 第5章

資料3-9 第6章

資料3-10 第2回委員会議事録

【挨拶】

（山田所長）

本日はお忙しいところお集まりいただきありがとうございます。今回は最後の委員会となり、これまで1年間活動してきた事をまとめる大事な委員会であると思います。委員の皆さまの意見を頂戴し、より良い報告書に仕上げて行きたいと思いますので、よろしくお願ひします。

（藤田委員長）

本日は平成25年度JKA補助事業に対しまして、9回目の分科会、3回目の委員会ということで、皆様のご尽力のたまものが本日皆様の手元にある資料であります。本日皆様からコメントやご意見を頂きご承認を頂いて、最終報告書にしたいと思います。米国、カナダのシェールに関しては、ガスから油にシフトし坑井数と水圧破碎の数量が増加しており、環境問題が顕在化してくるかもしれません。我々が取り組んで来た本調査は、非

常に時宜を得たものだと思っておりますので、1年で終わりではなく、更に継続して水処理に関して深めて行き、本調査結果が生かせるようになればと考えているので、よろしくお願ひいたします。

【議事】

平成25年度報告書案について、分科会長および事務局より説明、その後質疑を行った。

- (1) 委員名簿、報告書目次案、用語集について
(質疑、コメント等)

石井委員：地下圧入、地下注入等同じような内容の用語が複数あるので用語説明を入れてもらいたい。

事務局：了解した。

- (2) 第1章
(質疑、コメント等)

藤田委員長：p.1 第2項に2012年にロシアを抜いて世界第一位という記載があるがこれは正しいのか？

堀江分科会長：EIAのレポートでこのようになっている。炭化水素全部を入れているので、分かりにくい面もある。実績を確認して表現を変える。(2章についても同様)

藤田委員長：p.6 の表1-2が分かりにくい

事務局：一つのページにまとめるようにする。

石井委員：p.1 で石油資源の事例について記載頂きありがとうございます。文言については、持ち帰って修正を検討したい。

- (3) 第2章
(質疑、コメント等)

藤田委員長：BTEXは環境保安上重要な用語ですので、略語に入れておいてもらいたい。

石井委員：p.29の「鉄製のパイプの種類とそれをつなぐセメントの規制」は表現がおかしい。そのほかの箇所も含め、会社に持ち帰り修正案を出したい。また、p.30でペンシルバニアでの「坑井と炭層の距離」とあるが、石炭に対する保護ということか？

藤田委員長：ペンシルバニアは石炭の宝庫ではあるが、内容を確認する。

牧委員：2.1のところで、シェールガス・オイルの現状の説明を入れてはどうか。また、p.12でシェールガスからオイルへのシフトについても、更に説明を入れてもらいたい。シェールオイルに関してバッケンとイーグルフォードは記載があるが、ペーミアンについての記載がないのでこれも記載してもらいたい。

堀江分科会長：見直しを行う。

藤田委員長：p.28 で EPA の報告が 2014 年から 2016 年に延びたとのことであるが、この理由を述べておいて欲しい。

堀江分科会長：2012 年に中間報告がなされ、2014 年に報告する事となっていたが、2016 年に延期されている。水分析調査なので、分析等に時間がかかっているという事ではないかと思う。

(4) 第 3 章、第 4 章、第 5 章

(質疑、コメント等)

河合分科会員：p.110 5.6 欧州のところで、ポーランドに関しては、当社と付き合いのある会社があるが、このところ開発に関する興味が失われてきてているようである。

事務局： ポーランドでエクソンモービルやタリスマン、マラソンといったところが撤退しているという情報も得られている。

(5) 第 6 章

(質疑、コメント等)

藤田委員長：p.148 の「掘削作業」のところは意味不明です。「掘削作業の騒音や振動」にした方が良い。

大江分科会員：タイトルで環境影響と謳っているが、結果的に何が問題なのか良く分からないまま、次の課題というものに向かっているように思う。現状あまり問題がないというように思える。

堀江分科会長：汚染が多く発生しているというイメージが先行していたが、産業界では対応をしっかりとしており、今後の課題としては具体的な例の確認ではないかと思う。

牧委員： 従来の石油開発と異なるところはないというように言われたと思うが、この文章ではそのようには読み取れない。特に顕著な問題が起こっている訳ではないが、環境問題が無い訳ではなく、その対策も行われているが、コストとの見合いであるという事も入れてはどうか。

大江分科会員：米国では地下圧入が広く行われているが、それが他の地域でも行う事が可能かどうかという事が、今後の課題かもしれない。

坂本委員： 一番最後の項目は今後の課題ではないように思う。欧州と北米の違いを見て日本としてどうするかといった事が今後の課題ではないか。

藤田委員長： この問題は、水処理とリサイクルの問題であり、日本には水処理専門会社やサービス業者が多くあるので、日本企業が協力して問題を解決していくための糸口にすべきであると思う。また、日本の会社もシェール開発に乗り出しているが、守秘義務があり中々データを出してもらえない。そういう中でこのエンジニアリング協会の様な所で国も含めてチームを組んでいくという事が今後の課題だと思う。だから来年度事業を期待したい。

藤田委員長：誘発地震に関しては、一般の人は非常に興味を持っており、非常に重要である。

河合分科会員：地震については、発生の可能性は否定できないので、モニタリングを行い、情報を開示していくという事が重要であると思う。

石井委員：環境対策に関しては、様々な機関で調査・報告がされていることより、今後、本委員会内容を発展させてゆくのであれば、どうやって水を処理していくかという事に特化していった方が良いように思う。

藤田委員長：色々ご意見ありがとうございました。本日いただいた意見を基に修正を行いますが、報告書作成の関係上、再度皆さんにご確認頂く時間は無いようと思われますので、最終報告の内容については、私、委員長に一任という事にしていただければと思う。修正のご意見等がございましたら、出来れば来週中に早めにお知らせ願いたい。

各委員：一任します。

(6) その他

事務局：本日の議事録は早急に作成し皆様にお送りしますので、ご確認いただきたい。本議事録も、報告書に添付しますので、早めの対応をお願いします。今後の予定ということですが、3月中に印刷まで終わらせるということで、印刷に2週間かかるので、来週末には印刷に出したいと思っている。

26年度の事業として、JOGMECの方に話をしている段階である。当方の希望としては、予算を確保して25年度事業の継続の形で行っていきたいと考えているが、予算が確保できない場合には規模を縮小して勉強会みたいな形で進めたいと思っている。

沼倉オブザーバー：今年もSECに委託して事業を行ってもらっている。今後もよろしくお願いします。

以上

資料-2

講演会資料

1. 「環境対応のシェール開発技術」(第2回分科会(H25.7.23))
講演者：ハリバートン・オーバーシーズ・リミテッド ビジネスデベロップメント
橋本 博之 氏
2. 「シェール開発における環境問題」(第2回分科会(H25.7.23))
講演者：石油資源開発(株) 北米シェールプロジェクト部長
米州・ロシア事業本部長補佐 影山 隆 氏
3. 「シェールガス開発と水」(第3回分科会(H25.9.9))
講演者：国際石油開発帝石(株) アメリカ・アフリカ事業本部 地域事業ユニット
シニアコーディネーター 萩野浩市氏
4. 「国内のオイル/ガスフィールドにおける坑廃水処理について」(第3回分科会(H25.9.9))
講演者：(株)テルナイト 技術部長 佐藤 敬氏
5. 「非在来型油・ガス田における水処理技術戦略」(第3回分科会(H25.9.9))
講演者：シュルンベルジェ(株) コミュニケーションマネージャー 大澤 理氏

環境対応のシェール開発技術

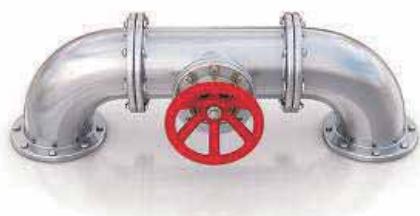
CleanSuite™ Technologies
Solutions for the Environment

23rd July 2013
Hiroyuki Hashimoto

HALLIBURTON

ご存知でしたか？

圧力への安全対策は圧力の危険性
を知ることから始まります。



At Halliburton, solving customer challenges is second only to keeping everyone safe and healthy. You can find more safety tips at www.halliburton.com/HSE.

Safety Moment Subject suggested by: Dean Bird, Halliburton Employee

HALLIBURTON

© 2012 Halliburton. All rights reserved.

新聞、雑誌の見出し

New Drilling Technologies Shake Up Global Market

Part 4: Is Drilling a Threat to Idyllic Landscape?

'Who Will Want to Live Here Anymore?'

'We Have to Answer Questions'

SPIEGEL ONLINE

Pennsylvania blowout fuels fracking fears

UPI.com

Frack and ruin: the rise of hydraulic fracturing

Telegraph.co.uk

Shale gas 'worse than coal' for climate BBC

Fracking regulations could ease public concerns:

White House REUTERS

Fracking on public radar

Technique is controversial but not new

TimesCall.com

Shale gas drilling likely to be banned in France EurActiv

Obama Forms Panel to Improve
Fracking Safety SCIENTIFIC AMERICAN

Environmental groups host hearing on 'fracking'
washingtonexaminer.com

EPA Starts Work on Diesel Fracking Guidance

The New York Times

Farmers say 'no fracking way'

MailGuardian online

Hundreds Rally in Albany to Protect New
York's Water & Communities from Fracking

DISPATCH

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

3

circa April 2011

HALLIBURTON

シェールガスの井戸が 完成するまでの過程

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

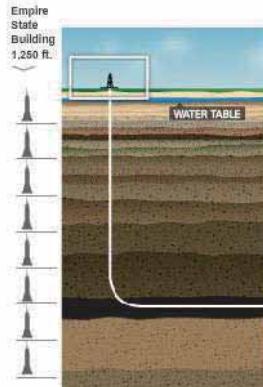
4

HALLIBURTON

Interactive Fracturing 101

Close X

Hydraulic Fracturing Diagram



STEP 1 // Drilling Rig is Constructed (Approximately 3 days)

MOUSE OVER HOTSPOTS FOR DETAILS

掘削リグ

ターゲットの場所に掘削リグを設置する。

水層 30-250m

◀ PREVIOUS NEXT ▶

© 2013 Halliburton. All Rights Reserved. [Home](#) | [Halliburton.com](#) | [Product Index](#) | [Privacy Policy](#) | [Legal](#) | [Contact Us](#)

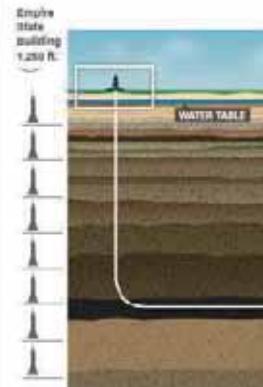
© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

HALLIBURTON

Interactive Fracturing 101

Close X

Hydraulic Fracturing Diagram



STEP 2 // Vertical Drilling Phase (Approximately 14 days)

サーフェイスケーシング

コンタクターケーシング

◀ PREVIOUS NEXT ▶

© 2013 Halliburton. All Rights Reserved. [Home](#) | [Halliburton.com](#) | [Product Index](#) | [Privacy Policy](#) | [Legal](#) | [Contact Us](#)

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

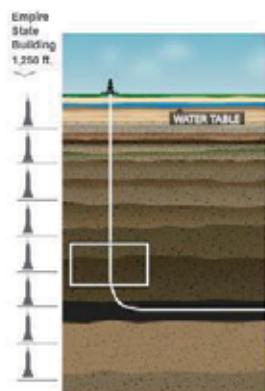
HALLIBURTON

Interactive Fracturing 101

Close X

Hydraulic Fracturing Diagram

STEP 3 // Drilling Continues



Impermeable Rock Formation

Shale rock formations typically reside more than a mile below the earth's surface, isolated from water-bearing strata above by thousands of feet and millions of tons of solid, impermeable rock.

シェール層は1600m以上地表より深いところにあり、水層との間には何百メートルも透過性の無い岩石やソリッドがある。

TARGET SHALE FORMATION

◀ PREVIOUS NEXT ▶

© 2013 Halliburton. All Rights Reserved. [Home](#) | [Halliburton.com](#) | [Product Index](#) | [Privacy Policy](#) | [Legal](#) | [Contact Us](#)

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

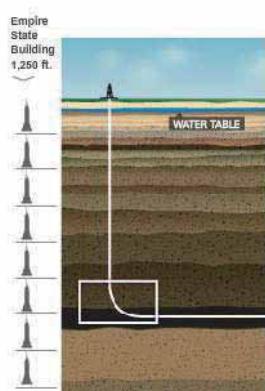
HALLIBURTON

Interactive Fracturing 101

Close X

Hydraulic Fracturing Diagram

STEP 4 // Kick Off Point (Approximately 500 ft. above shale formation, 6,000 ft. below the surface)



Kick Off Point

キックオフポイント シェール層の150m位上から水平に掘り込むために穴を曲げ始める。

◀ PREVIOUS NEXT ▶

© 2013 Halliburton. All Rights Reserved. [Home](#) | [Halliburton.com](#) | [Product Index](#) | [Privacy Policy](#) | [Legal](#) | [Contact Us](#)

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

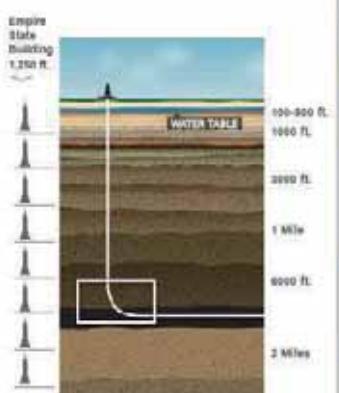
HALLIBURTON

Interactive Fracturing 101

Close X

Hydraulic Fracturing Diagram

STEP 5 // Horizontal Drilling



◀ PREVIOUS NEXT ▶

© 2013 Halliburton. All Rights Reserved. [Home](#) | [Halliburton.com](#) | [Product Index](#) | [Privacy Policy](#) | [Legal](#) | [Contact Us](#)

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

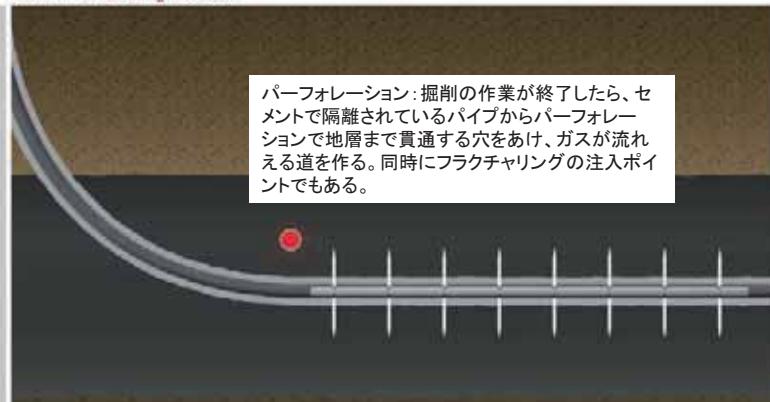
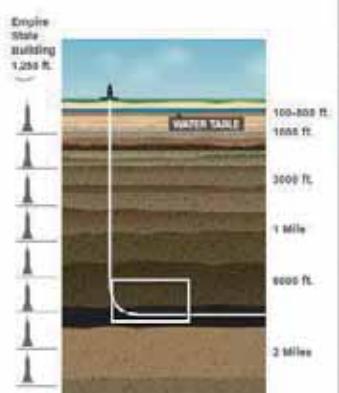
HALLIBURTON

Interactive Fracturing 101

Close X

Hydraulic Fracturing Diagram

STEP 6 // Perforating the Well



◀ PREVIOUS NEXT ▶

© 2013 Halliburton. All Rights Reserved. [Home](#) | [Halliburton.com](#) | [Product Index](#) | [Privacy Policy](#) | [Legal](#) | [Contact Us](#)

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

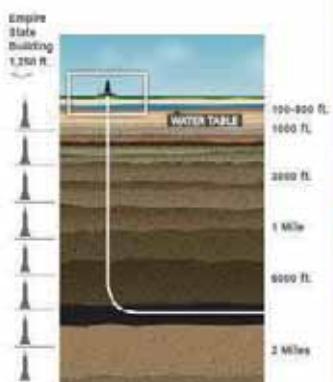
HALLIBURTON

Interactive Fracturing 101

Close X

Hydraulic Fracturing Diagram

STEP 7 / Completion Phase 6 (Approximately 3 - 10 days)



◀ PREVIOUS NEXT ▶

© 2013 Halliburton. All Rights Reserved. [Home](#) | [Halliburton.com](#) | [Product Index](#) | [Privacy Policy](#) | [Legal](#) | [Contact Us](#)

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

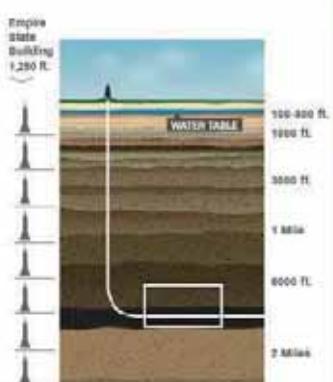
HALLIBURTON

Interactive Fracturing 101

Close X

Hydraulic Fracturing Diagram

STEP 8 / Fracturing of Shale Formation



◀ PREVIOUS NEXT ▶

© 2013 Halliburton. All Rights Reserved. [Home](#) | [Halliburton.com](#) | [Product Index](#) | [Privacy Policy](#) | [Legal](#) | [Contact Us](#)

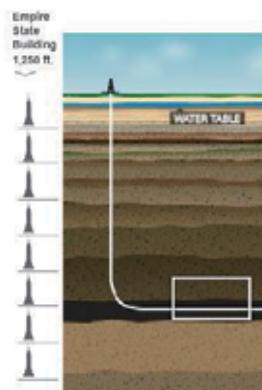
© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

HALLIBURTON

Interactive Fracturing 101

Close X

Hydraulic Fracturing Diagram



STEP 9 // Hydrocarbons Released



◀ PREVIOUS NEXT ▶

© 2013 Halliburton. All Rights Reserved. [Home](#) | [Halliburton.com](#) | [Product Index](#) | [Privacy Policy](#) | [Legal](#) | [Contact Us](#)

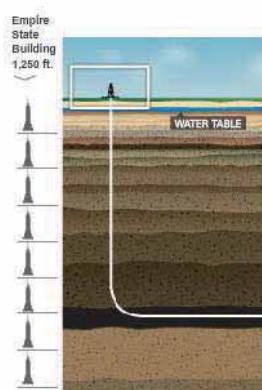
© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

HALLIBURTON

Interactive Fracturing 101

Close X

Hydraulic Fracturing Diagram



STEP 10 // Reclaimed Well Site



◀ PREVIOUS START OVER ▶

© 2013 Halliburton. All Rights Reserved. [Home](#) | [Halliburton.com](#) | [Product Index](#) | [Privacy Policy](#) | [Legal](#) | [Contact Us](#)

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

HALLIBURTON

Solving challenges.[™]

CleanWave™
クリーンウェーブ

CleanStream™
クリーンストリーム

CleanStim™
クリーンスティム

“Sourced from the Food industry”
食べ物から開発

Recycling Water
水の再利用

UV Light for Bacteria Control
バクテリアコントロール

Better for the environment and for your production

HALLIBURTON

クリーンスティムサービス

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

HALLIBURTON

クリーンスティム サービス

環境を害しないフラック流体とは

- ・“環境を害しない”、“グリーン” の定義はどんなものか？
- ・食品は安全であると考えていますか？
- ・グリーンの基礎としてCFR21 (Title 21 Code of Federal Regulations - 連邦規則集) 規制を使用
- ・基準は、一般に安全とみなされているものか又は直接食品添加物としてCFR21で登録されている化学薬品を使用する。
- ・目標は 200F環境でグアガムやホウ酸塩と同等の性能を有する薬品。

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

17

HALLIBURTON

クリーンスティム サービス

ハリバートン 新フラクチャリングフルイドシステム “食品産業より材料を調達”



© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

18

HALLIBURTON

クリーンスティムの構成成分

構成成分	一般的な適用
酵素	味噌、フルーツジュース、ネクター、洗濯洗剤、食器洗い用洗剤、トイレクリーナー、産業紙パルプ加工助剤
エトキシ化砂糖ベースの脂肪酸エステル	合成食品香料物質、赤ん坊用のタオル、赤ん坊のウォッシュとシャンプー
無機酸	チーズ、アルコール飲料、ホイールクリーナー、錆落とし、食器用洗剤
無機塩類	フードスター、水の浄化剤、水槽の水処理
マルトデキストリン	甘味料、アイシングシュガー、ココナッツミルクとココナツクリーム、シャワージェル
有機酸	フルーツジュース、食器洗いの洗剤、万能洗剤、ハンドソープ
有機エステル	液卵製品、食品樹脂状とポリマーコーティング、ヘアスプレー
部分的水素化植物油	製菓チョコレートコーティング、ヘアコンディショナー、ボディローション、リップライナー、石鹼、ローション、クリームと他のスキンケア製剤
多糖ポリマー	缶詰の魚、加工チーズ、デザートとドリンク乳製品ベース、ビール、歯磨き粉
スルホン化アルコール	卵白固体物、マシュマロ、食器洗剤、ホーム希釈可能クリーナー、シャンプー、にきびスクラブ、シェーピングクリーム、液体ハンドソープ

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

19

HALLIBURTON

クリーンスティムシステム構成

システム構成	機能
クリーンWG	多糖ゲル化剤
クリーンリンク	クロスリンク剤
クリーンサーフ	界面活性剤
クリーンブレーク E 90-150F	従来の酵素
クリーンブレーク CRE 120-150F	制御放出酵素
クリーンブレーク LT 120-140F	カプセル化されたブレーカー
クリーンブレーク MT 140-160F	トリガーリリースブレーカー
クリーンブレーク HT 160-175F	トリガーリリースブレーカー
クリーンブレーク XT 175-225F	ブレーカー



© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

20

HALLIBURTON

クリーンスティム アプリケーション

- ゲルフラック
- ウォーターフラック
- ハイブリッドフラック

“全部の成分は食品産業から供給”

- 安全性
- きれいに分解される
- よいコンダクティビティー



© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

21

HALLIBURTON

優れたプロッパント運搬能力

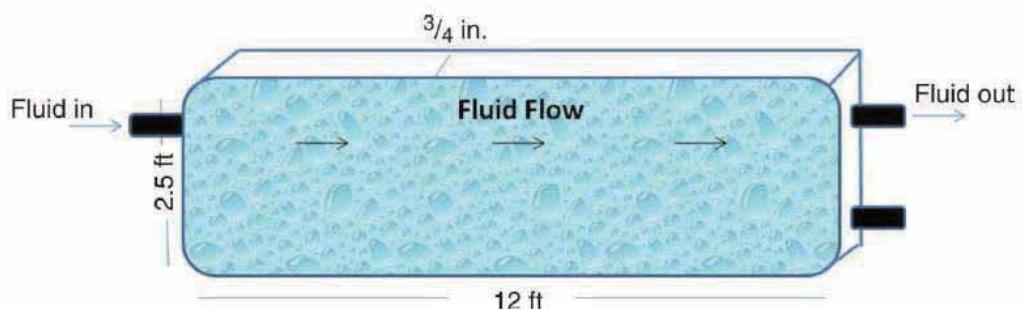


Fig. 4—Slot-flow model schematic.

長さ 3658mm 、 高さ 762mm 、 幅 19mm

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

22

HALLIBURTON

優れたプロッパント運搬能力

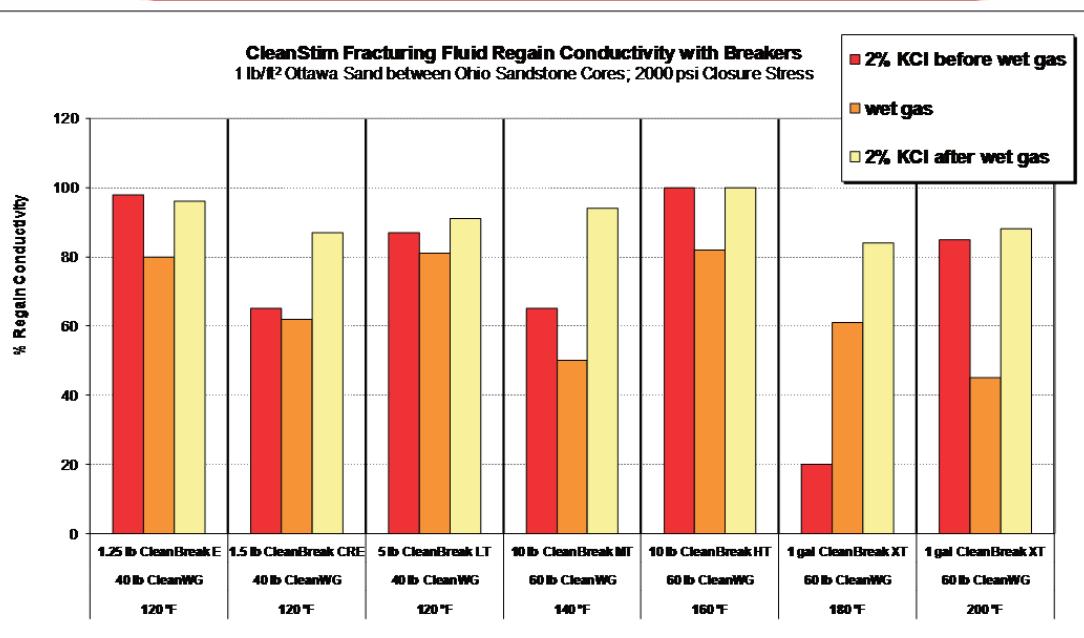


© 2011

23

HALLIBURTON

クリーンスタイル リゲインコンダクティビティー



Results confirmed by Stimlab conductivity testing

24

HALLIBURTON

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

ドライポリマーブレンダー



- フラック流体に粉末状のゲル化剤を導入。
- 液状ゲル剤の油成分を大量に解消。

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

25

HALLIBURTON

クリーンスティム

■ 優れている点

- 環境に害のないフラックゲル流体
- 優れたプロッパント運搬能力
- ゲルに残留物がない
- 優れたコンダクティビティー維持
- ドライケミカルブレンダーを使用



■ 不利な点

- インスタントクロスリンク→圧損が大きくなる
- 塩分許容（最大 4% NaCl）
- 数種類のブレーカーが必要
- クロスリンカーの使用量が多い
- グアに比較するとゲル剤の使用量が多い

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

26

HALLIBURTON

実績

これまでに39 抗井
414 フラックステージ

- 北米および欧州地域において成功している。
- 適用
 - 垂直井 (マルチステージ)
 - 水平井 (マルチステージ)
 - 5182m 掘削深度; 3658m 垂直深度
 - シェール
 - サンドストーン
 - ガス層
 - 油層



★ クリーンスティム 実施工エリア

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

27

HALLIBURTON

次のフィールドは？



© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

28

HALLIBURTON

ヨーロッパ

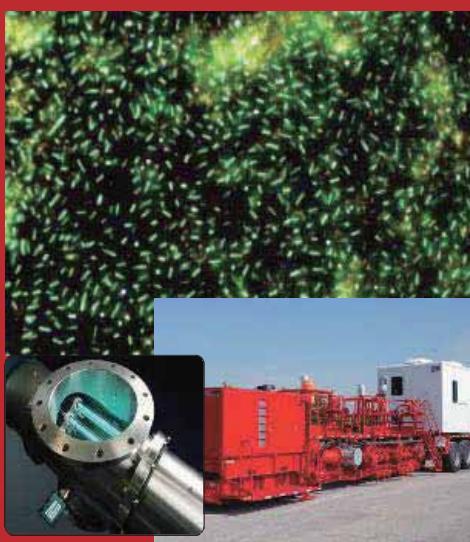


- Offshore
 - North Sea
- Shale Gas/Oil
 - Germany
 - Poland
 - Hungary

29

HALLIBURTON

クリーンストリームサービス

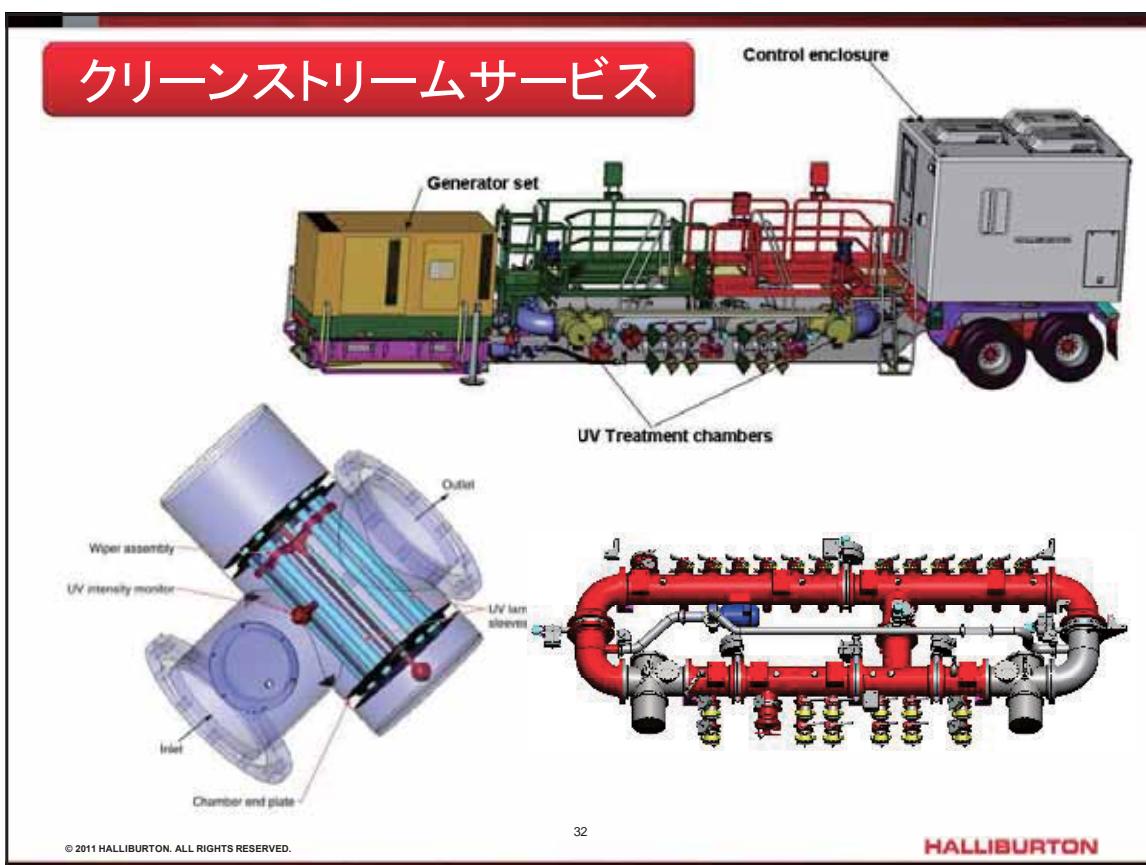


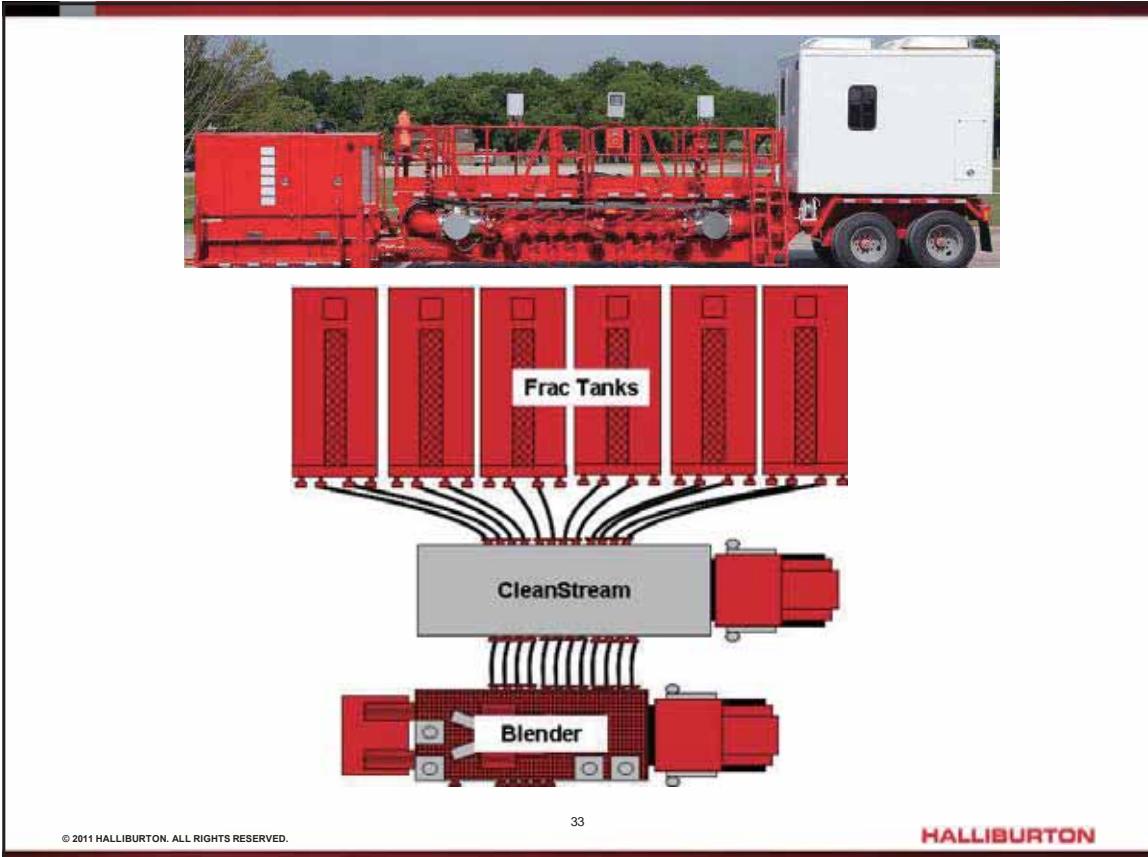
© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

HALLIBURTON

クリーンストリームサービス

- ブラック流体の細菌を制御するために、紫外線灯を使用しています。
- 殺微生物剤を最小限又は使用しない

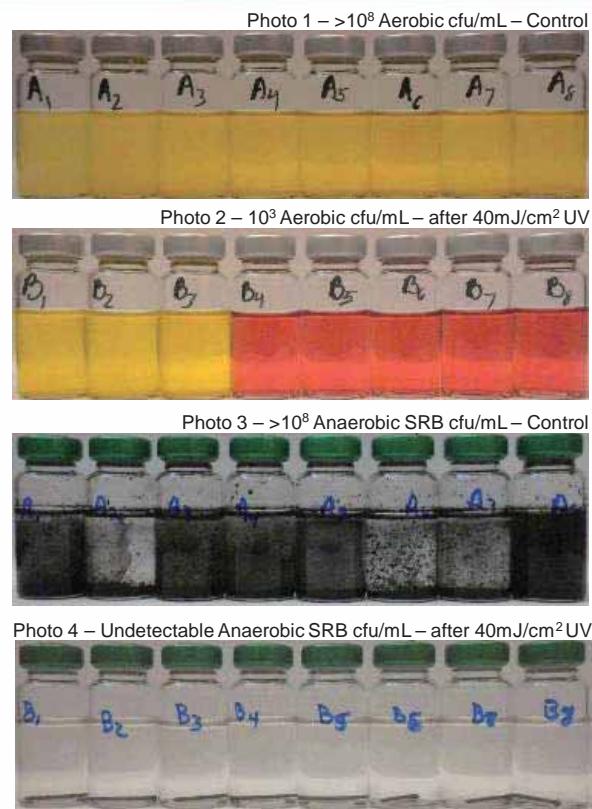




結果

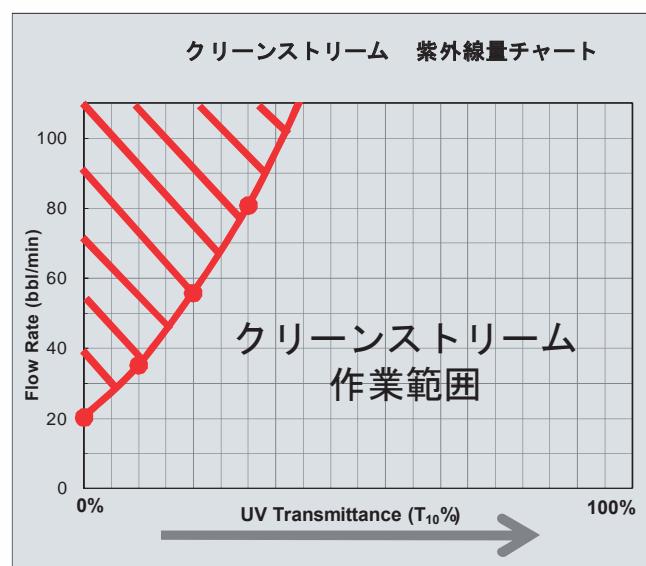


Transmittance = 52.3%



許容レート

- 水
 - 低い透過性
(Poor Transmittance)
 - フローバック水に含まれるゲル
 - 鉄分
- メンテナンス
- 信頼性



クリーンストリーム実績

- 2011年からサービス
- 780万キロリットル(2.06 B gal) 以上の水を処理
- 1170キロリットル(309,000 gal) の殺微生物剤の使用を削減



© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

37

HALLIBURTON

クリーンウェーブサービス



© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

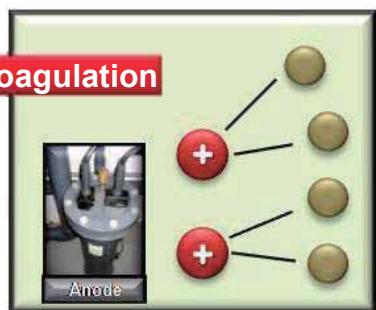
38

HALLIBURTON

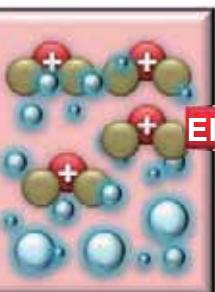
クリーンウェーブプロセス

電気凝固機能 Electrocoagulation Capabilities:

Electrocoagulation



Electroflootation



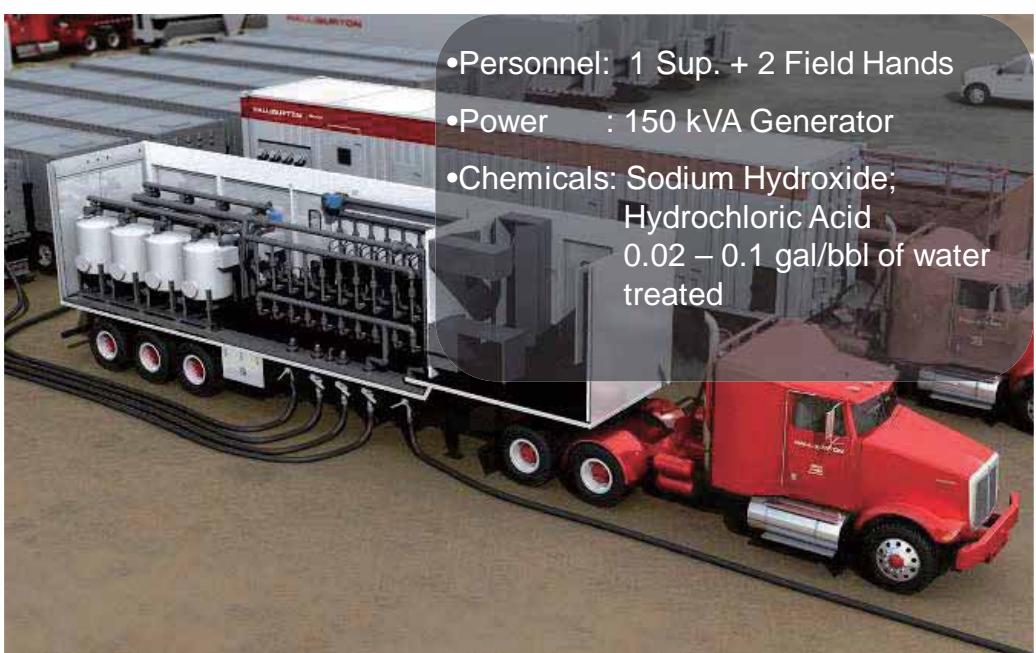
© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

39

HALLIBURTON

機材: 最新のハリバートンユニット

- Personnel: 1 Sup. + 2 Field Hands
- Power : 150 kVA Generator
- Chemicals: Sodium Hydroxide; Hydrochloric Acid 0.02 – 0.1 gal/bbl of water treated



© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

40

HALLIBURTON

クリーンウェーブサービス



クリーンウェーブユニット

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

41

HALLIBURTON

クリーンウェーブサービス



(a)

(b)

(c)

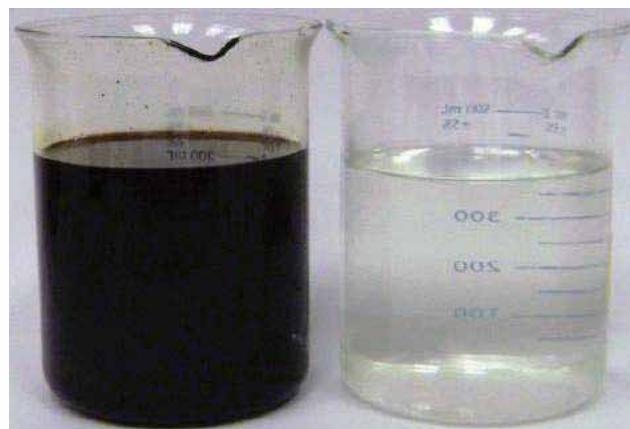
- (a) EC処理を行う前の水サンプル。
- (b) 処理後すぐの水サンプル。
- (c) その後さらに堰のあるタンクで沈殿させ、その後ろ過したもの

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

42

HALLIBURTON

クリーンウェーブサービス



(a)

(b)

(a) Before treatment

(b) after treatment.

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

43

HALLIBURTON

クリーンウェーブ サービス

HALLIBURTON
CleanWaveSM
Water Treatment
Service

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

44

HALLIBURTON

ブラインなどの成分

Water Soluble Ions	
Na ⁺	(mg/l)
K ⁺	(mg/l)
Mg ²⁺	(mg/l)
Ca ²⁺	(mg/l)
Sr ²⁺	(mg/l)
Ba ²⁺	(mg/l)
Fe ²⁺	(mg/l)
Cl ⁻	(mg/l)
SO ₄ ²⁻	(mg/l)
Alkalinity	(mg/l)
TDS (Measured)	(mg/l)
Calc. Density (STP)	(g/ml)
pH, measured (STP)	pH

	ブライン1	ブライン2	水道水
Na ⁺	10,960	61,400	40
K ⁺	192	2,273	7
Mg ²⁺	199	1,690	25
Ca ²⁺	630	20,100	37
Sr ²⁺	107	5,049	1
Ba ²⁺	49	657	0
Fe ²⁺	5	68	0
Cl ⁻	19,400	153,000	47
SO ₄ ²⁻	34	0	118
Alkalinity	1,010	76	162
TDS (Measured)	33,300	252,000	440
Calc. Density (STP)	1.020	1.157	0.997
pH, measured (STP)	7.92	6.05	7.41

油
• 表面に浮いたもの
• 液滴として分散したもの

薬品
• 疾微生物剤
• フラックケミカル
• 防食剤

懸濁した固形物
• 粘土粒子
• 可溶性ポリマー



NoUniformity

Changes from: Field to Field,
Well to Well, Early vs Late

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

45

HALLIBURTON

水の再利用 — 懸案事項



地層のダメージ:

- 不適切な亀裂の広がり。
- 懸濁した個体によって複雑な亀裂が損なわれる。
- 単純なろ過では懸濁したコロイドを除去できない。



スケールの付着

- 高い硬度はよりスケーリングにつながる。
- 理論計算と実験的な検証が必要とされる。



フラック流体の問題

- 高濃度の塩分はポリマーの水和に影響を及ぼす。
- クロスリンクしたポリマーの除去。

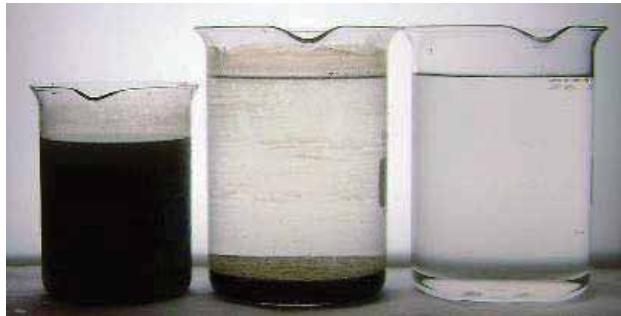
© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

46

HALLIBURTON

クリーンウェーブ 結果 – ルイジアナ 生産水サンプル

Water Analysis (Desoto Parish)



Sample	Influent	Effluent
Specific gravity	1.081	1.080
pH	6.096	7.237
Temperature(°C)	23	23
Ionic Strength	2.245	2.207
TOC	357.800	311.800
Hydroxide(mpL)	nd	nd
Carbonate(mpL)	nd	nd
Bicarbonate(mpL)	168	107
Chloride(mpL)	70,063	69,569
Sulfate(mpL)	nd	nd
Calcium(mpL)	7784	7171
Magnesium(mpL)	593	481
Barium(mpL)	2175	2006
Strontium(mpL)	2718	2691
Total Iron(mpL)	114	0.67
Aluminum(mpL)	4.33	3.21
Boron(mpL)	99.1	91.2
Potassium(mpL)	832	829
Sodium(mpL)	30,950	32,180
TSS(mpL)	1,024	0
TDS(mpL)	117,000	116,000

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

47

HALLIBURTON

クリーンウェーブ レイアウト



© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

48

HALLIBURTON

クリーンウェーブサービス

- 19 ユニット US
- おおよそ 2011年から
- 378万キロリットル(1 B gal)の水を処理
- フラック流体で使う水を
• 378万キロリットル(1 B gal)削減
- ほぼ 21万台の トラックの水の運搬を削減



© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

49

HALLIBURTON

Business Wire
2 May 2011

エルパソとハリバートンは水圧破碎と水処理を行うために最新のクリーンスース 環境対応技術を使って最初の天然ガス開発を成功させた。

まとめ — 環境への影響を減らす試み

クリーンスティム — 2010年から400ステージ以上

- ルイシニア
- ヘインズビルシェール

2011年から

クリーンウェーブ — 378万キロリットルの清水を再利用— トラック 21,000台以上の削減

- クリーンストリーム

- クリーンウェーブ

クリーンストリーム — 1136キロリットルの殺微生物剤の使用を削減

107 ドライポリマーブレンダー — 22万7千キロリットルのリクイドゲルに使われる油成分を削減

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

50

HALLIBURTON

参照文献

- SPE 146832

Environmentally Focused Crosslinked-Gel System Results in High Retained Proppant-Pack Conductivity

- SPE 147206

Fracturing Fluid Comprised of Components Sourced Solely from the Food Industry Provides Superior Proppant Transport.

- SPE 153867

An Environmental Solution to Help Reduce Freshwater Demands and Minimize Chemical Use.

- SPE 149445

Case History: Challenges Using Ultraviolet Light Control Bacteria in Marcellus Completions

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

51

HALLIBURTON



Thank you

© 2011 HALLIBURTON. ALL RIGHTS RESERVED.

52

HALLIBURTON

シェール開発における環境問題

石油資源開発(株)
米露事業本部
影山 隆

2013/7/23

エンジニアリング協会(分科会)

1

発表内容

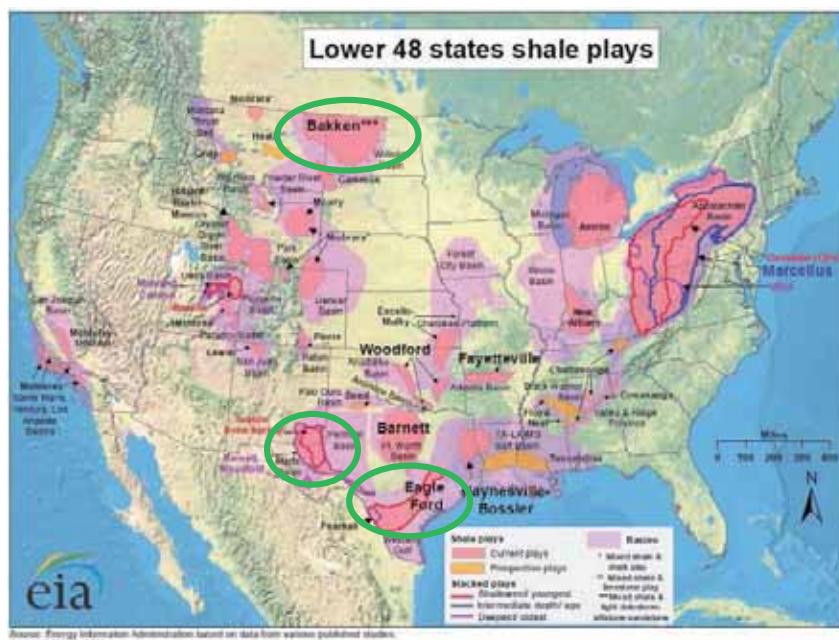
1. シェール開発概要
2. 環境問題
 1. 環境汚染
 2. 水問題

2013/7/23

エンジニアリング協会(分科会)

2

米国におけるシェールオイル開発

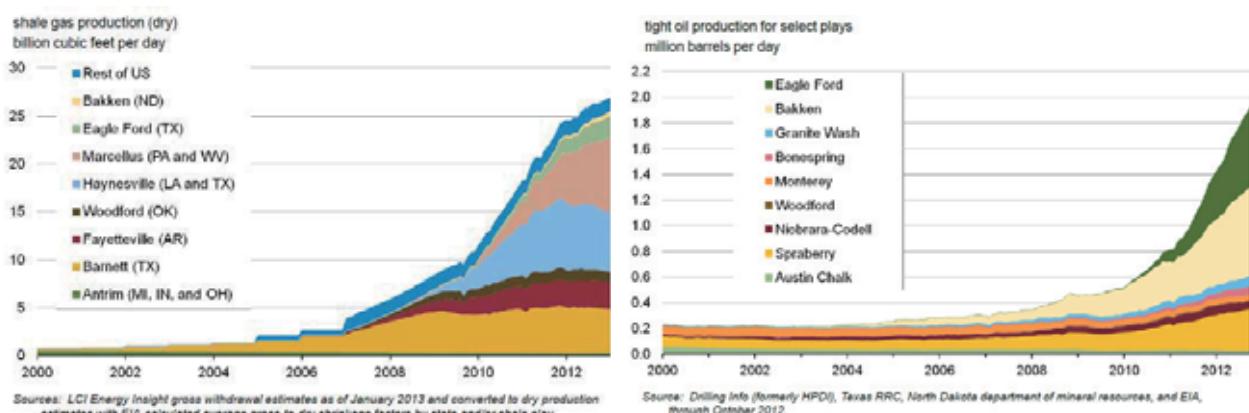


2013/7/23

エンジニアリング協会(分科会)

3

シェール革命



Sources: LCI Energy Insight gross withdrawal estimates as of January 2013 and converted to dry production estimates with EIA-calculated average gross-to-dry shrinkage factors by state and/or shale play.

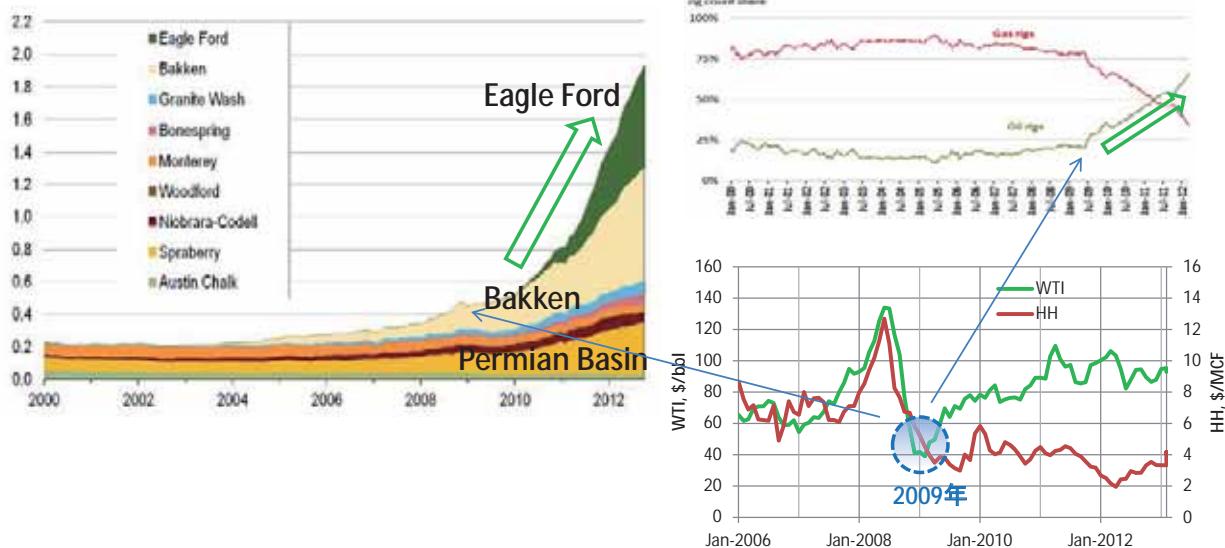
- George P. Mitchell pioneered new technology to extract gas from shale, combined with hydraulic fracturing and horizontal well in 2002.
- The production from shale gas increased in 2005.
- The production from shale oil increased in 2009.

2013/7/23

エンジニアリング協会(分科会)

4

米国におけるシェールオイル開発

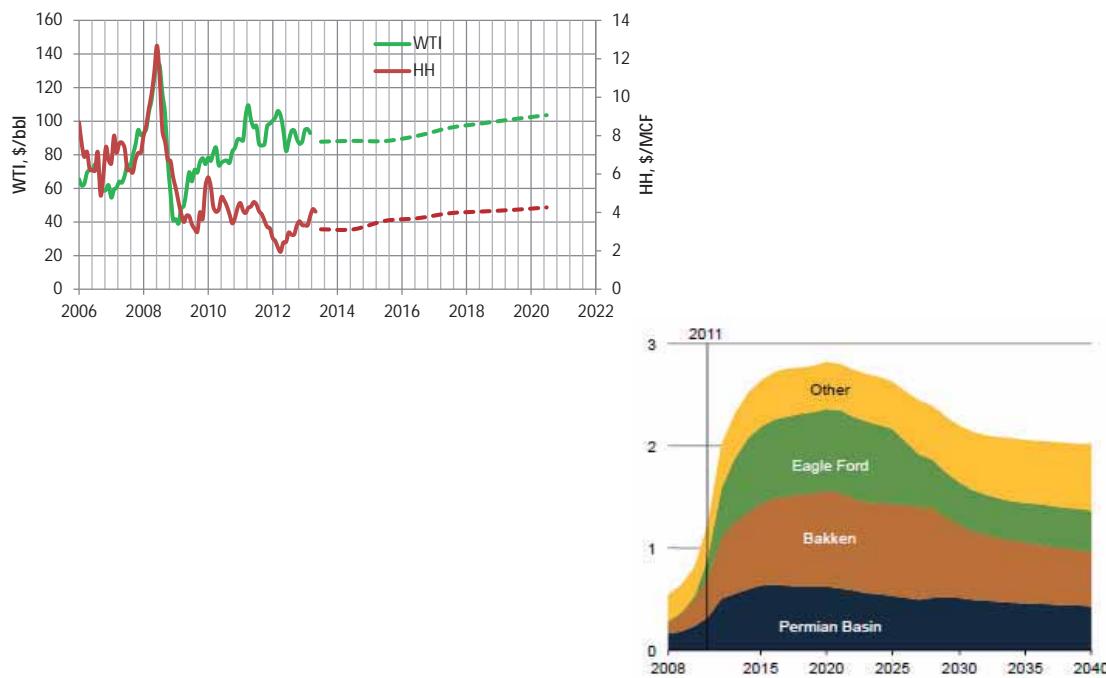


2013/7/23

エンジニアリング協会(分科会)

5

米国におけるシェールオイル開発



2013/7/23

エンジニアリング協会(分科会)

6

Shale O&G in the World

- Shale Oil Development
 - Technically recoverable shale oil resources is estimated to be 335 billion barrels in 2013 by EIA.

Table 1. Comparison of the 2011 and 2013 reports

ARI report coverage	2011 Report	2013 Report
Number of countries	32	41
Number of basins	48	95
Number of formations	69	137
Technically recoverable resources, including U.S.		
Shale gas (trillion cubic feet)	6,622	7,299
Shale / tight oil (billion barrels)	32	345

Note: The 2011 report did not include shale oil; however, the Annual Energy Outlook 2012 did and is included here for completeness.

Figure 1. Map of basins with assessed shale oil and shale gas formations, as of May 2013



Source: United States basins from U.S. Energy Information Administration and United States Geological Survey; other basins from ARI based on data from various published studies.

2013/7/23

エンジニアリング協会(分科会)

7

Shale O&G in the World

- Shale Basin

Technically Recoverable Shale Gas Resources		Technically Recoverable Shale Oil Resources			
(TCF)		(Billion bbls)			
1	U.S.	1,161	1	Russia	75
2	China	1,115	2	U.S.	48
3	Argentine	802	3	China	32
4	Algeria	707	4	Argentine	27
5	Canada	573	5	Libya	26
6	Mexico	545	6	Venezuela	13
7	Australia	437	7	Mexico	13
8	South Africa	390	8	Pakistan	9
9	Russia	285	9	Canada	9
10	Brazil	245	10	Indonesia	8
11	Others	1,535	11	Others	75
Total		7,795	Total		335

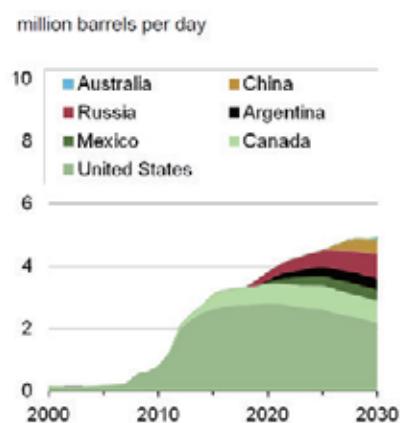
2013/7/23

エンジニアリング協会(分科会)

8

Shale O&G in the World

- Shale Oil Development
 - 今後とも、北米を中心として開発が進む。
 - Infrastructure
 - Service Contractors
 - Significant Technical Innovation
 - 2010年代後半から、他地域でも開発が進む。



2013/7/23

エンジニアリング協会(分科会)

9

Environmental Issues

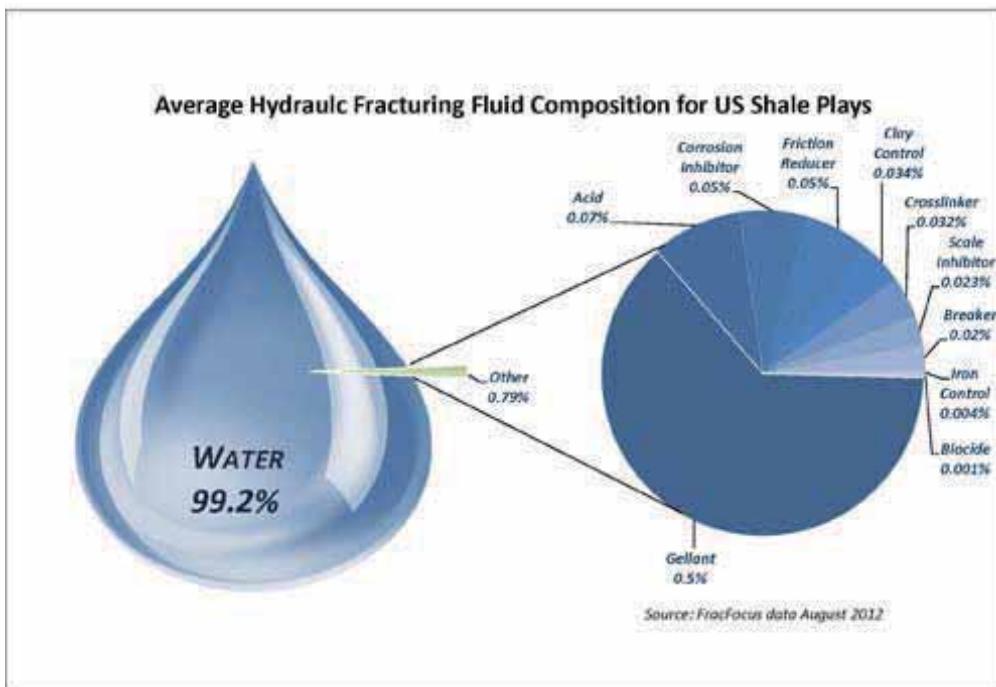
- 2011
 - Fracturing fluid contamination in drinking water
 - Methane gas in drinking water
 - 2013
 - Water Supply and Disposal
 - Water Recycling
 - Well integrity
- 

2013/7/23

エンジニアリング協会(分科会)

10

Fracturing Fluid

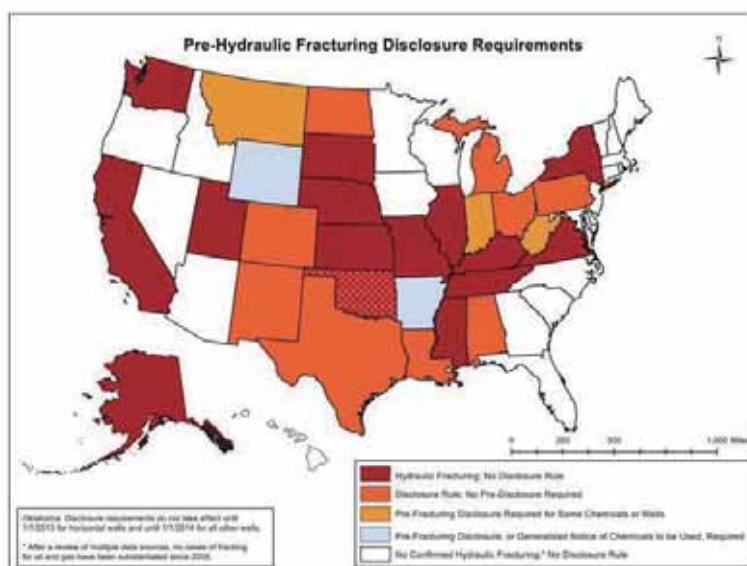


2013/7/23

エンジニアリング協会(分科会)

11

Disclosure Rules



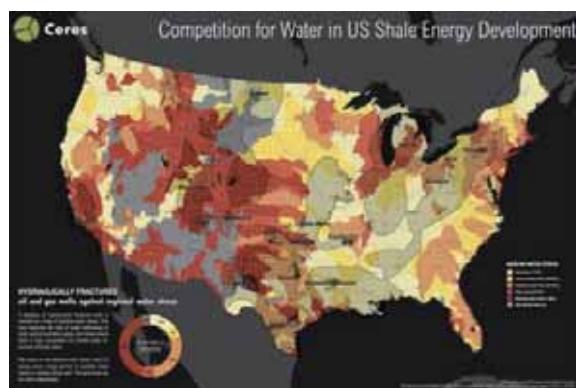
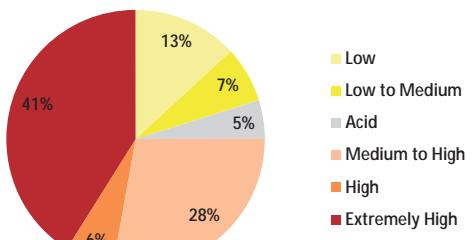
2013/7/23

エンジニアリング協会(分科会)

12

Water Supply

- Fracturing Water
 - 50,000~100,000 bbl (8,000~16,000KL)
 - 2,500~50,000 bbl/stage (400~800KL)
- Regional Water Stress



2013/7/23

エンジニアリング協会(分科会)

13

Water Recycling

- Flow-back Recycling
 - Blending wastewater with freshwater
 - Low cost, but well plugging potentials
 - Physical, Chemical, Biological, Membrane
 - More Expensive, required pre-treatment
 - More advanced methods
- State Regulations
 - Pennsylvania, Texas, Colorado, Utah,
 - Louisiana, Illinois, Ohio, Oklahoma, Wyoming

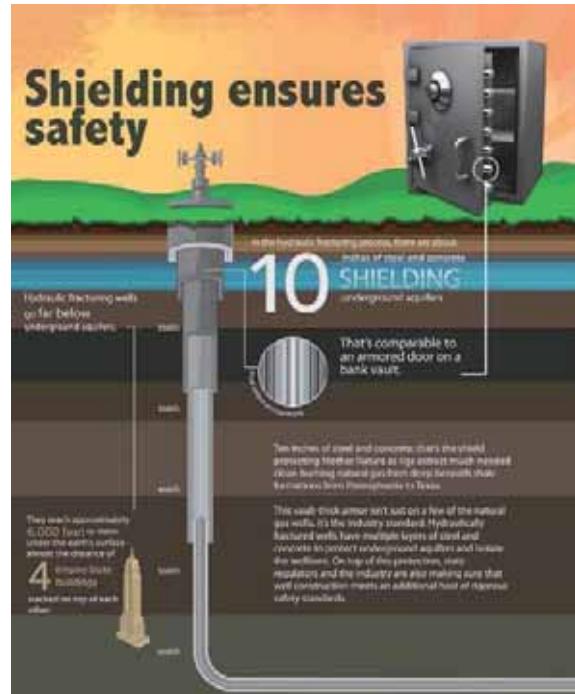
2013/7/23

エンジニアリング協会(分科会)

14

Well Integrity

- Multiple layers of steel pipe and cementing
 - Provide barriers to protect shallow aquifers
- The well extends far below surface
 - There are many layers of impervious rock between shallow aquifers and target shale layers

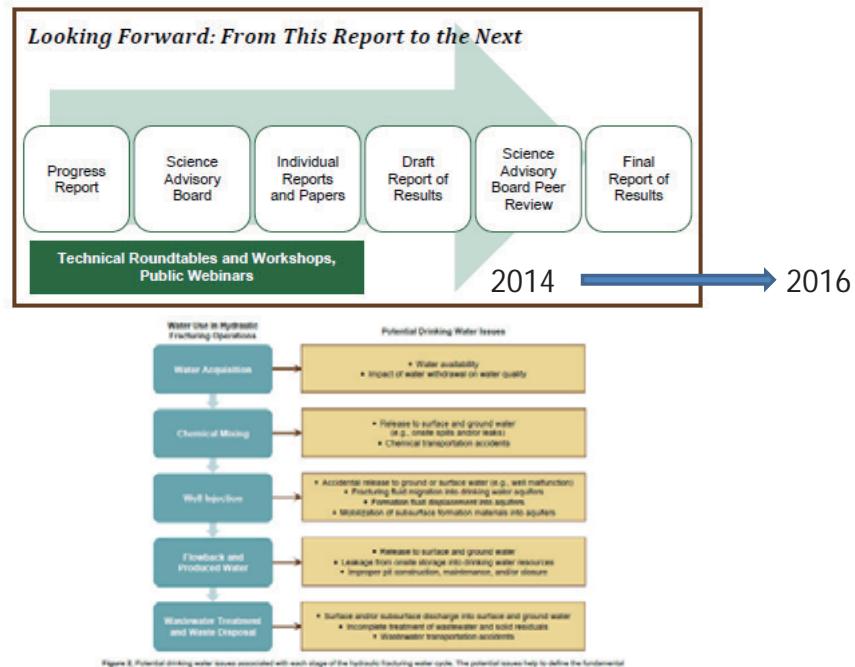


2013/7/23

エンジニアリング協会(分科会)

15

EPA Study



2013/7/23

エンジニアリング協会(分科会)

16

Litigation

- Four Categories
 - Contamination / Tort Lawsuits
 - Citizen Environmental Action
 - Industry Challenge Lawsuits
 - Infrastructure-related Lawsuits
 - Traditional Oil and Gas issues

2013/7/23

エンジニアリング協会(分科会)

17

Shale-Related Litigation

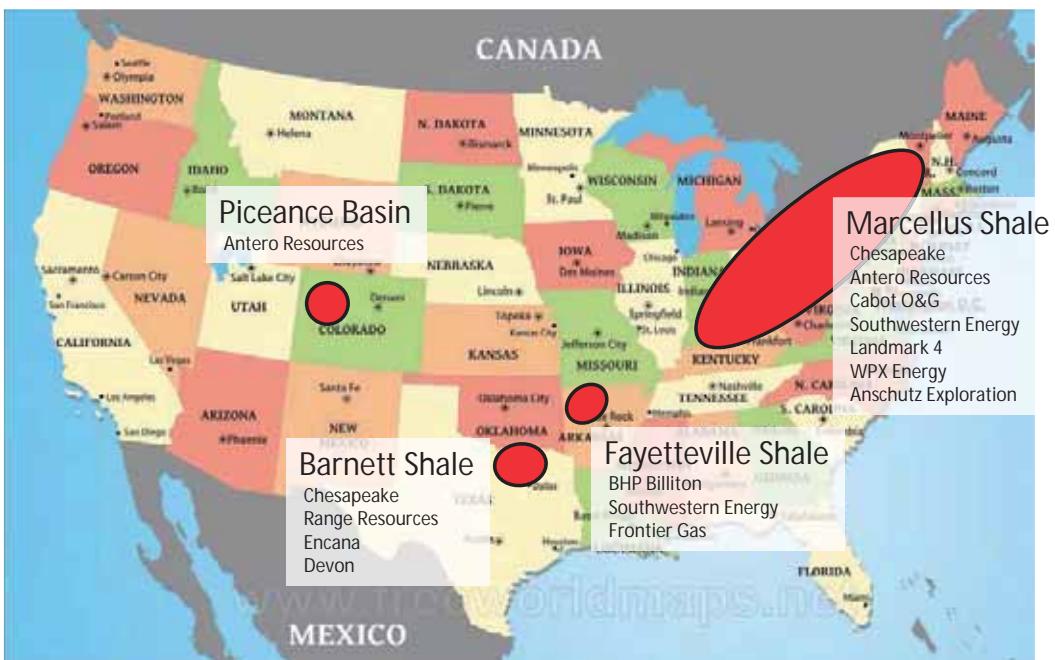
- Early groundwater contamination suits were not well-supported in law or fact.
- Consequently, fewer tort suits based on groundwater contamination have been filed.
- Litigation emphasis has shifted away from torts based on groundwater to four other areas:
 - Tort actions alleging more general issues
 - Regulatory suits brought by environmental or industrial groups
 - Lawsuits related to infrastructure needed to support hydraulic fracturing
 - Uncertainty of oil and gas rules

2013/7/23

エンジニアリング協会(分科会)

18

Contamination / Tort Lawsuits



2013/7/23

エンジニアリング協会(分科会)

19

Shale-Related Litigations

- Court dismissed plaintiff's claims with prejudices after plaintiffs failed to present any significant causation evidences (May 9, 2012)
 - Strudel vs. Antero Resources Corp.
- Tort claims against companies performing energy exploration and production, including hydraulic fracturing but Courts denied motions for MCMO
 - Kamuck vs. Shell Energy Holdings
 - Roth vs. Cabot Oil and Gas Corp.
 - Managan vs. Landmark 4 LLC
 - Boggs vs. Landmark 4 LLC
- Seismic Activity Allegation
 - Hearn vs. BHP Billiton Petroleum (Arkansas) Inc.
 - Scientific studies have been conducted but no connection between hydraulic fracturing and earthquakes has been established.

2013/7/23

エンジニアリング協会(分科会)

20

Citizen/Environmental Action & Industry Challenge Lawsuits

- Generally
 - Seek court to enforce compliance with environmental regulations
- Industry Compliance
 - Permitting
 - Air Emissions
 - Water waste disposal
- Government Compliance
 - Environmental impact statements
 - Mandatory public participation



2013/7/23

エンジニアリング協会(分科会)

21

Infrastructure-Related Lawsuits

- Significant infrastructure and assets are necessary to support shale development.
- Pipelines and other large-scale projects can result in lawsuits related to land-use and powers of eminent domain.
 - Keystone Pipeline
 - President Obama made it clear that he won't approve the Keystone XL pipeline if it harms the climate. That's why it's critical that the president bases his decision on the correct information.
 - CrossTex NGL Pipeline



2013/7/23

エンジニアリング協会(分科会)

22

まとめ

- シェール開発は、今後とも北米を中心として進む
- 環境問題は、従来の環境汚染から水問題へシフト
 - フラックに使う水使用量の減量。
 - 水再利用。
 - ガスフラックなど新しい技術開発。
- 米国の動向は、EPA Studyが発表される2016年以降に明確になる?
 - 環境問題についての訴訟は明確に結論されず。
 - 規制は、坑井健全性に対するものが中心?
 - 水資源や地表利用に関するものも。
- 世界的なシェール開発は、2015年以降に活発化
 - 水供給問題など環境問題は、多くのエリアで深刻。
 - 米国で開発された技術の移譲が課題。

シェールガス開発と水

国際石油開発帝石(株)
アメリカ・アフリカ事業本部
荻野浩市

シェールガス開発に係る環境影響の調査分科会 2013/9/9

Agenda

- ① シェールガスのフラクチャリングについて
- ② 圧入水とフローバック水の量
- ③ リサイクルの必要性

シェールガス開発に係る環境影響の調査分科会 2013/9/9

プロジェクト概要

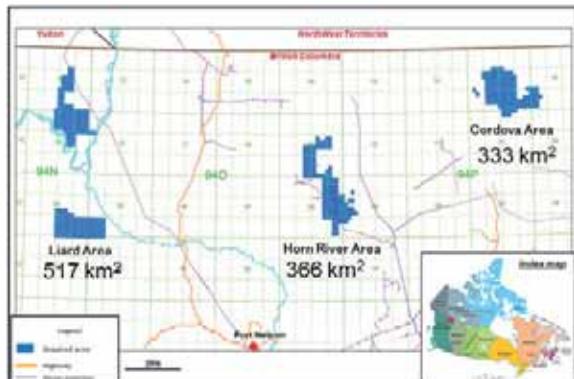
INPEX

(1) 権益比率

- ・ ネクセン社 60% (オペレーター)
- ・ インペックス ガス ブリティッシュ コロンビア社※ 40%
 - ※出資比率:
 - 当社45.09%、JOGMEC44.89%、日揮(株)のカナダ法人子会社10.02%

(2) 鉱区位置

- ・ カナダ ブリティッシュ・コロンビア州北東部
- ・ カルガリー北北西約1,000 km



シェールガス開発に係る環境影響の調査分科会 2013/9/9

2

Horn River地域地勢

INPEX

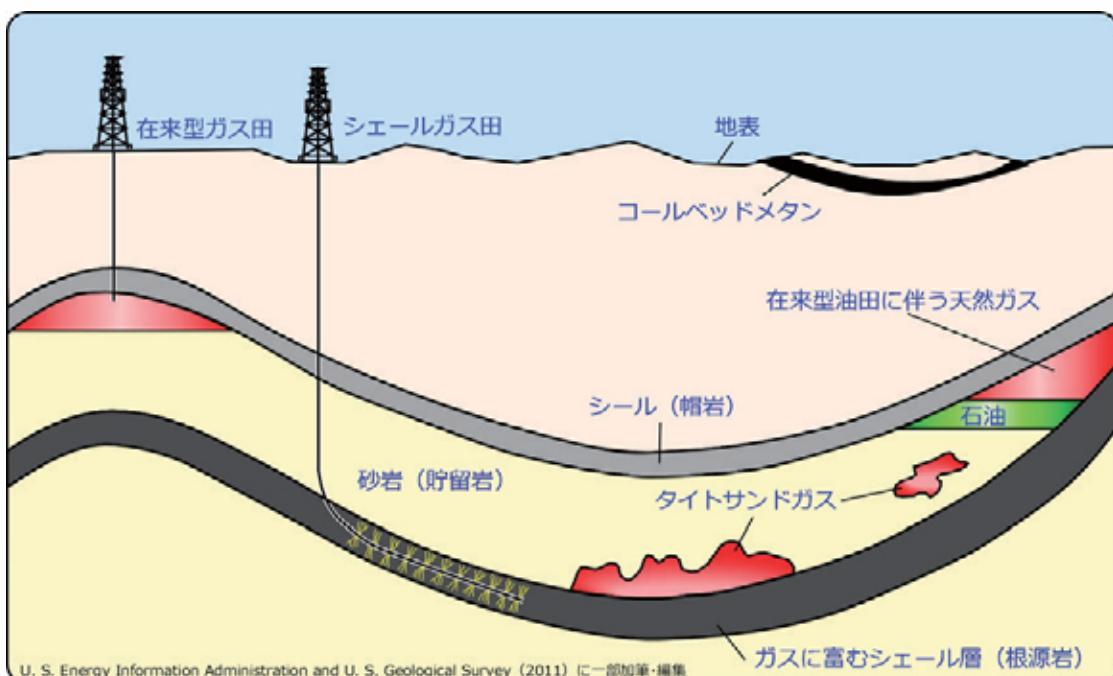


シェールガス開発に係る環境影響の調査分科会 2013/9/9

3

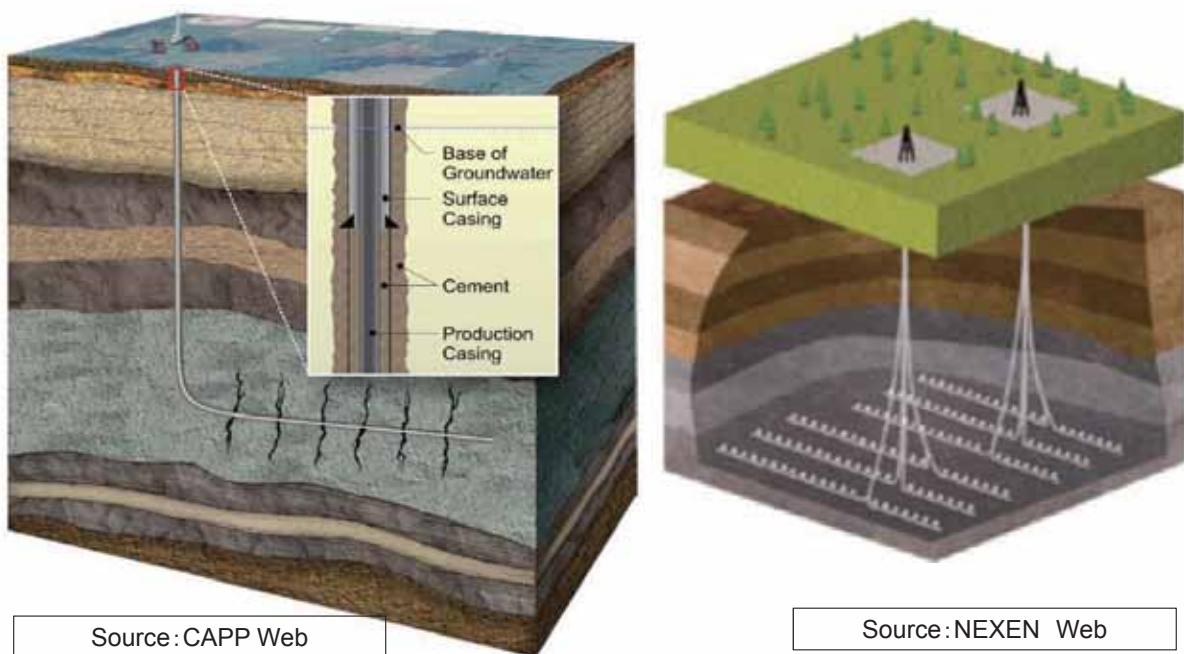
シェールガス開発

INPEX



シェールガス開発

INPEX



Pad掘削

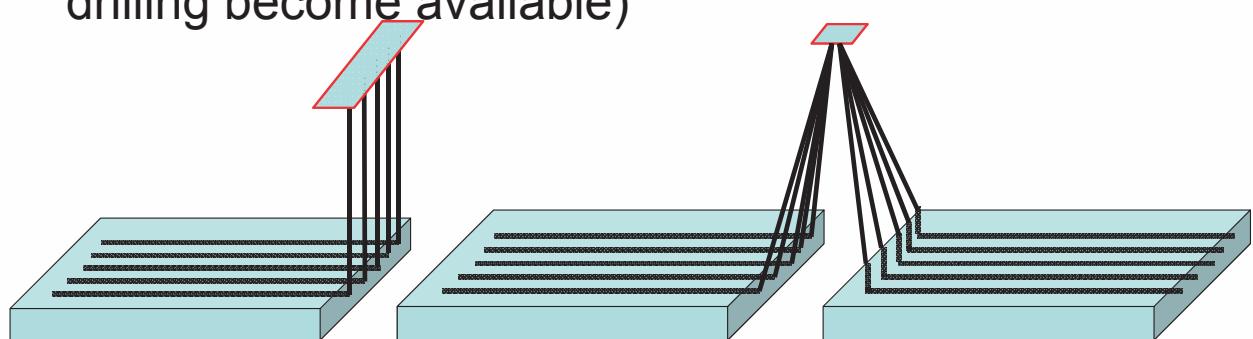
INPEX

Advantages

- Minimize footprint
(environment and cost benefits)
- Minimize wellhead spacing
(less rig move & batch drilling become available)

Disadvantages

- Directional control from top
(increase cost)

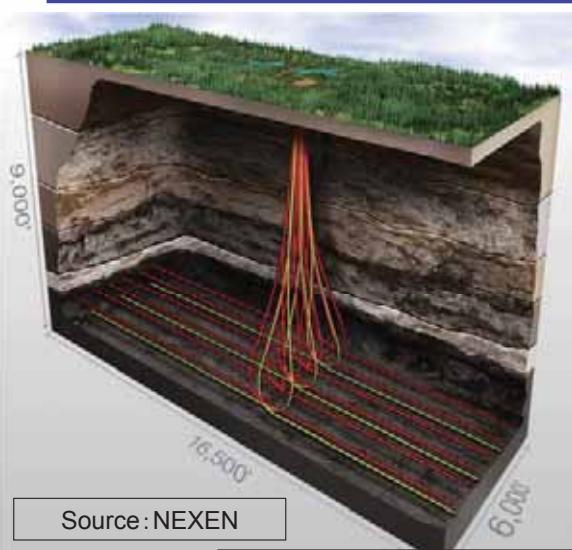


シェールガス開発に係る環境影響の調査分科会 2013/9/9

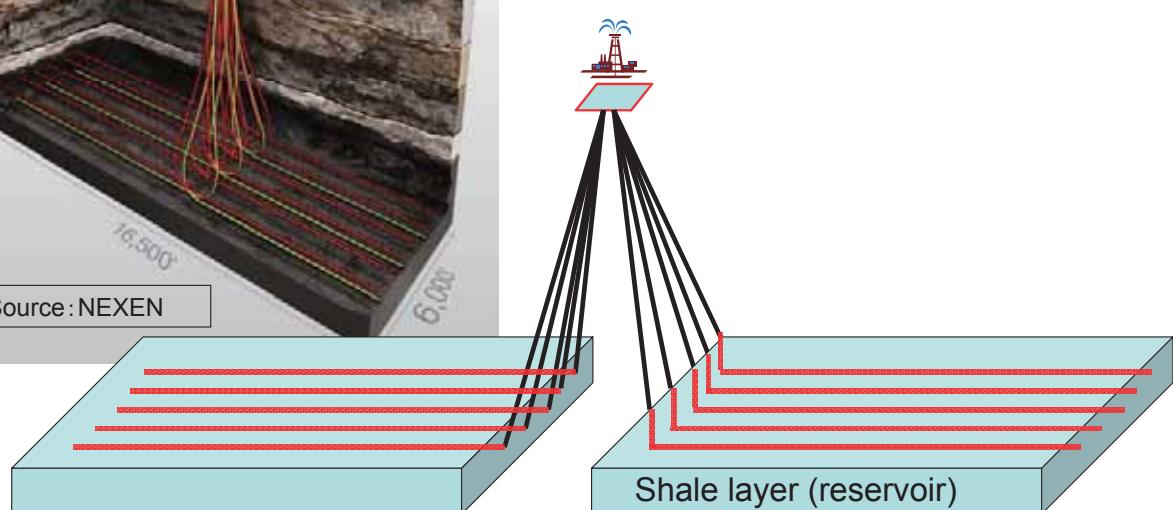
6

最近のWell Trajectory

INPEX



排ガスエリアの最大化を目的とし、Negative Build Drillingを取り入れている



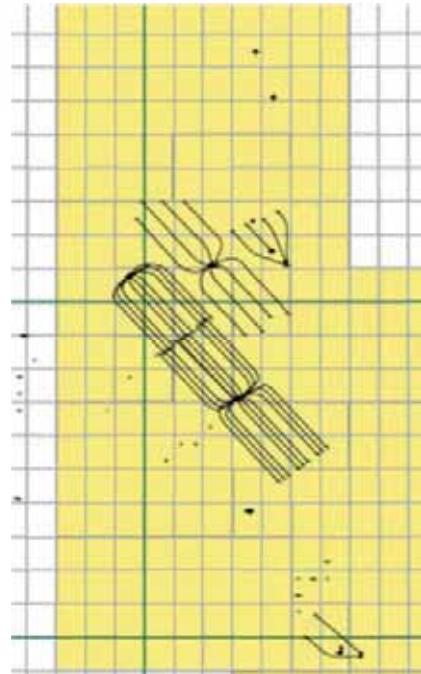
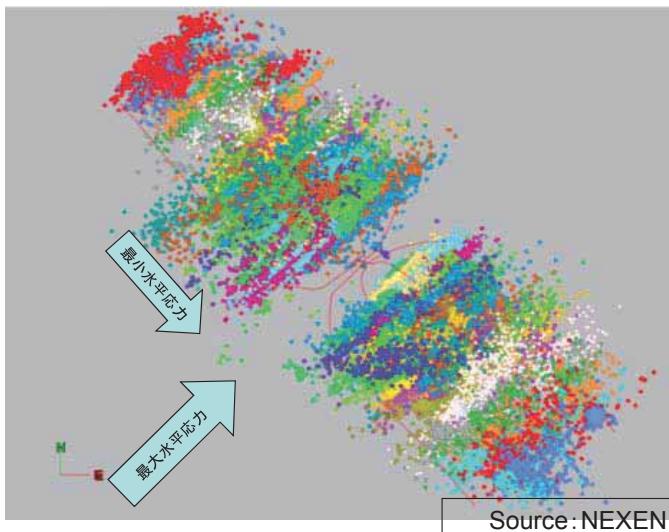
シェールガス開発に係る環境影響の調査分科会 2013/9/9

7

水平坑井の掘削方向

INPEX

- ・ フラクチャーの方向と直交
- ・ 最小水平応力の方向

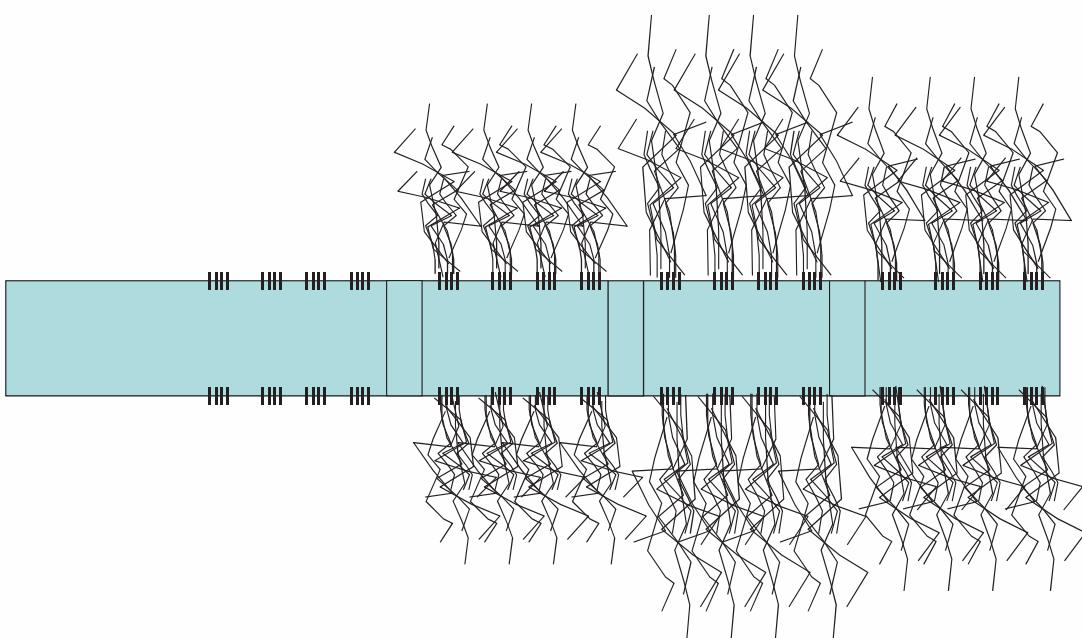


シェールガス開発に係る環境影響の調査分科会 2013/9/9

8

穿孔およびフラクチャリング

INPEX



シェールガス開発に係る環境影響の調査分科会 2013/9/9

9

フラクチャーリング作業

INPEX



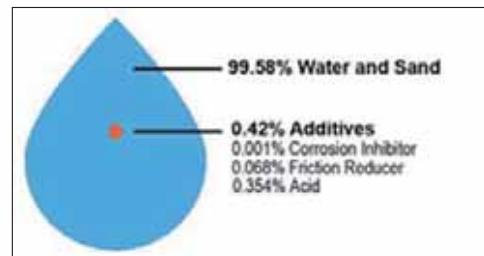
シェールガス開発に係る環境影響の調査分科会 2013/9/9

10

フラクチャーリングに使う水

INPEX

- Horn Riverエリアのフラクチャーリング
- 圧入量
 - 1ステージあたり3,000m³の水を使用する。
 - ちなみに、プロパントは200ton/stage
 - 1坑井のステージ数は、水平区間長にもよるが、15から25段。
 - 即ち、1坑井あたり、45,000m³～75,000m³の水を圧入することになる。
 - 1Padでは、0.8MMm³～1.4MMm³
 - これまでの年間掘削Pad数は、1-2
- フローバック量
 - 圧入量の50%程度



シェールガス開発に係る環境影響の調査分科会 2013/9/9

11

- **水の確保が大きな課題**

- 地表水(当面は十分)
 - 10数Padを配置できるエリアで、数十MMm³/年(4月～10月)の流量。
 - 年間掘削Pad数との比較において問題ない数字。
 - 但し、市場環境が変わり周辺エリアで一斉に掘削が開始され、フラクチャーリング作業が発生すると問題となり得る。
 - 水層の水(十分)
 - 深度は、600m程度のところ(Debolt層)。シェールガス層(2,000m～3,000m)よりも浅く、飲料水用の水層よりも深い。
 - 厚さは数十m。高浸透性の部分は14m。
 - 孔隙率は35%(掘削時の逸泥ゾーンとなる)
 - 圧力は、46 ksc
 - 現在、各社とも、圧入井、給水井の挙動をモニタリング中。
 - 数百MMm³と評価

シェールガス開発に係る環境影響の調査分科会 2013/9/9

12

水のリサイクル

- **フローバック水の圧入**

- フローバック水は圧入しているが、圧入し続けると、圧入層の圧力が上昇し、いずれ、圧入が困難になる。さらに圧力をかけると地層に亀裂が入るリスクが生じる。

- **水層の圧力をなるべく一定に保つ**

- 採取量と圧入量をバランスさせる。

- **バランス**

- 50%を地表水から
 - 50%を水層から
 - フローバック水は、全体の50%なので、それでバランス。

シェールガス開発に係る環境影響の調査分科会 2013/9/9

13

- 供給能力: 数千m³/day/well
- 圧入能力: 数千m³/d/well

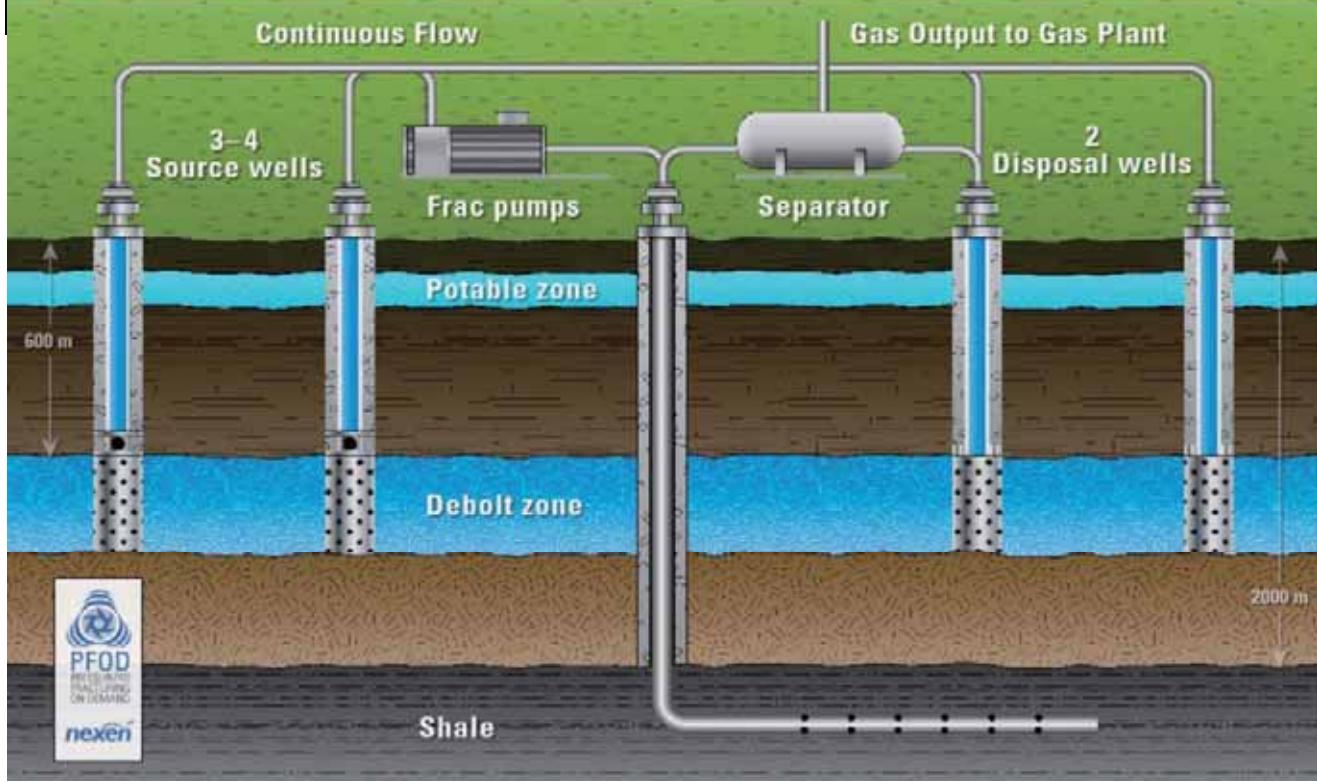
- 水分析
 - GWR: 1.35m³/m³
 - H₂S: 80ppm
 - 遊離ガス
 - C₁ : 57%
 - CO₂ : 42%
 - H₂S : 0.5%

- Debolt層の水の利用
 - 遊離ガスを発生させない ⇒ Bubble Pointを割らないオペレーション
 - すなわち、圧力をかけたままのシステムの構築が必要。

シェールガス開発に係る環境影響の調査分科会 2013/9/9

14

Pressurized Frac On Demand



国内のオイル/ガスフィールド における坑廃水処理について

株式会社テルナイト

技術部 佐藤敬

2013年9月9日

1



内容

- ・会社紹介
- ・処理される流体
- ・国内における坑廃水処理の実績
 - 石油ガス掘削井
 - 震災対応(福島第一原発)
- ・海外における石油・天然ガス開発の廃水処理動向

2



TELNITEとは

- ・日本唯一の掘削用泥水会社
- ・1955年(S30)に帝国石油株式会社(現 国際石油開発帝石株式会社)の子会社として設立
(現在の株主 INPEX:JAPEX=53:47)
- ・薬剤類の製造販売および技術サービスが主要業務
⇒石油・地熱・温泉・地質調査ボーリング等の掘削用泥水調整剤、
セメント添加剤及び廃泥処理剤
⇒土木/建築工事(土木基礎、シールド)用安定液、加泥材、裏込材
⇒環境関連(廃泥水・廃出残土・浚渫土処理用薬剤)
- ・TELNITE ⇒Teikoku Oil Laboratory Lignite



処理される流体

- ・坑廃水
雨水、ポンプのグランド水、洗浄水、生活用水、
薄泥等⇒泥溜にあるもの
- ・泥水
- ・生産水(随伴水)



石油・天然ガス開発業界の処理対象水

坑廃水を蒸発型濃縮装置を使用しての処理について紹介



坑廃水(15,000m³/坑)



掘削泥水(1,500m³/坑)



フランク流体のフローバック(3,000m³/坑)



随伴水(3bbl以上/1bbl産油)



石油・天然ガス開発における廃水処理の現況

国内の石油・天然ガス開発業界(掘削・生産)で利用されている主要な廃水処理技術は、大別すると4通り存在する。

- ① 固液分離処理: 沈降、凝集、ろ過、脱水、遠心分離
- ② 物理化学的処理: 中和、活性炭吸着、油水分離装置
- ③ 生物化学的処理: 活性汚泥
- ④ 蒸発濃縮処理

処理対象水の水質や処理目標とする水質レベルによってこれら技術を組み合わせ、廃水処理システムを構築している。

出典: JOGMEC平成23年度委託業務「第1回メタンハイドレート海洋産出試験に係わるメタンハイドレート生産水の洋上処理に関するエンジニアリング検討」業務報告書

国内の廃水処理技術適用実績

表. 廃水処理技術適用実績一覧(1977年~2012年現在)

廃水処理技術	掘削/生産	陸域での適用件数	海域での適用件数
固液分離処理	掘削	23	1
	生産	-	-
物理化学的処理	掘削	-	-
	生産	1	2
生物化学的処理	掘削	-	-
	生産	2	-
蒸発濃縮処理	掘削	40	3
	生産	1	-
小計	掘削	63	4
	生産	4	2
合計		67	6

- 掘削フィールドでは蒸発濃縮処理、生産鉱場では物理化学的処理や生物化学的処理を採用している企業が多い。

7



国内石油会社の環境保全意識

国内の石油・天然ガス開発各社は年々厳しくなる法規制への対応もあるが、

むしろ「廃水の水質を法規制が許容する必要最低限に調整するだけではなく、完全なる無害化と再利用によって環境保全を最優先とする企業倫理」

掘削現場では1992年に蒸発濃縮法を導入、現在に至る。

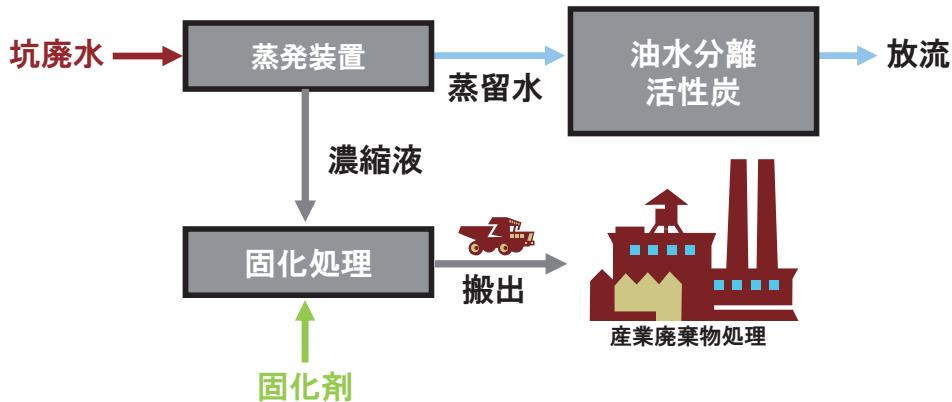


出典: JOGMEC平成23年度委託業務「第1回メタンハイドレート海洋産出試験に係わるメタンハイドレート生産水の洋上処理に関するエンジニアリング検討」業務報告書

8



坑廃水処理システム概略図①

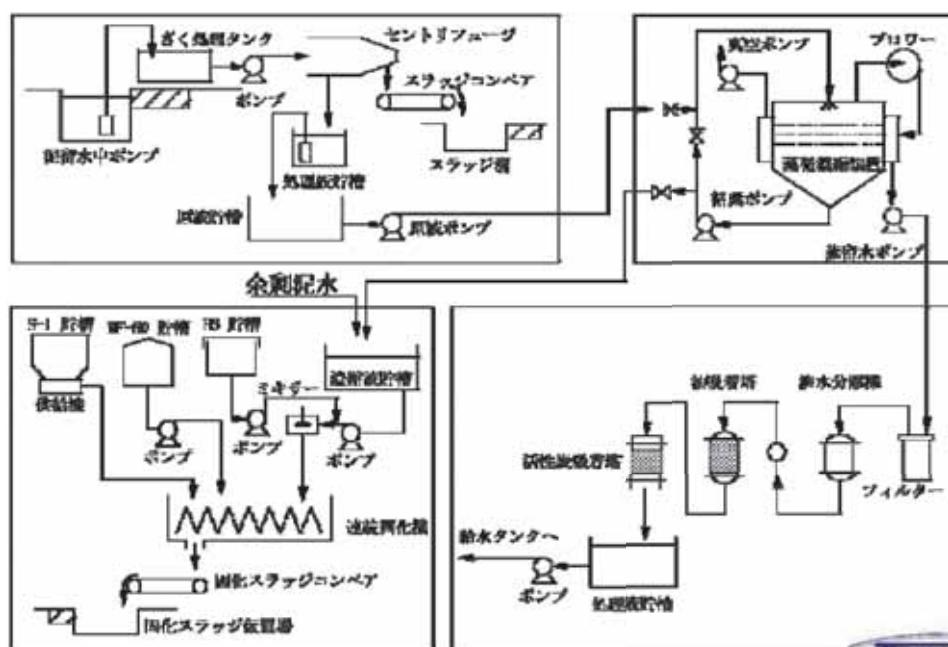


- 坑廃水を処理した場合、蒸留水は再使用または放流が可能であり、濃縮分は産業廃棄物となる(汚水を減容化)。

9



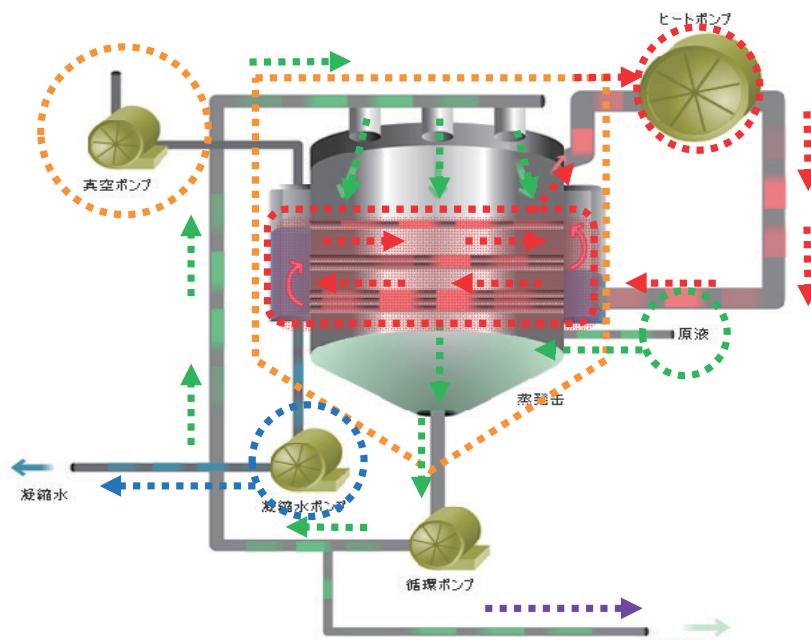
坑廃水処理システム概略図②



10



蒸発濃縮型廃泥水処理装置 (VVCC)



11

VVCC : Vapor Vacuum Compression Concentrator

蒸発濃縮装置 外観①



12

Velrite

現場における処理に対応

- ・装置はトレーラーでの運搬が可能
(現地へ搬入、3日程度で組立)
- ・敷設に必要な敷地面積は12m×7m
程度
(本体7.5m×3m、保有液・予熱原液タンク2.4m)
- ・その他
 - 発電機(440V, 220KVA)
 - ボイラー(500kg/hr)



13



蒸発濃縮装置 外観②



RHC-F : Re-Heat Concentrator - Flush

処理前の汚水



15

Telrite

処理後



16

Telrite

ザク溜めと廃泥



Velrite

17

ラインミキサーによる固化処理



Velrite

18

福島第一原発汚染水処理への適用①

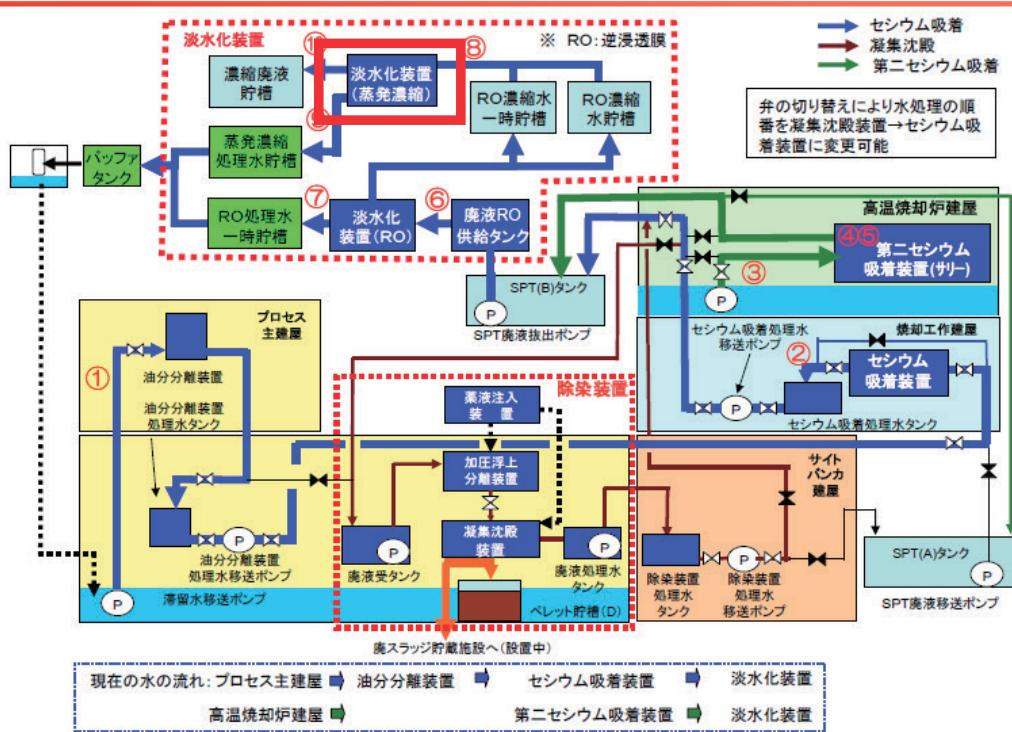
・2011年3月11日 東日本大震災

福島第一原発にて事故発生！⇒汚染水処理
(海に流れる汚染水を抑える応急処置等)



19

福島第一原発汚染水処理への適用②



福島第一原発汚染水処理への適用③

・2011年3月27日

原発汚染水の処理に対する装置提供の打診

1)海水処理に対応が出来ること

⇒材質

2)短期間で福島第一原発へ持ち込めること

⇒トレーラーマウントで納入可能

3)短期間で簡単に据付が出来ること

⇒短期間で立ち上げ可能

⇒JAPEX殿、テルナイト所有の濃縮装置(80トン/日)
が最適

21



福島第一原発汚染水処理への適用④

2011年3月

- 原発汚染水の処理に対する装置提供の打診

2011月5月～7月 @弊社酒田工場

- 先行装置(80トン 2式)の改造/試運転/搬出

- 原発仕様:ガスケット類交換、遠隔操作改造など

2011月7月～9月@弊社酒田工場

- 後発(280トン 3式)の組立/試運転/教育/搬出

2012月12月現在

- 福島第一原発汚染水処理の淡水化装置として稼働

22



福島第一原発汚染水処理への適用⑤



80トン



23

福島第一原発汚染水処理への適用⑥



280トン



24

実績まとめ

- 石油・天然ガス掘削井で発生する汚水を、安全で効果的に処理することを目的に、1992年より蒸発濃縮装置レンタル(販売)と技術サービスを開始。
- 過去20年以上に亘り、石油掘削井では40以上の工事で使用。
⇒2012年まで累計 **500,000m³** を処理し、**70%**の蒸留水を再利用。
- 近年では石油天然ガスの生産鉱場で発生する高塩分の随伴水処理(100,000m³)や**福島第一原発の汚染水処理(淡水化)**にも使用。

25



海外における石油・天然ガス開発の廃水処理動向①

- 廃水処理サービス大手は3社
(Mi SWACO社、HAL社、BHI社)
方法
電気的凝集
薬剤併用投与型の浮揚分離
逆浸透膜および脱塩システム
- 約850の文献および雑誌記事(2005~2010年)を調査
↓
簡単な処理後に**水攻法**へ流用する企業
圧入処理を行なっている国や企業
が非常に多い。

26



海外の動向② フラック流体の処理

- 水圧破碎作業では、1坑あたり1万m³の水(薬剤量は50m³)を地下へ圧入する。→一般市民は地下水汚染を懸念
- テキサス州では2011年から、州規制局への使用薬品の届出と、指定サイトでの成分公開が義務づけられている。
- Flowback流体(圧入量の10-30%)の処理は、蒸発濃縮、逆浸透膜、化学的処理によって行われている。



シェール層と飲料水帯水層の深度

	開発対象層の深さ (ft) (m)	飲料用帯水層 (ft) (m)
Barnett	6,500 ~ 8,500 (1,981 ~ 2,590m)	1,200 (366m)
Fayetteville	1,000 ~ 7,000 (305 ~ 2,134m)	500 (152m)
Haynesville	10,500 ~ 13,500 (3,200 ~ 4,115m)	400 (122m)
Marcellus	4,000 ~ 8,500 (1,219 ~ 2,591m)	850 (259m)

出典:米国環境保護庁「Draft Plan to Study the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing on Drinking Water Resources」



海外の動向③ 随伴水処理

- 2007年にアメリカ全土で発生した随伴水量は210億BBLであり、これらの95.2 %は圧入によって処理されている。
→国際条約の基準値まで油分を処理し、海洋に放出するよりも、地下圧入した方が安全面、経済面、環境保全面で有益。
- 2010年の調査では、蒸発濃縮法は数例であり、水攻法への流用や地下還元(圧入処理)が多かった。
→近年、蒸発濃縮法は増加傾向にある。

出典:米国アルゴンヌ国立研究所の調査結果



水処理・環境トレンド

- 水処理の究極のゴールは、**処理対象水から汚染源を除去し、再利用することで環境影響と水不足を解消することである。**
- 3Rや使用薬剤の無害化など、処理対象水の発生量、水質の悪化を未然に緩和する対応がとられている。
- 原水の水質や処理目標とする水質レベル、費用対効果によって廃水処理システムが構築され、適用されている。
→環境規制の厳密化と社会情勢の変化からゴールに近づいていく。

REFERENCES: Society Petroleum Engineers paper No.115952, Author: New Mexico Institute of Mining and Technology, Petroleum Recovery Research Center 2009



当社の廃水処理サービスは、産業廃棄物の減容化により、産廃処分費を削減し、且つ利害関係者に与える企業の健全性を向上させます。

株式会社テルナイト



Unconventional Resources



Water Management Strategies in Unconventional Plays 非在来型油・ガス田における 水処理技術戦略

大澤 理

Communications Manager – Schlumberger K.K.

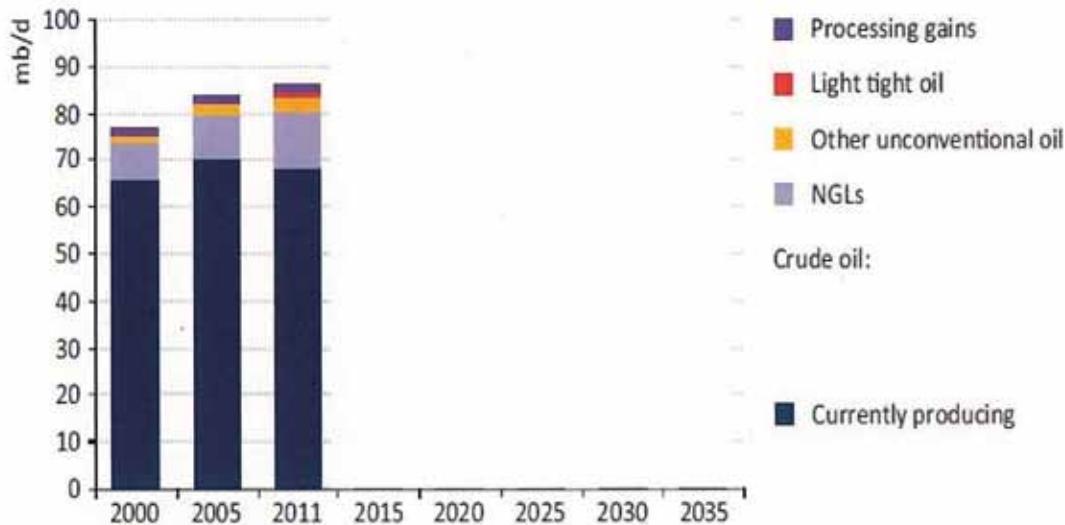
Schlumberger

Agenda

- Emerging Shale Gas is the Unconventional E&P
- Water Challenges
- Water Management Aspect
- Understanding Fracturing Fluid
- Conclusion

Schlumberger Public

E&P industry faces increasing technical challenges to replace diminishing conventional resources

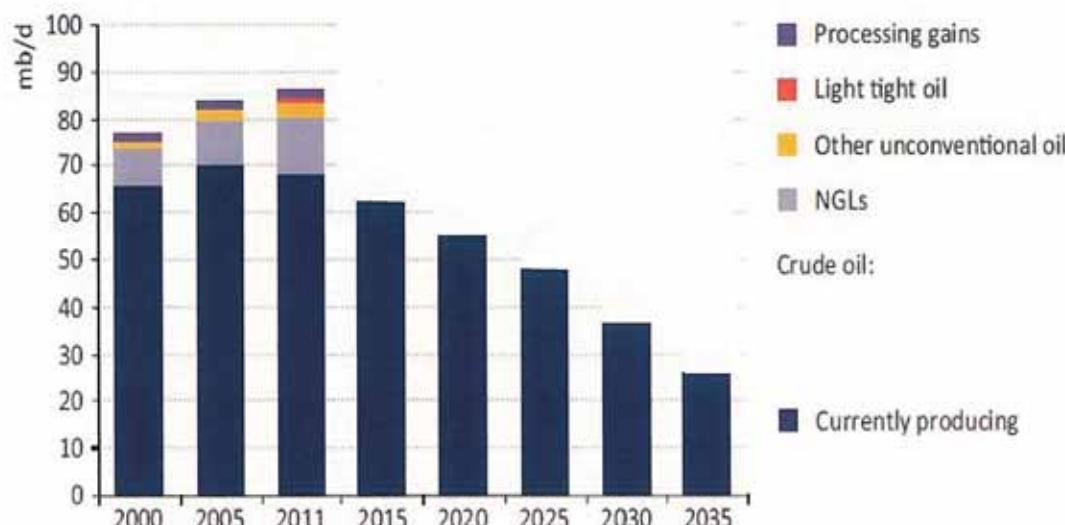


Schlumberger Public

Source : World Energy Outlook 2012

3 JOGMEC Techno Forum 2013

E&P industry faces increasing technical challenges to replace diminishing conventional resources

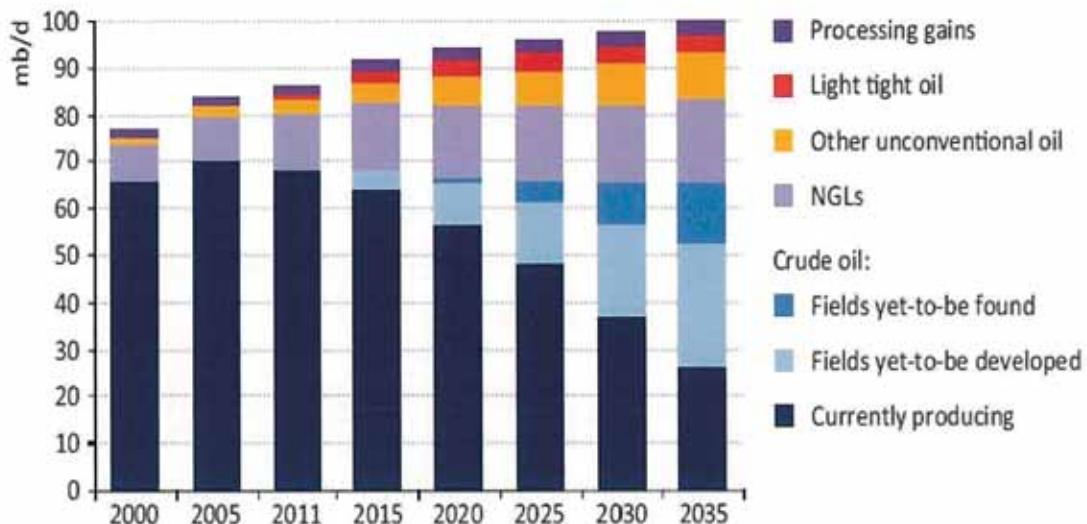


Schlumberger Public

Source : World Energy Outlook 2012

4 JOGMEC Techno Forum 2013

E&P industry faces increasing technical challenges to replace diminishing conventional resources

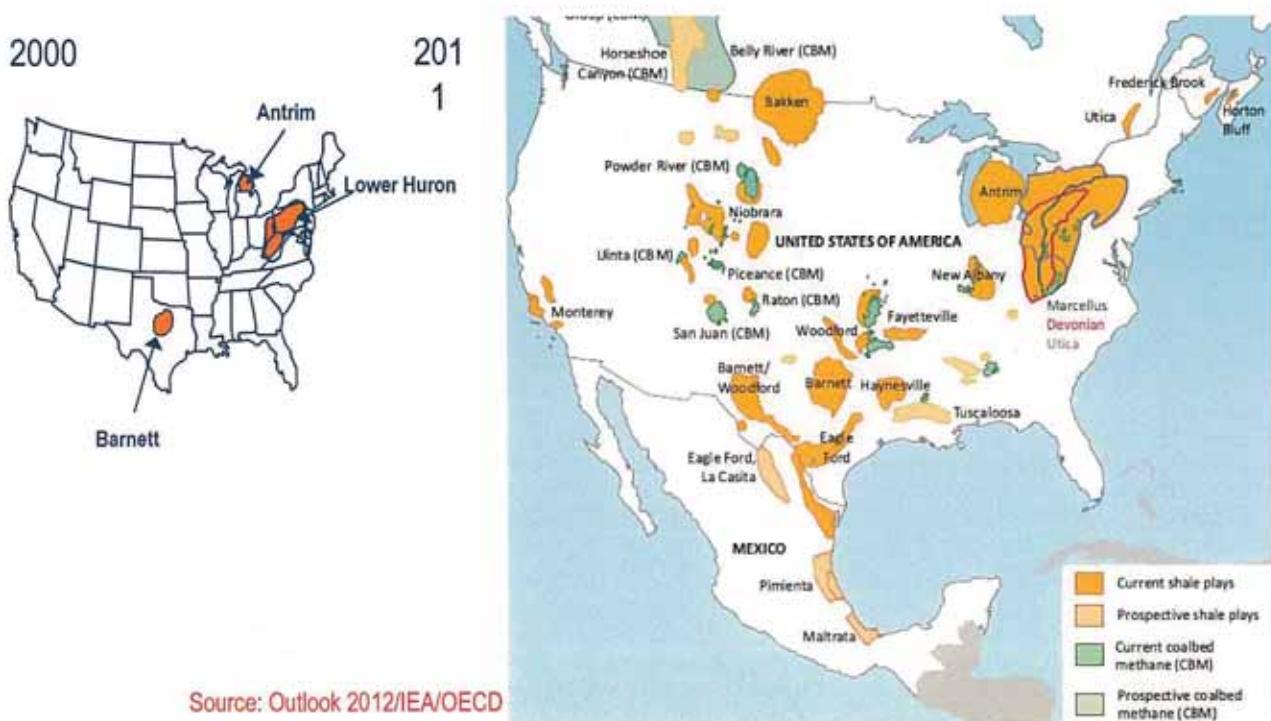


Schlumberger Public

Source : World Energy Outlook 2012

5 JOGMEC Techno Forum 2013

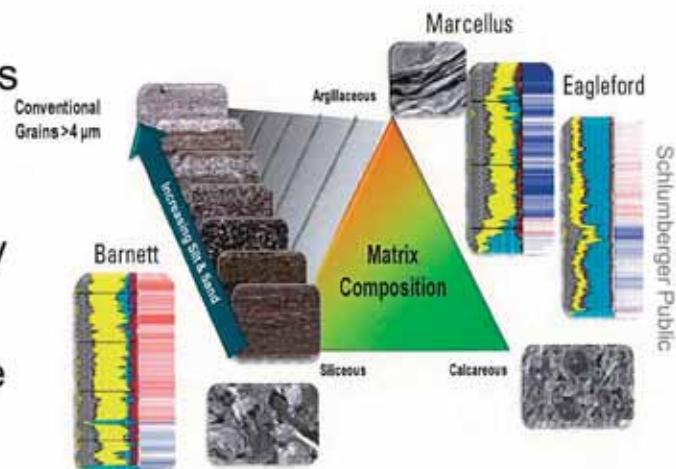
Change of US Gas Market by the Shale Gas Boom



This document and any map included herein are without prejudice to the status of or sovereignty over any territory to the delimitation of international frontiers and boundaries and to the name of any territory, city or area.

Variety of Shale Gas Fields

- Shale is diverse and complicated.
- Both reservoir characteristics and well characteristics are important.
- Improving efficiency in every level is a key to success.
- Required technology is case by case.
- Adopting the best technology enables to improve productivity, efficiency, resulting economical success.

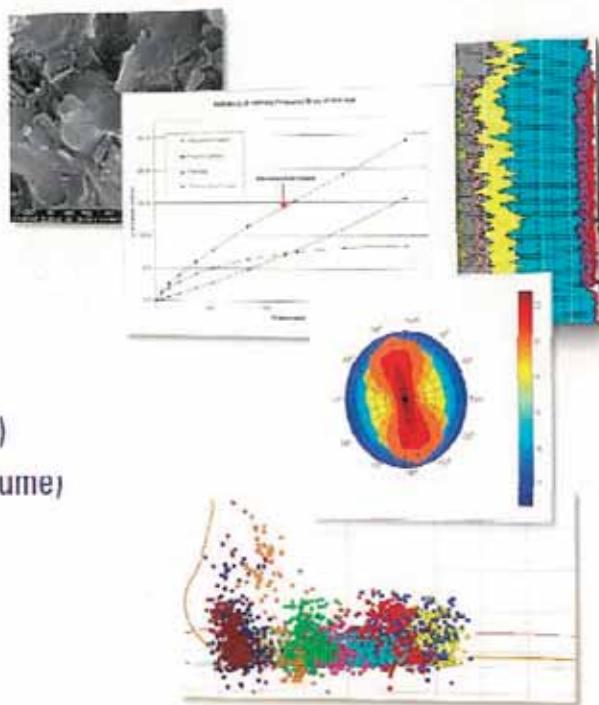


Economic success = Securing productivity

$$RQ + CQ = \$ \text{ Economic Success}$$

Defining Reservoir Quality (RQ)

- Oil / Gas in place
- Porosity
- Permeability
- TOC and Maturation
- Pore Pressure



Defining Completion Quality (CQ)

- Fracture Containment (anisotropy, in-situ stress)
- Rock mechanics (surface area per reservoir volume)
- Ability to retain surface area
- Fracture conductivity
- Fluid sensitivity

Schlumberger

Approach by technology integration - “More with Less”

Evaluate	Drill	Complete	Produce
<p>More Knowledge Less Uncertainty</p> <ul style="list-style-type: none">- Seismic sweet spots- Advanced modeling- Define reservoir and completion quality	<p>More Pay Zone Less Rig Time</p> <ul style="list-style-type: none">- Longer laterals, faster- Enhance hole quality- Key formation data from cuttings and mud	<p>More Reservoir Contact Less Environmental Impact</p> <ul style="list-style-type: none">- Well integrity- Engineer placement- Green chemistry- Reduce pumping & job volumes	<p>More Recovery Less Waste</p> <ul style="list-style-type: none">- Manage fracturing and produced water- Monitor recovery and interventions- Maximize recovery
			

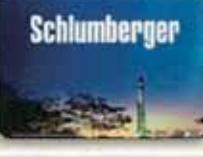
Unconventional Play Water Management



Water Challenges

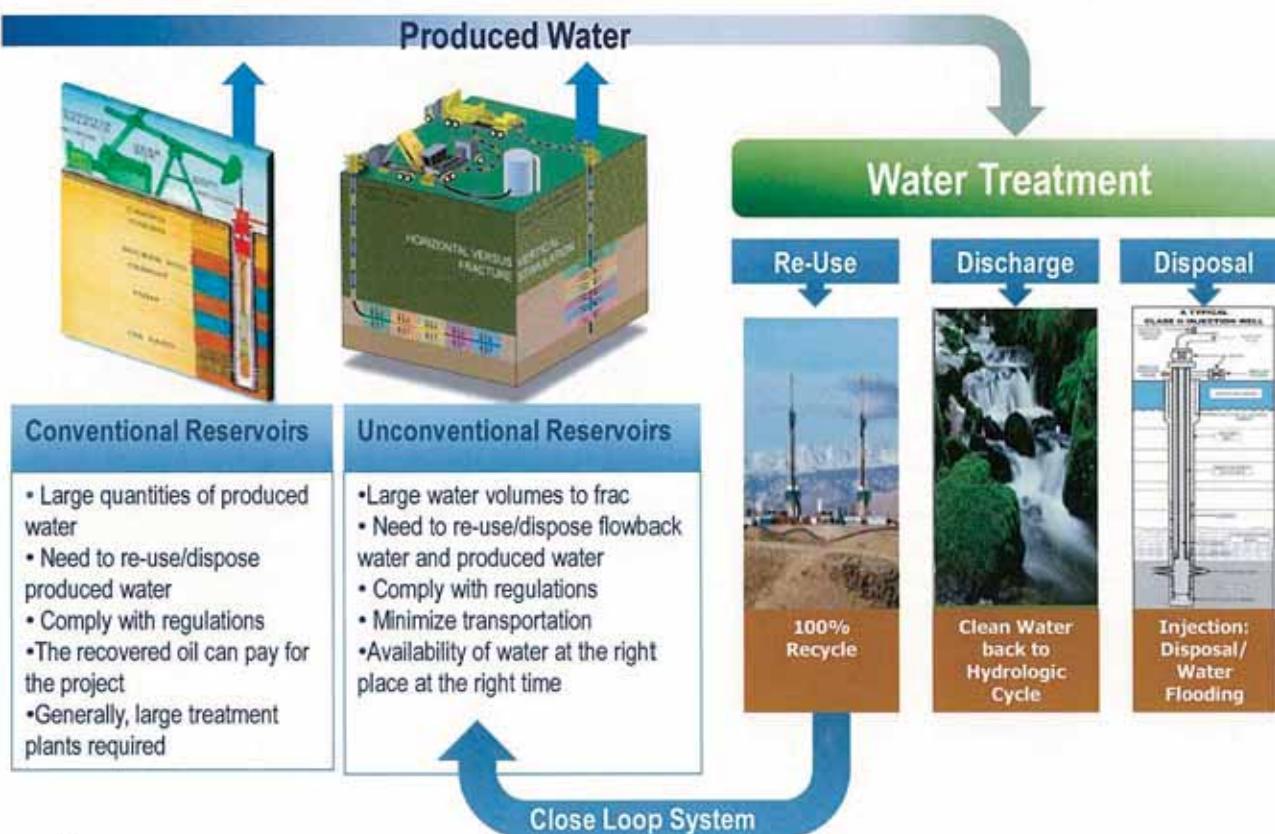


Water Management Aspects



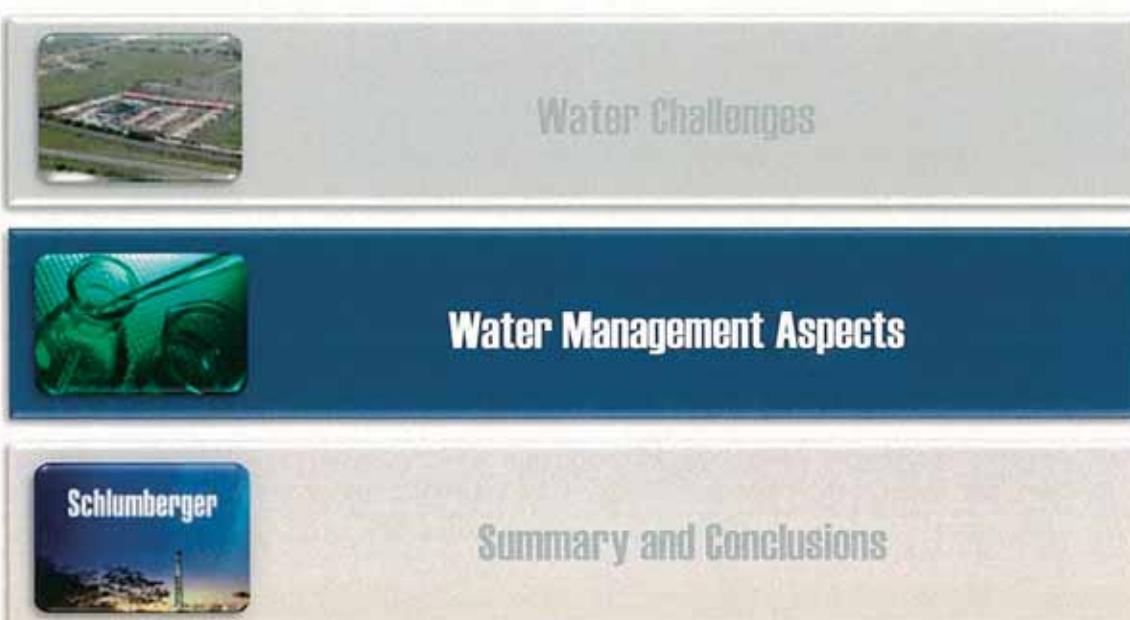
Summary and Conclusions

Water Challenges



11

Unconventional plays Water Management – a holistic approach



12

Understanding the Aspects of Water Management

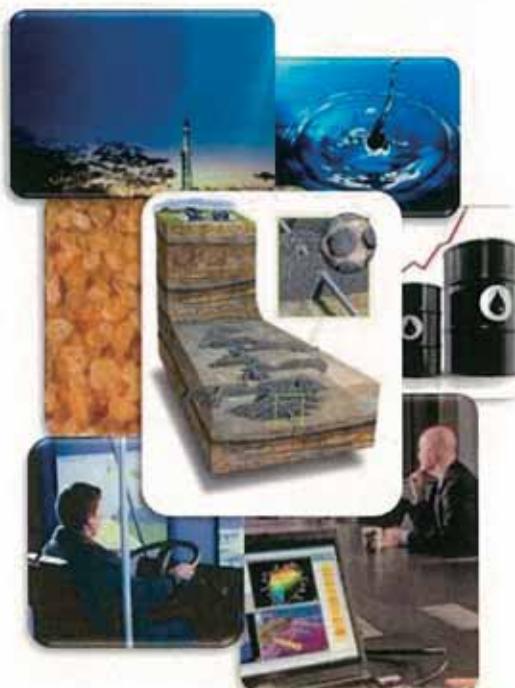
- Water Sourcing:
 - Municipal
 - Water wells: shallow and deep
 - Ponds, Streams and Rivers
 - Produced Water
 - Sea Water
- Environment:
 - Concern about depletion of reservoirs
 - Impacts on aquatic life
 - Footprint
 - Drinking water supply (drought)
- Transportation:
 - Number of trucks on the road $2,000 \text{ m}^3 = 100 \text{ trucks}$
 - High tendency to pipe the system
- Water Storage:
 - Use of ponds, impoundments, frac tanks
 - Temporary and re-usable above ground tanks
- Regulations:
 - Ultimate drivers for permits of water sourcing
 - Dictate discharge criteria



13

Recycling Produced Water in Unconventional Plays

- New advances in frac fluid systems allow the utilization of waters other than fresh sources
- Ability to use brackish ground water
- Maximize produced water reuse - minimize dependence on freshwater
- Minimize overall environmental impact



14

Understanding Water Quality Drivers

Focus: Develop water quality treatment specifications based on actual frac fluid chemistry – not legacy requirements

- Economics drives operational choices
- Minimalist approach to water treatment
 - Gives best opportunity for water reuse

Primary Reuse Options: Driven by water quality requirements at the next frac

- What Drives these requirements?
 - Sole Driver – FRAC FLUID PERFORMANCE

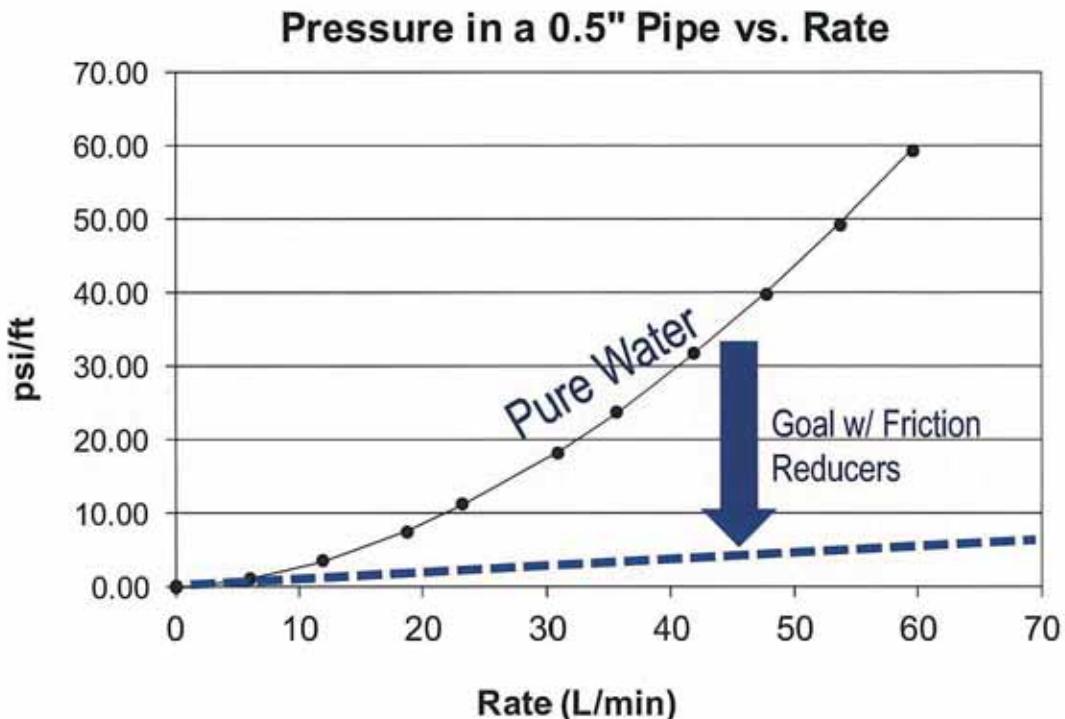
Goal: Understand the water quality requirements and their impacts on different frac fluid systems and at what levels?

15

Fracturing Fluid Systems

	Slickwater - SW
	Linear Gel
	Cross-linked Gel - XL

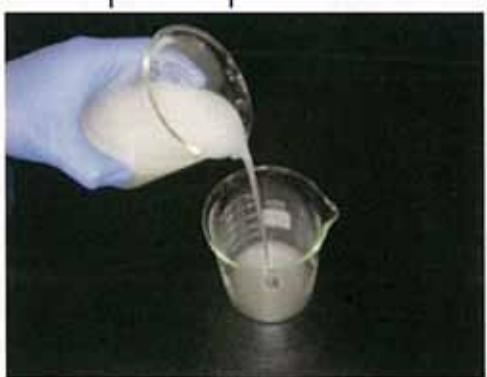
Slickwater Fluids - Drag Reduction



17

Linear Gel Hydration

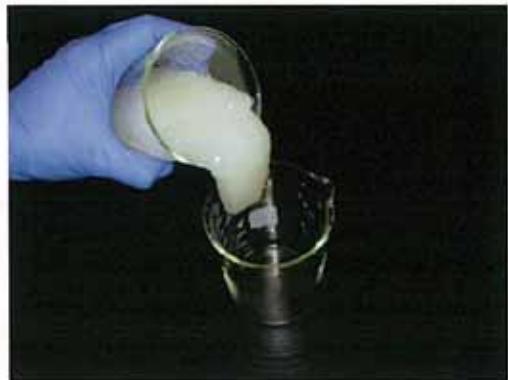
- Linear Gel requires a moderate pH (6-8 is ideal) to ensure proper and rapid hydration
- Guar is largely insensitive to salt concentrations
- Cross-linker (Aluminum, Boron, Titanium, Zirconium, etc.) levels should remain low (Boron < 10 ppm) to minimize the risk of accidental x-link in the event of an unexpected pH increase



18

Cross-linked Fluid Systems

- **Consistent** water quality is KEY to preparing a good x-linked borate fluid
- In addition to placing the proppant downhole, consider what impact the salt may have on scaling tendencies within the proppant pack or production lines
- Frac fluid compatibility testing is **mandatory** whenever water quality is pushing the water quality requirement envelope



19

Engineered for Purpose – Overcoming Water Challenges for Frac

- **Slickwater** chemistry is dependent on TDS (Total Dissolved Solids) and fluid temperature:
 - Focus: Choose the right Friction Reducer
- **Linear Gels** tolerant to high TDS and hardness concentrations
 - Focus: Keep pH between 6-8
 - Control cross-link additives concentration
- **Cross-Linked Gels** are tolerant to High TDS
 - Focus: Reduction of Multivalent cations (hardness ions: Ca, Mg, Fe, Sr) and bacteria
 - Maintain pH control to avoid cross-linking at wrong interval
- **LAB TESTING** at district lab before the frac operation is key to ensure success!

20

Approach: Recycling Produced Water in Unconventional Plays



1. Field Layout: General Logistics of Field Operations



2. Water Characterization: Sampling and Analysis



3. Fluid Requirements: Water Quality Specifications



4. Treatment Design: "Fit for Purpose"



5. Bench Scale Study: Compatibility Tests



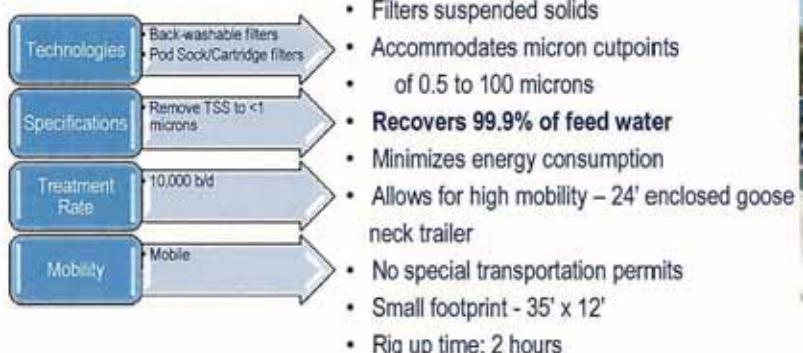
6. Pilot Project: Full Scale Development

Treatment Design: "Fit for Purpose"

		Filtration • Total Suspended Solids	Disinfection • Bacteria Control	Organics Removal • Oil and Grease	Inorganics Removal • Multivalent Cations	Total Dissolved Solids	Environmental issues Disposal, Discharge
Impact on Frac Operations	Fines damage in proppant pack and plug	Prematurely breaking the fluid and gel	Fluid instability	Scale up of proppant pack, Gel Stability			
Technologies	Vertical/Horizontal Filters, Multimedia Filters, EC	Mixed Oxidant Solution & ClO ₂ , Organic (Glute, Quats)	Dissolved Air Flotation & Organophilic Clays	Chemical Precipitation		Reverse Osmosis, Distillation MVR	

Filtration: Overview

Sock/Bag Filters



Backwashable Media Filters

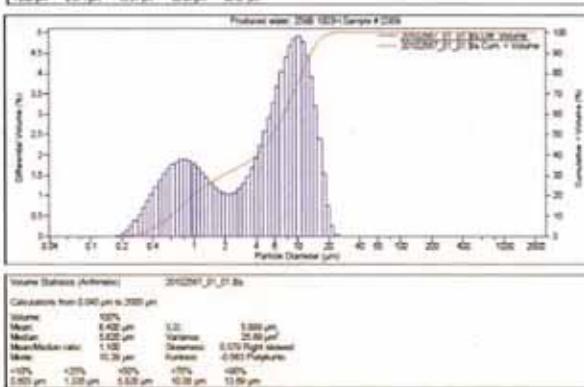
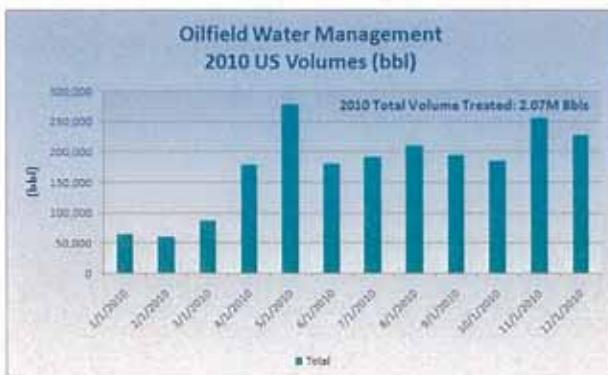
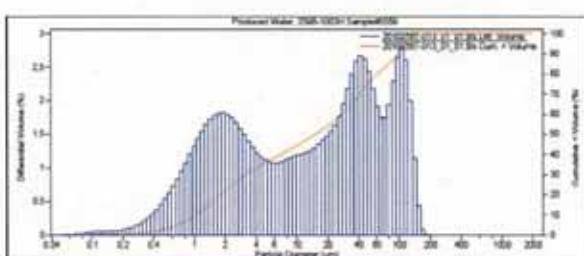
- Automates renewal of media
 - Reduces waste, less bags to landfill
 - Removes a first cut of solids
 - Limited by potential for breakthrough; barrier filtration typically follows

23

Filtration: Success Story

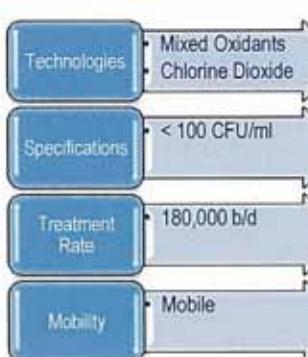
2010 Marcellus Water Filtration Operations

- 2.07 M Bbls filtered on mobile central sites
 - Operators 100% re-using the water for frac operations



Disinfection: Overview

Operational Highlights



- MIOX provides environmentally benign disinfectant - "drinking water" oxidants
- Mixed Oxidant Solution (MOS) generated on site by passing dilute sodium chloride solution through an electrochemical cell
- Sodium Chloride brine made of food grade salt
- MOS generated onsite for "on-the-fly" treatment for pump rates of up to 110 bbl/min
- Real-time monitoring of residual disinfectant - ensure bacterial kill, real time QA/QC
- Proven technology with long history of use in industrial and civil applications
- Compatible with frac fluid additives



25

Disinfection: Success Story

2011 Fayetteville Water Disinfection Operations

- Treatment of Surface Pits for bacterial control and water reuse
- 2-4 log reduction in aerobic and anaerobic bacteria count resulting with <100 CFU/mL
- Oxidation of Iron and Sulphates



2011 Barnett Water Disinfection Operations

- "On-the-fly" disinfection of over 180,000 bbls for 3 wells
- Bacterial kill to non detect for aerobic and anaerobic bacteria
- Zero impact on frac operations or frac fluid performance



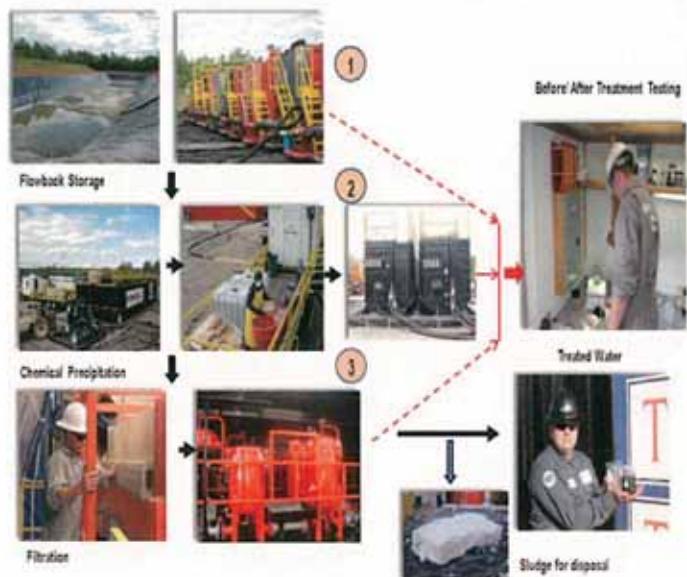
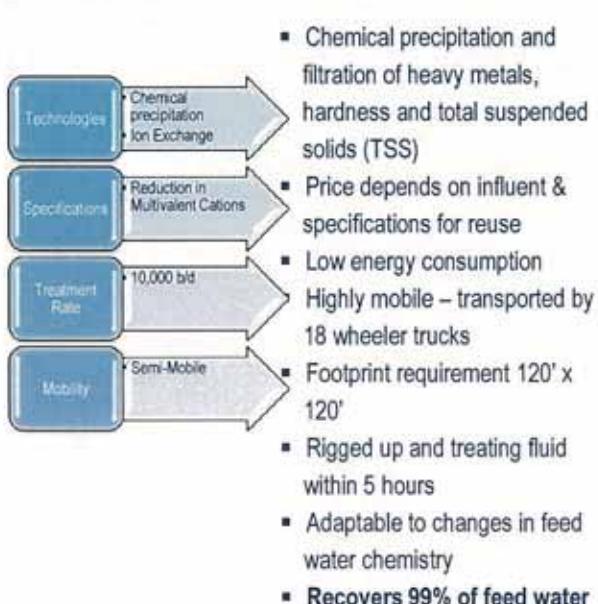
26

Organics Removal: Free & Dispersed Phase



27

Inorganics Removal: Overview

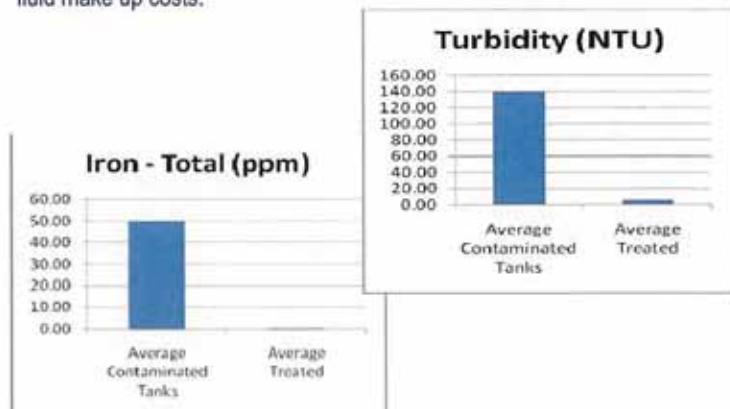


28

Inorganics Removal: Success Story

Water Reclamation Operation Nov 2010 - 2011

The M-I SWACO Frac Water Reclamation System was successfully utilized to process and reclaim over 11,200 m³ of contaminated fluid for an operator in Sichuan Province, China. The reclaimed fluid was made available for the following frac operation resulting in considerable reduction of disposal and fluid make up costs.



29

Summary and Conclusions

- Frac fluid chemistry drives water quality requirements
- Early planning is the key for project success; balancing costs:
 - Frac fluids formulations
 - Water treatment process
- Proper treatment design is necessary to guarantee the quality of the water to be delivered
 - Minimalist approach for water treatment
- Lab testing is required to ensure performance of any frac fluid formulation
- Water reuse is an option **without** having to go to freshwater
 - Chlorides (TDS) are not an issue

30

書名 平成 25 年度 シェールガスに係る環境影響の調査検討 報告書
発行 平成 26 年 3 月 27 日
一般財団法人 エンジニアリング協会
石油開発環境安全センター
〒105-0001 東京都港区虎ノ門三丁目 18 番 19 号
虎ノ門マリンビル 10 階
TEL 03 (5405) 7205 FAX 03 (5405) 8201
印刷 ホクエツ印刷株式会社