

シェールガス革命が世界に与えた影響



2019年11月13日

早稲田大学 招聘研究員
吉武 惇二

目次

第1章：シェールガス革命は米国から始まった

- ・3つの掘削技術の組み合わせで生産可能に
- ・米国はロシアを抜いて世界一の天然ガス生産国に

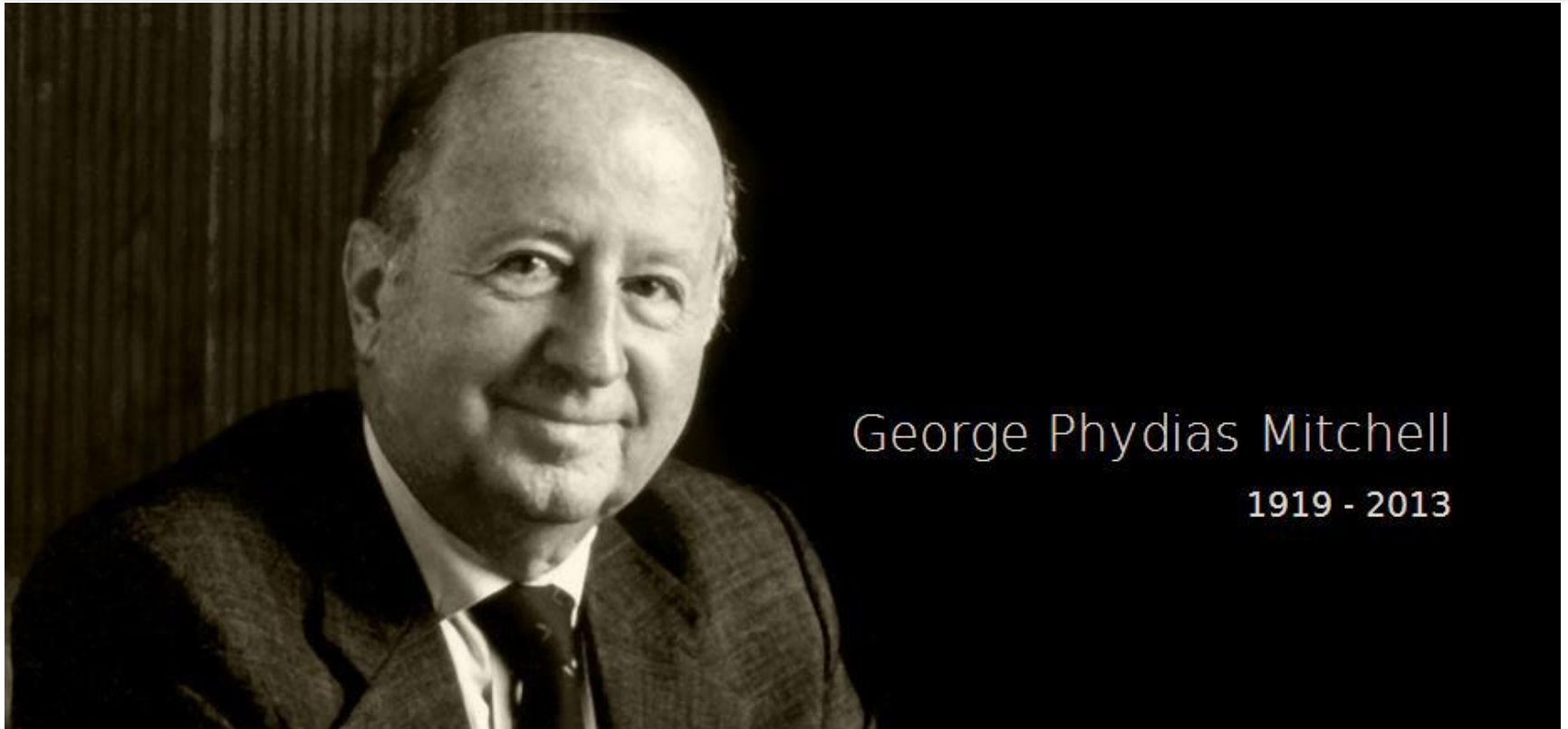
第2章：シェールガスが天然ガス需給を変えた

- ・米国はLNG輸入国から輸出国に変貌
- ・隣国のカナダ、メキシコもLNG輸出国へ

第3章：今後の課題

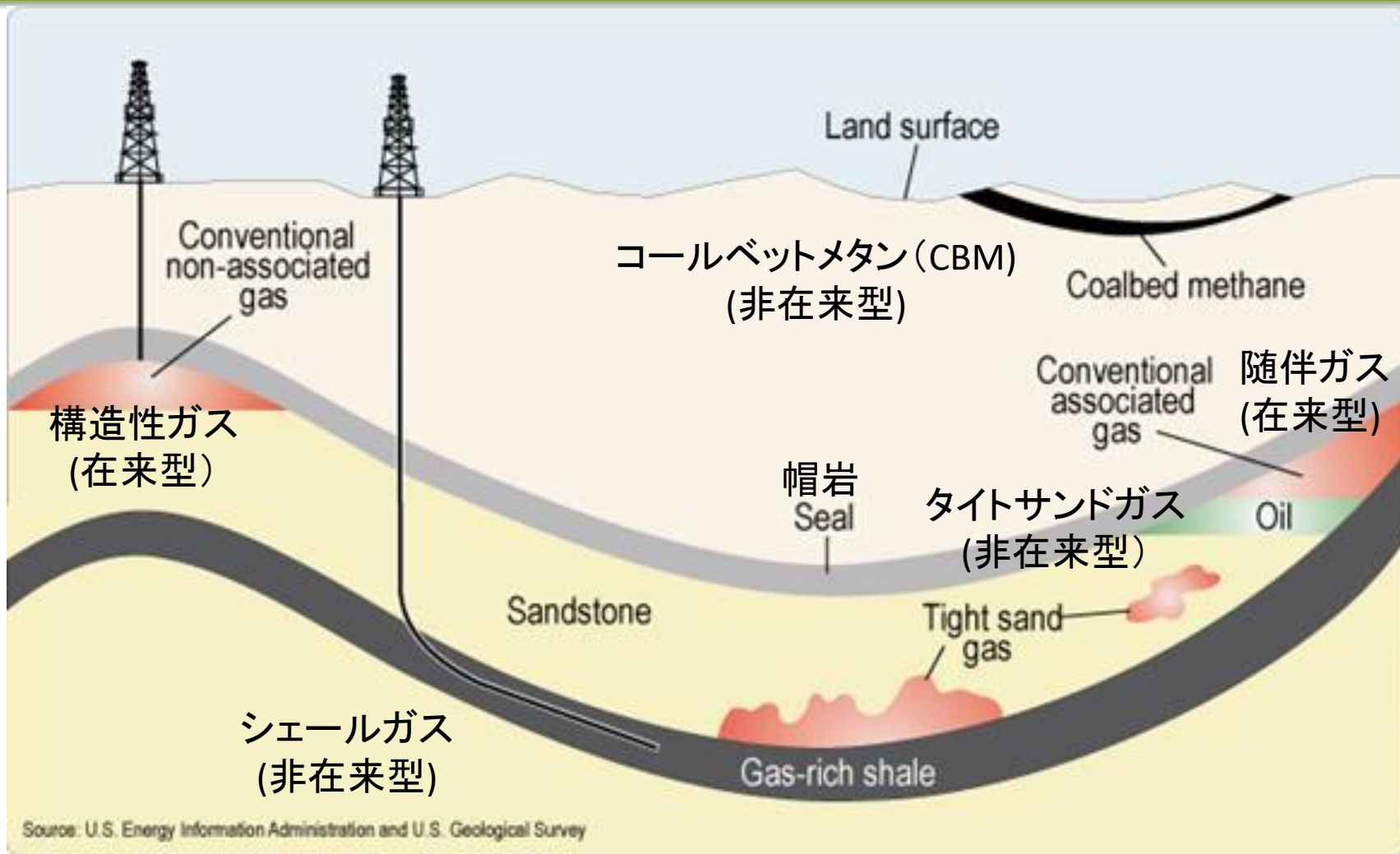
- ・熱量バンド制導入の検討
- ・LNGバンカリング設備の充実
- ・低炭素化社会に向けてのメタネーションの推進

シェールガス開発の父、ジョージ・ミツシエル

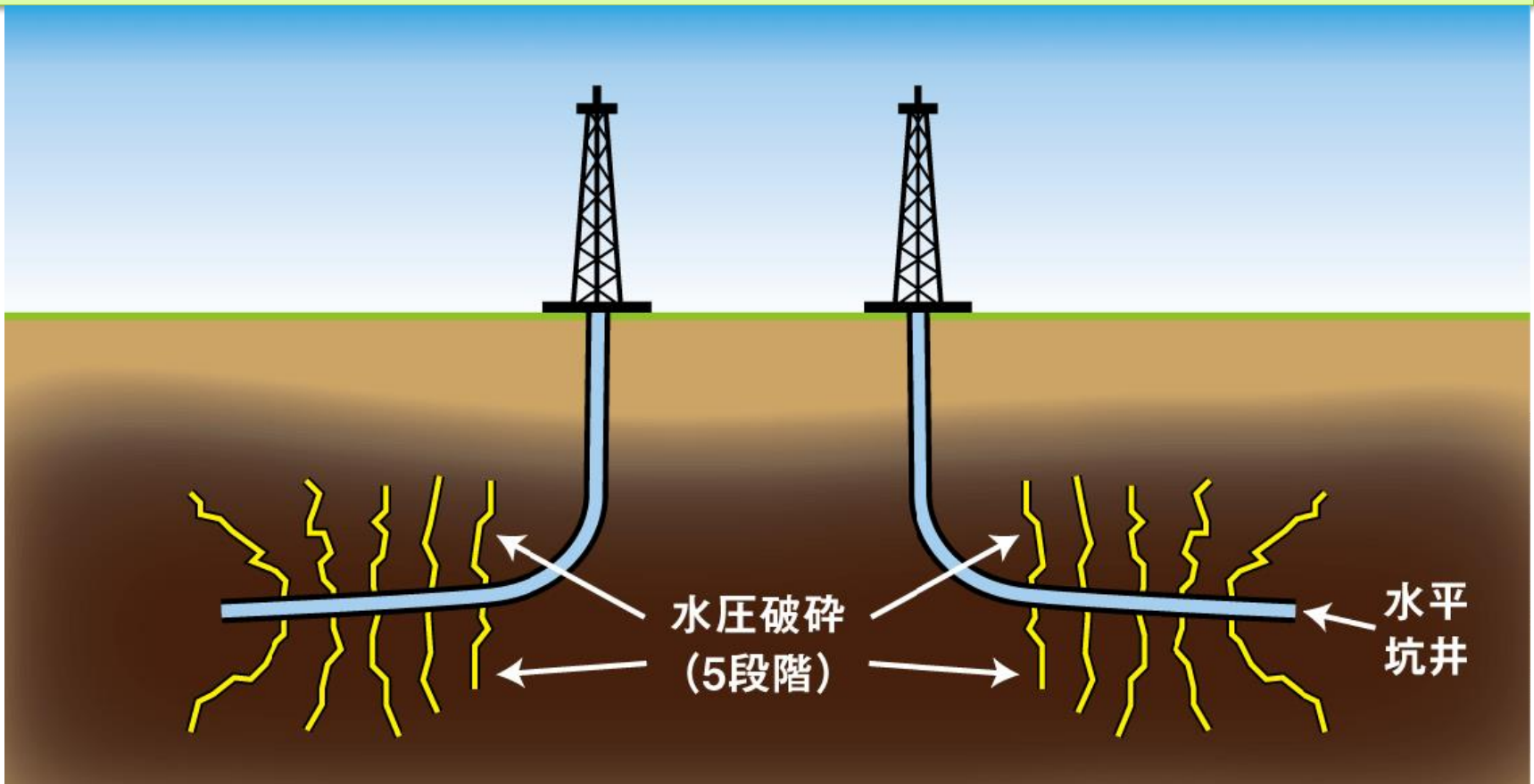


- ・同氏は2013年7月26日、テキサス州の自宅で老衰により逝去、享年94歳
- ・同氏は水圧破砕技術(フラッキング)を応用し、今まで採取不可能だったシェールガスを経済的に生産できる手法を確立した。
- ・彼は還暦を過ぎてから独力で新技術開発に挑戦し、一時は資金を使い尽し、同業他社に身売りしたりして、80歳を過ぎてから成功を見届けた。

非在来型天然ガスの賦存状況

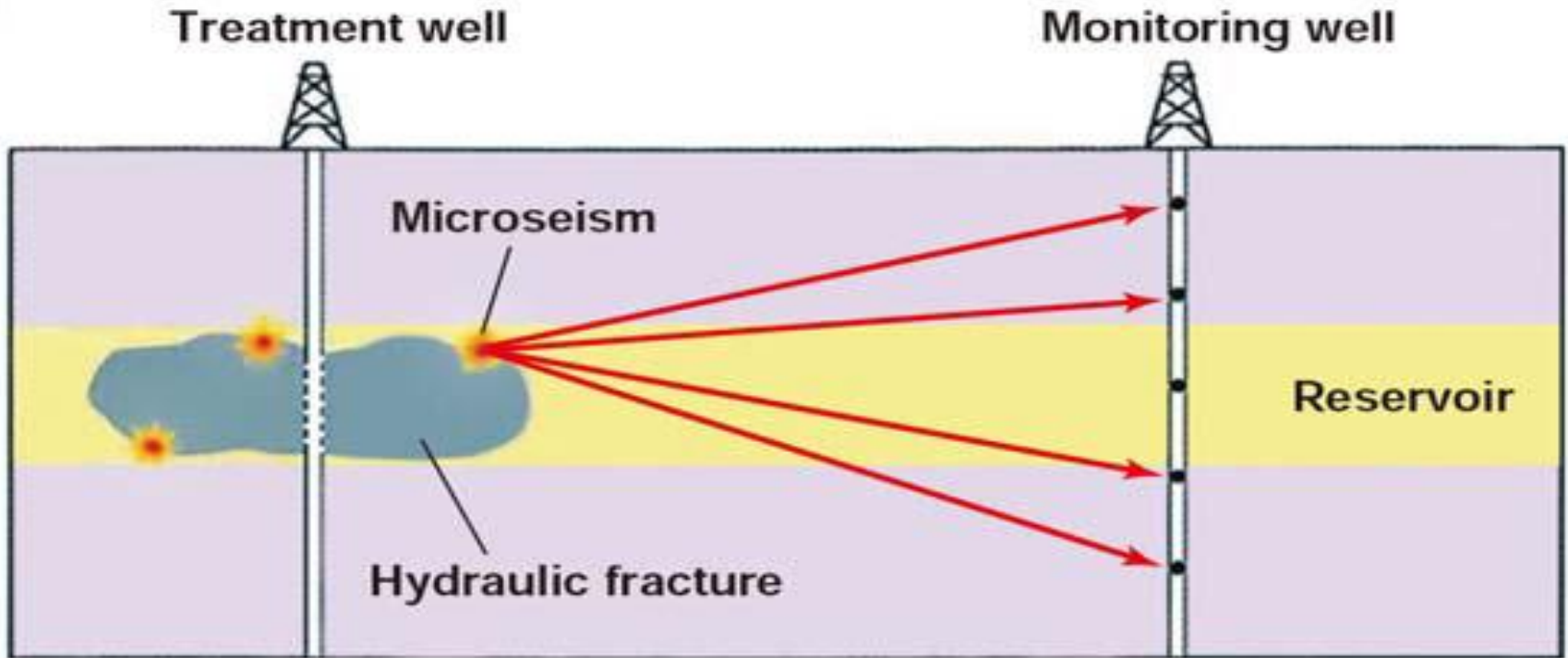


水平坑井と水圧破砕のイメージ図



- ・①水圧破砕技術(フラッキング)は、その後、②水平掘削技術や、井戸周りの③地震探査診断技術(マイクロサイスミックモニタリング)と結びつき、数千メートル地下のシェール層からガスや軽質原油の大増産が可能となった。
- ・この3つの技術が結びついて、シェールガス革命が起こった。

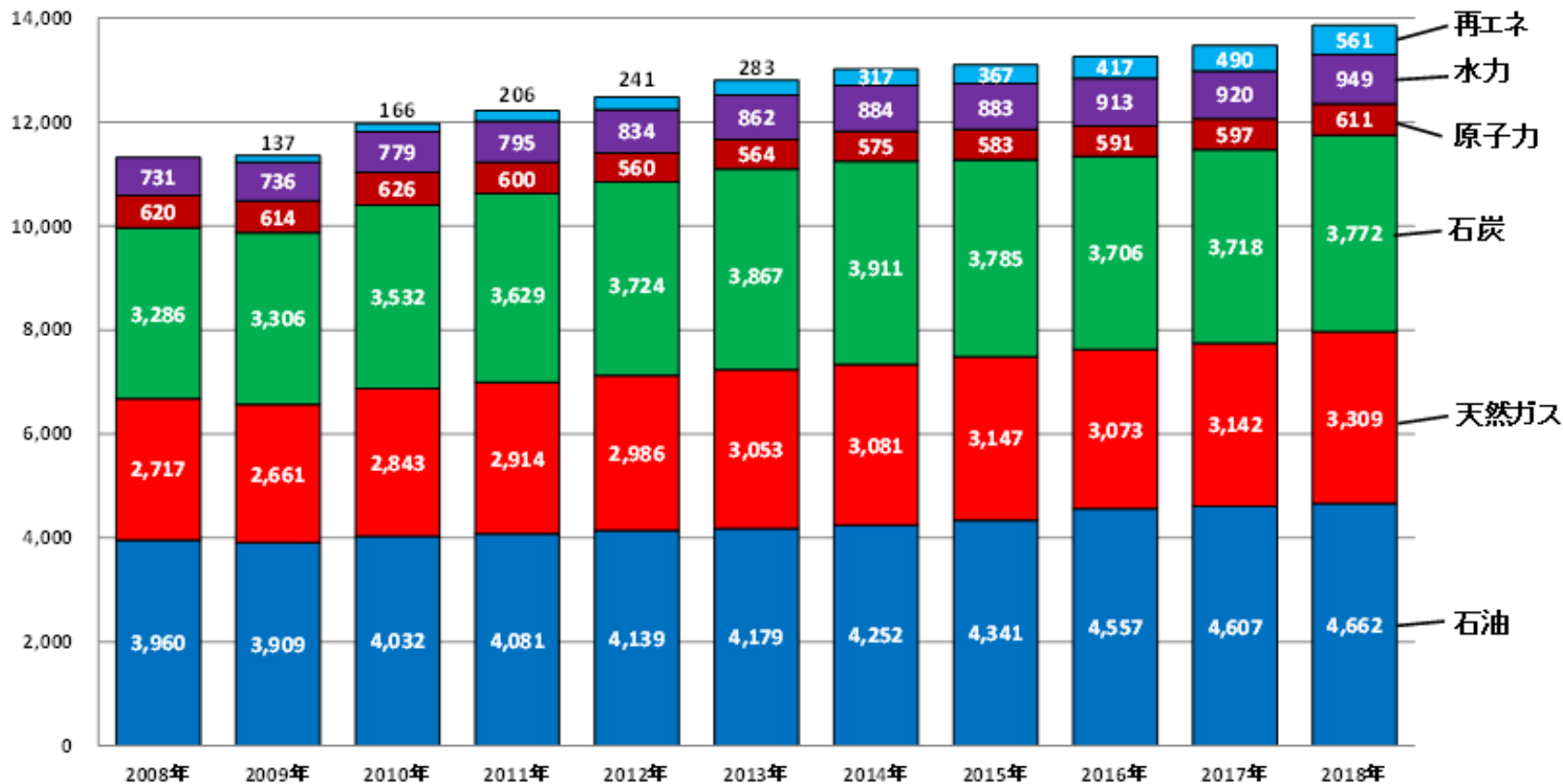
マイクロサイスミック技術



- ・マイクロサイスミックから出る地震波を観測井でモニタリングする。
- ・微小地震、マイクロサイスムを観測し、水圧破砕でできた割れ目を評価する。

世界の燃料別一次エネルギー消費量の推移

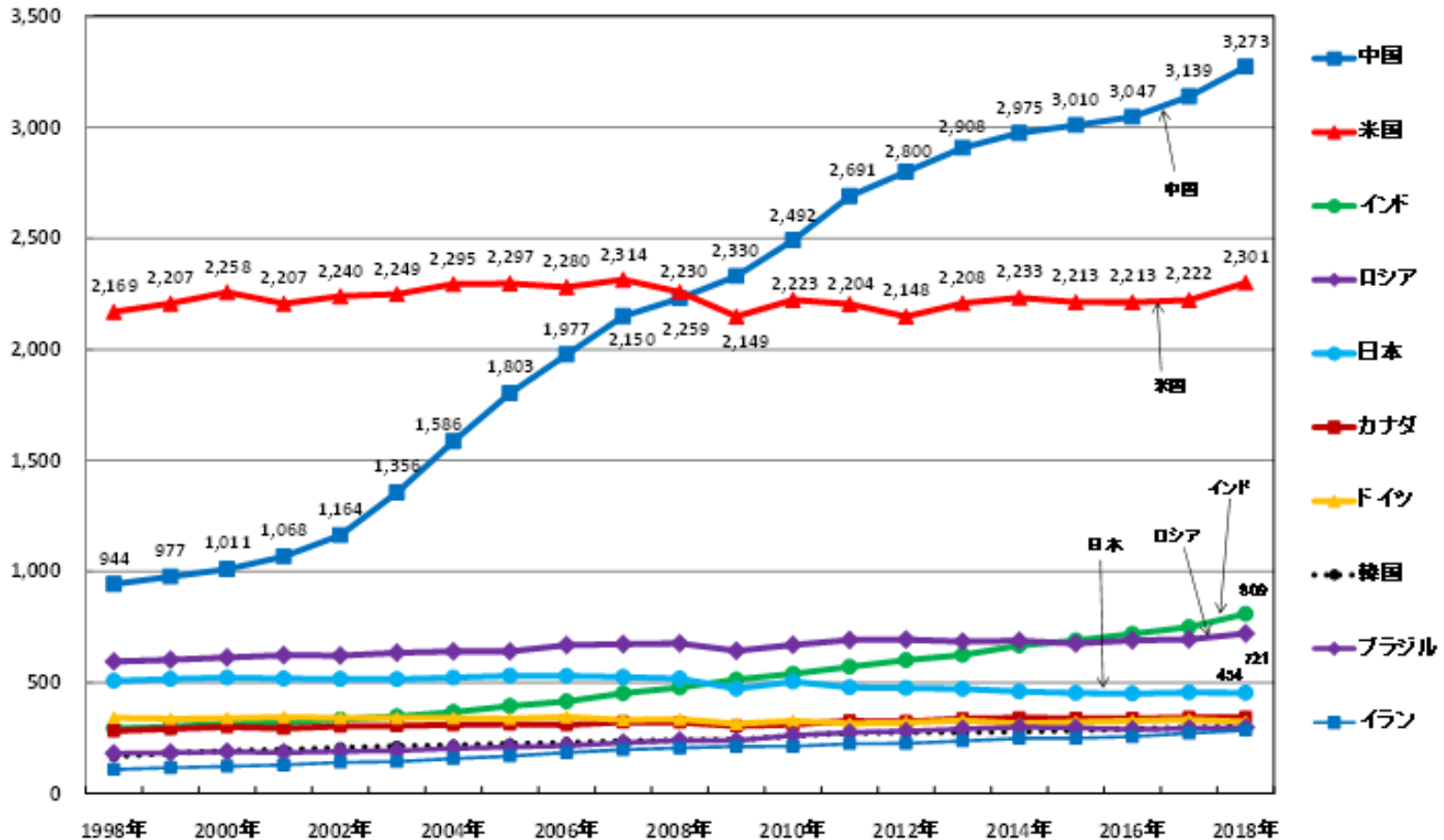
(単位：石油換算100万t/年)



・2018年の世界の一次エネルギー消費量は138億6千万トンで、前年比2.9%増だった。2018年の燃料別内訳では、石油34%、天然ガス24%、石炭27%、原子力4%、水力7%、再生可能エネルギー4%となっている。

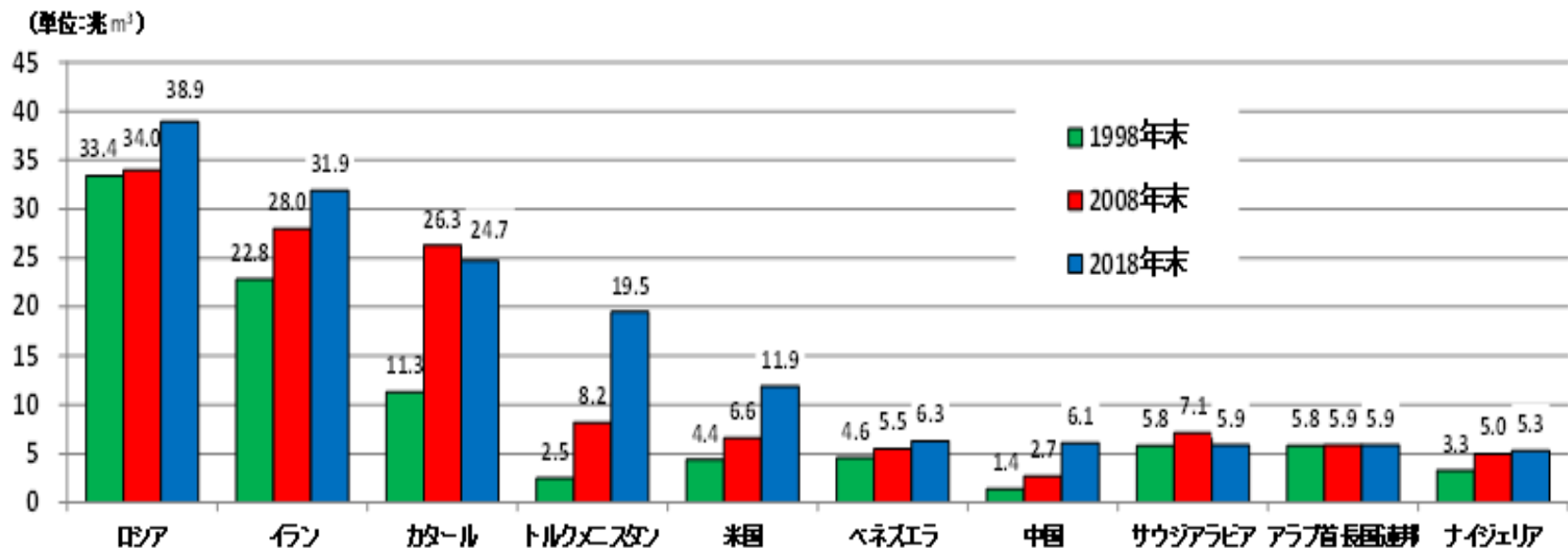
どのような国が大量のエネルギー消費をしているか？

(単位: 石油換算100万バレル)



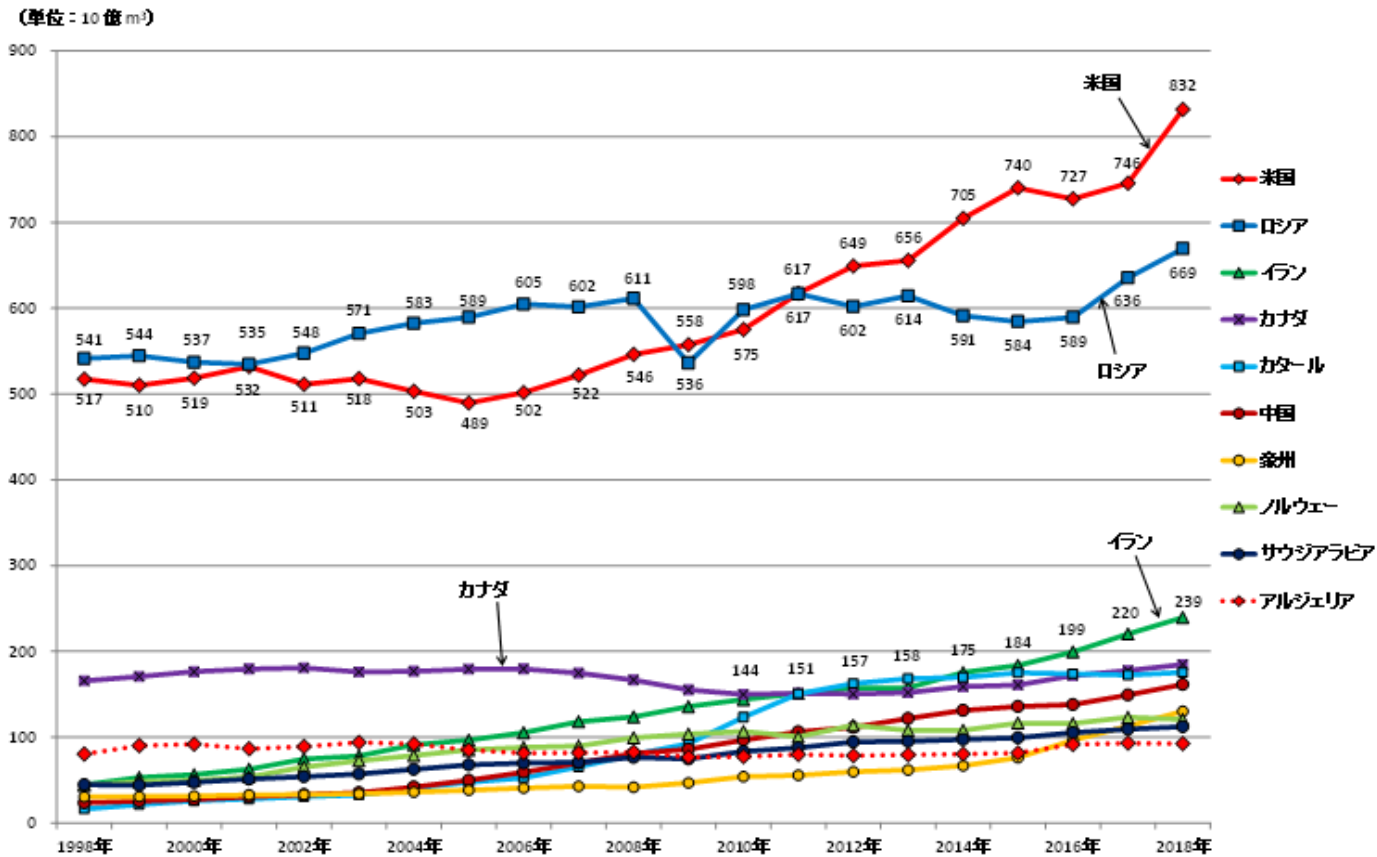
- ・世界第1位は中国、第2位は米国で、両国が他国を大きく引き離している。
- ・2009年に中国は米国を抜いて、世界第1位のエネルギー消費国となった。
- ・2015年にインドがロシアを抜いて、世界第3位のエネルギー消費国となった。

天然ガス確認埋蔵量上位10か国



- ・2018年の国別の天然ガス確認埋蔵量の上位は、イランおよびカタールの中東地域と、ロシアおよびトルクメニスタンのCIS地域の国々である。
- ・米国の埋蔵量は1998年に4.4兆m³で世界第7位であったが、2018年に11.9兆m³となり第5位となっている。
- ・現在、世界最大のLNG輸出国であるカタールは、上位国の中で唯一埋蔵量を減らしている。

天然ガス生産量上位10か国

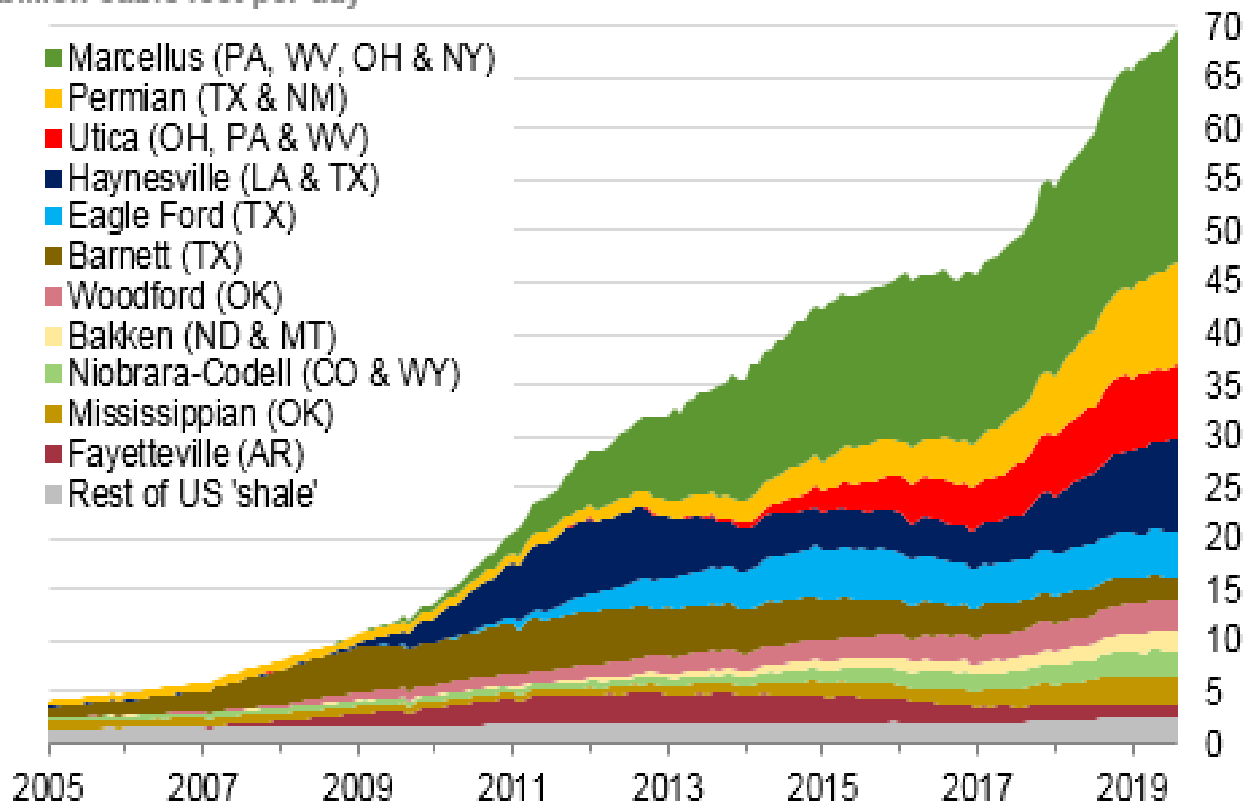


- ・2018年における世界の天然ガス生産国は第1位が米国で、第2位がロシアである。
- ・2008年まではロシアが世界一の生産量を誇っていたが、2009年からはシェールガスの増産を受け、米国が世界一の生産国となった。

米国のシェールガス生産量の推移

Monthly dry shale gas production

billion cubic feet per day



Sources: EIA derived from state administrative data collected by DrillingInfo Inc. Data are through August 2019 and represent EIA's official tight gas estimates, but are not survey data. State abbreviations indicate primary state(s).

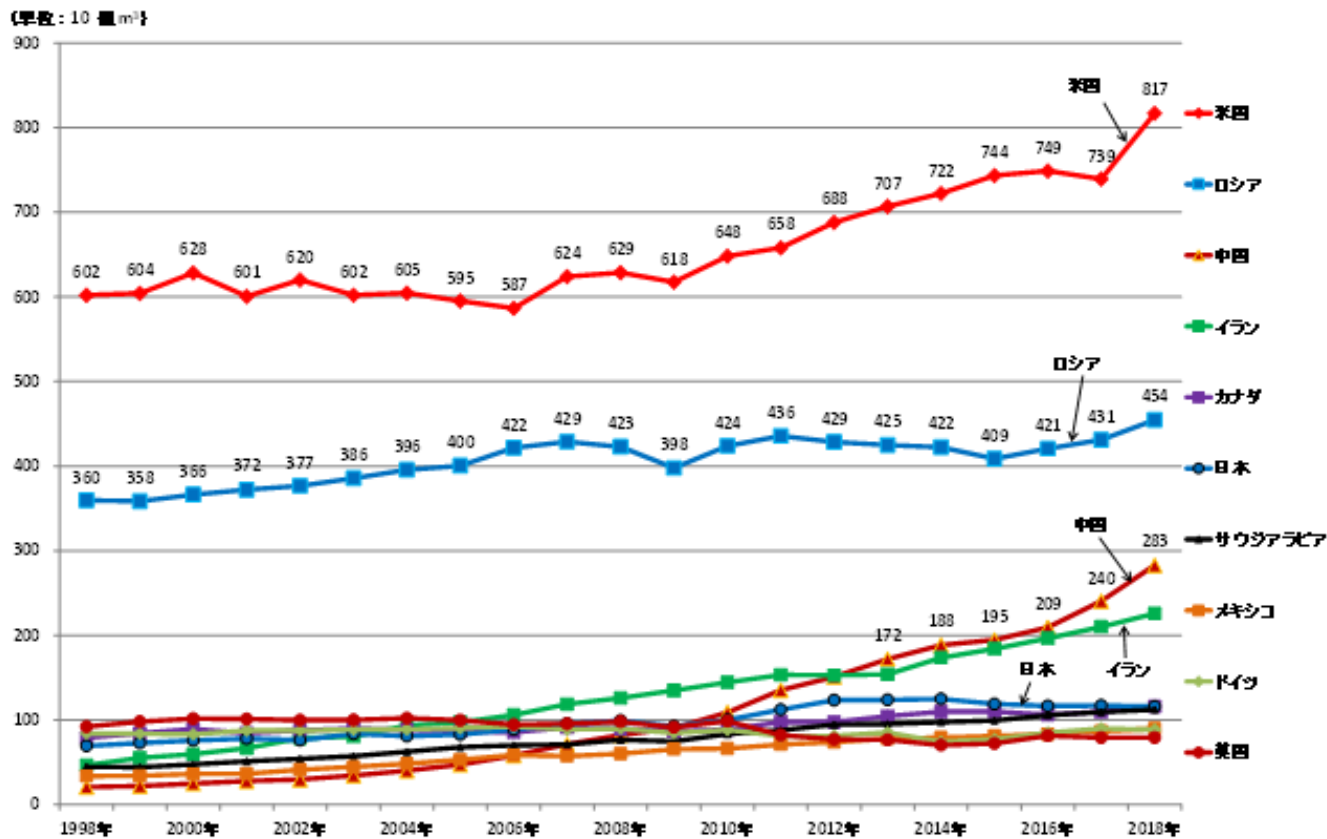


・2030年までにシェールガスは米国の総ガス生産の46%を占める可能性がある。

・マーセラス・ガス田が最大のシェールガス生産ソースとなる。

・ファイエットビル、イーグルフォードのシェールガス増産も重要な役割を果たすと思われる。

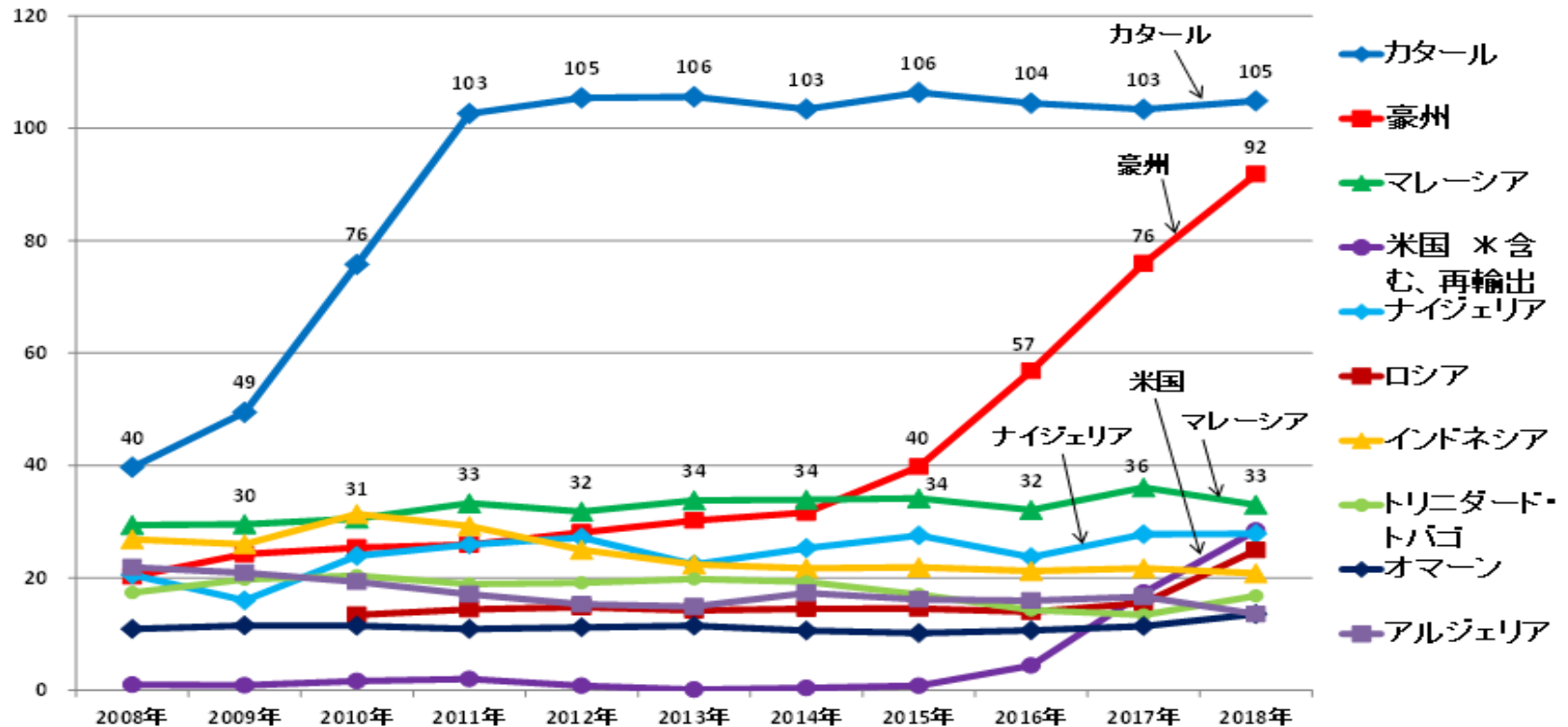
天然ガス消費量上位10か国



- ・2018年における世界の天然ガス消費国は、天然ガス生産量の順位と同様、第1位が米国で、第2位がロシアである。
- ・米国は2016年からLNG輸出を開始したが、本格的にプロジェクトの稼働が始まった2018年の対前年増加率は10.5%を記録した。

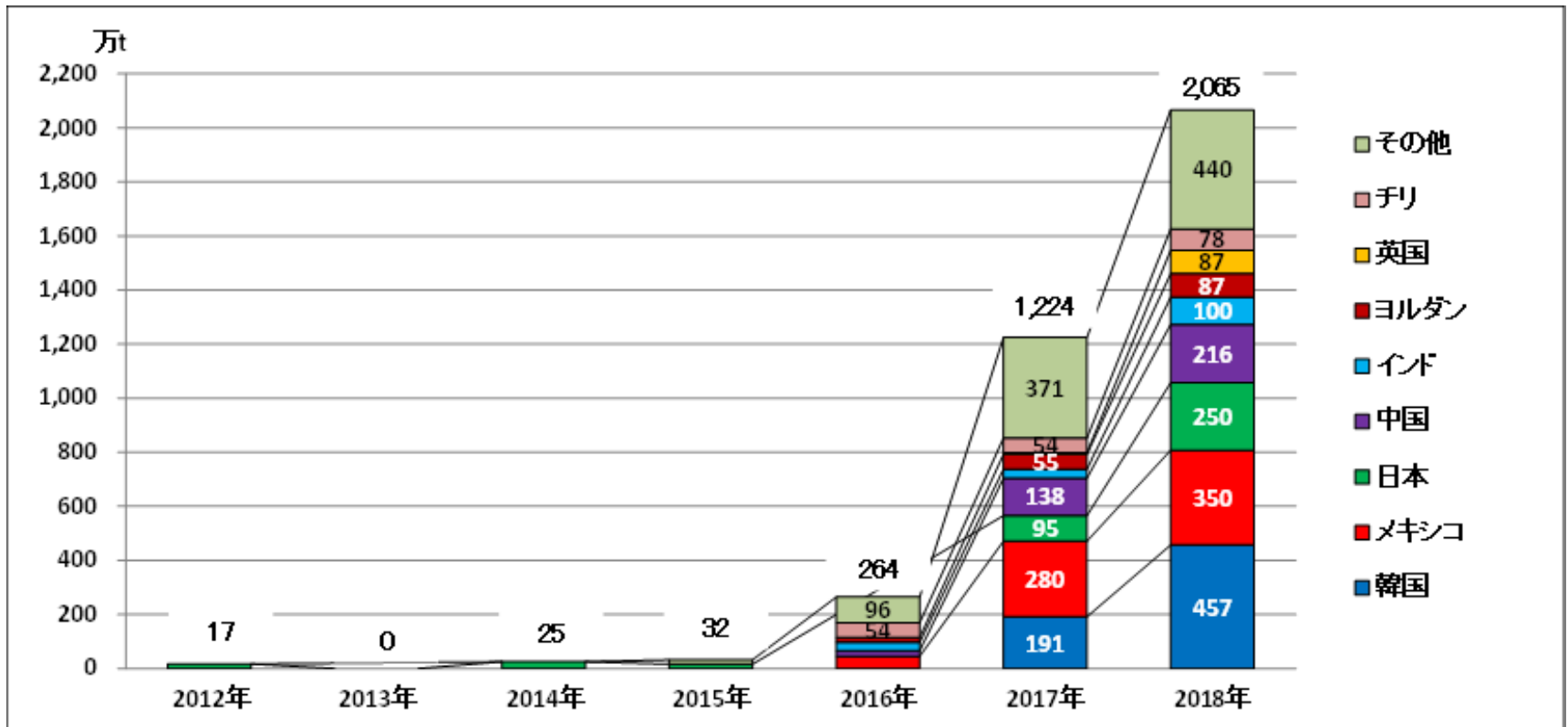
天然ガスLNG輸出量上位10か国

(単位：10 億 m³)



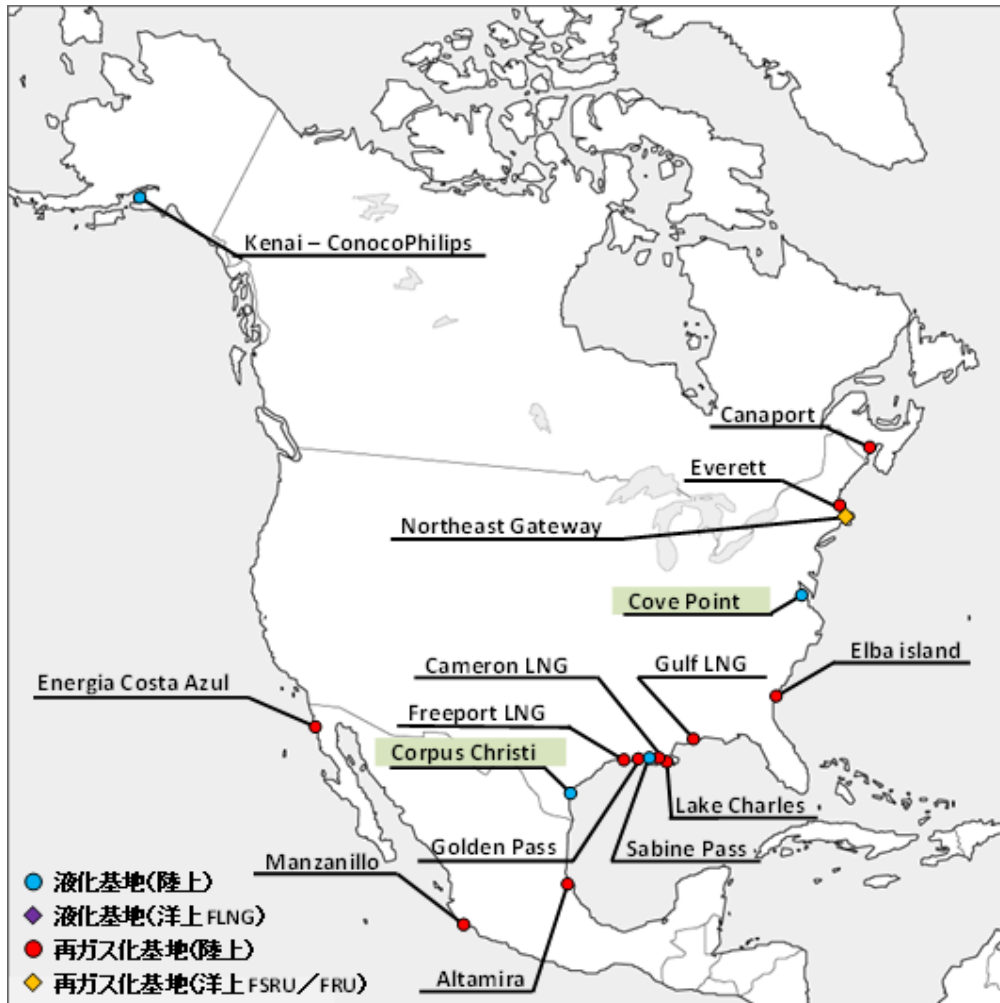
- ・世界のLNG輸出国の上位3か国は、カタール、豪州、マレーシアである。
- ・2018年における米国のLNG輸出量順位は、ナイジェリアを抜いて第4位に成長した。近い将来、マレーシアを抜いてベストスリー入りは確実視されている。
- ・ロシアも北極圏内の天然ガス開発を推進しており、LNG貿易における米露競争の様相を呈してきている。

米国のLNG輸出量の推移



- ・米国のシェールガスを供給源とするLNG輸出は、2016年に開始された。
- ・その輸出量は、2016年264万t、2017年1,224万t、2018年2,065万tと破竹の勢いで伸びている。
- ・近い将来、米国はカタール、豪州と並んで世界3大LNG輸出国になる可能性大である。

北米のLNG液化基地と受入基地



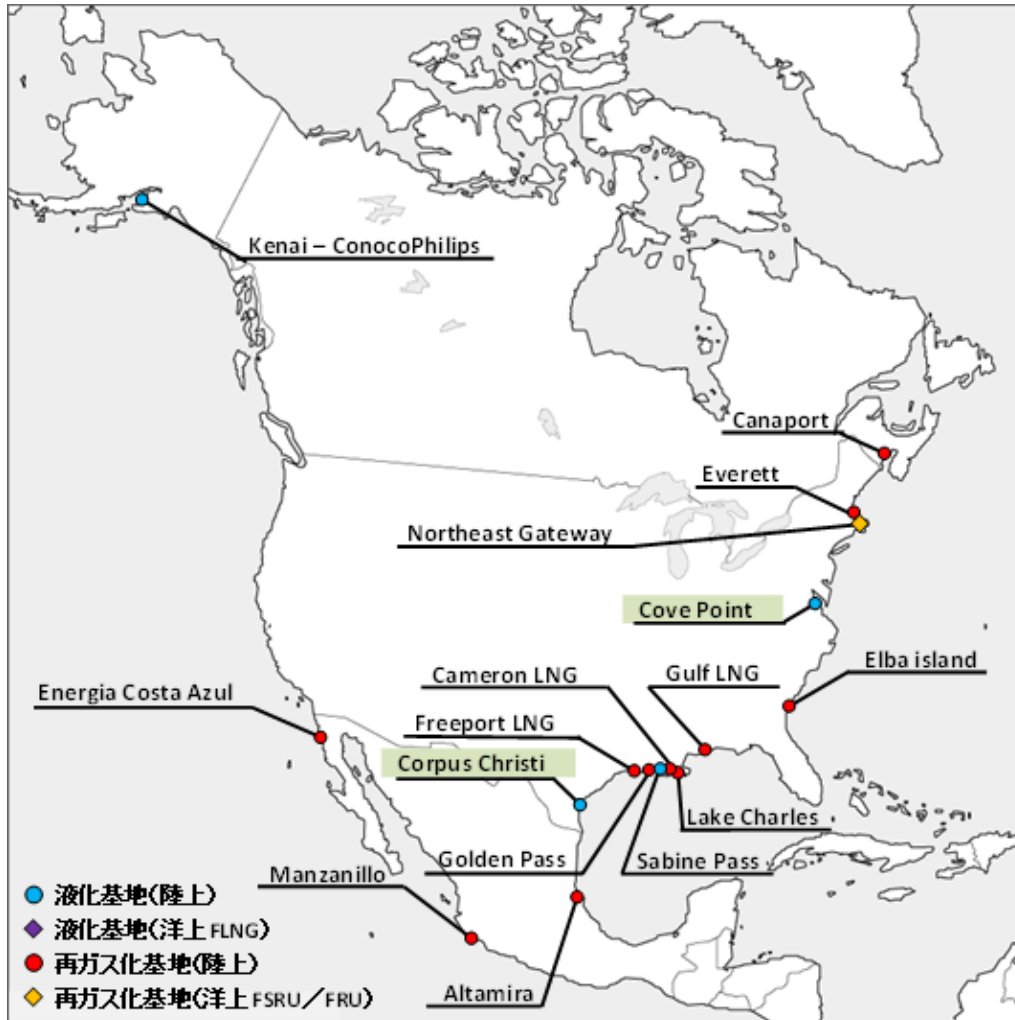
・シェールガス革命が顕在化するまでは(2008年以前)、北東部で盛んにLNGの輸入が行われてきた。

・2008年を過ぎるとシェールガスの生産が増加し、LNG需要が減少するようになったLNG受入基地は、閑古鳥が鳴くようになった。

・シェールガス生産者たちは、余剰となった天然ガスの販売先を求めて、既存のLNG受入基地を輸出基地に転用するプロジェクトが推進された。

・シェールガスを供給源としたLNG液化プロジェクトは次頁の通り。

米国のLNG液化基地・受入基地



＜米国の液化基地＞

- ①サビーンパスLNG
- ②コーパスクリスティLNG
- ③コーブポイントLNG
- ④フリーポートLNG
- ⑤キャメロンLNG
- ⑥エルバアイランドLNG
- ⑦ゴールデンプラスLNG

のプロジェクトが現在稼働中および建設中である。

カナダおよびメキシコもLNG輸出プロジェクトを計画・建設中である。

米国のLNG液化基地の概要（稼働中）

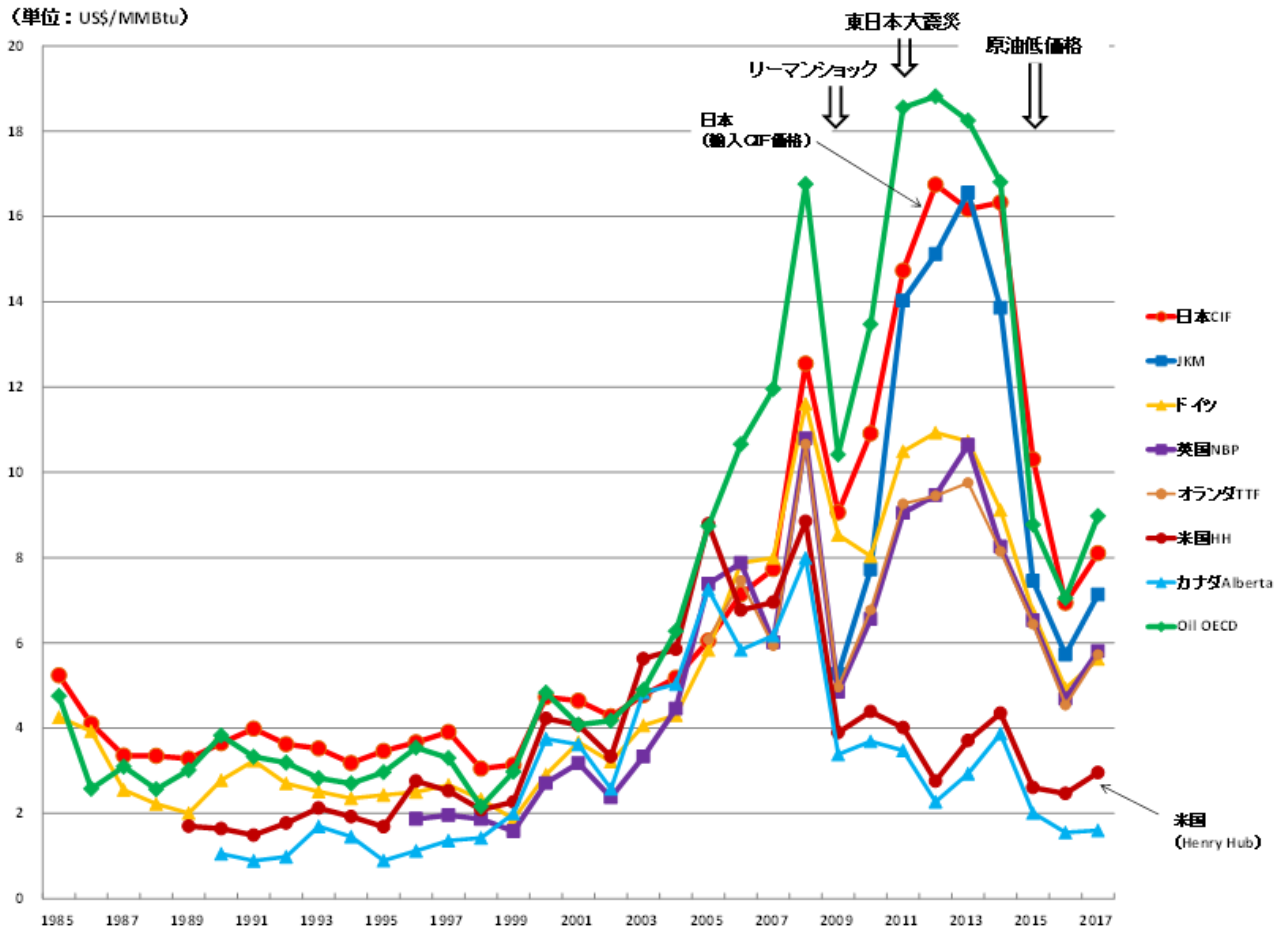
液化基地	稼働開始年	生産能力 (万t/年)	所有者	液化方式	買主	年間契約量 (万t/年)
Kenai LNG	1969年	—	Andeavor	ConocoPhillips Optimized Cascade	2018年1月、Andeavor社がConocoPhillips社がキナイLNG基地を取得。しかし、同基地からは2015年以來一度も輸出されていない。今後輸出されるかは不明。	
Sabine Pass LNG T1	2016年	450	Cheniere Blackstone	ConocoPhillips Optimized Cascade	Cheniere Marketing Gas Natural Fenosa Kogas Shell	同基地からの余剰分 350
Sabine Pass LNG T2	2016年	450				
Sabine Pass LNG T3	2017年	450				
Sabine Pass LNG T4	2017年	450				
Sabine Pass LNG T5	2019年	450			Total	200
Cove Point LNG	2018年	525	Dominion	AP-C3MR/SplitMR	東京ガス 住友商事 GAIL	140 90 230
Corpus Christi LNG T1	2019年	450	Cheniere	—	エンデサ イベルドロラ プルタミナ	225 76 152
合計	—	3,225	—	—	—	—

米国の液化基地の概要（建設中）

プロジェクト名	稼働開始年	生産能力 (万t/年)	所有者	備考
Elba Island LNG T1-6	2019年	250 (25万t/年 × 10基)	Kinder Morgan EIG Global Energy Partners	稼働開始は2019年第1四半期
Cameron LNG T1	2019年	400	Sempra 三菱商事/日本郵船JV 三井物産 ENGIE	2014年8月FID、2019年内に稼働開始
Freeport LNG T1	2019年	510	Freeport LNG JERA 大阪ガス	2019年第3四半期稼働開始予定
Cameron LNG T2	2019年	400	Sempra 三菱商事/日本郵船JV 三井物産 ENGIE	2014年8月FID、2019年内に稼働開始
Elba Island LNG T7-10	2019年	250 (25万t/年 × 10基)	Kinder Morgan EIG Global Energy Partners	第1基目の稼働開始は2019年前半
Corpus Christi LNG T2	2019年	450	Cheniere	2019年後期稼働開始予定
Freeport LNG T2	2020年	510	Freeport LNG IFM Investors	2020年第1四半期稼働開始予定
Cameron LNG T3	2019年	400	Sempra 三菱商事/日本郵船JV 三井物産 ENGIE	2014年8月FID、CameronT1,T2と同様に、2019年内に稼働開始予定
Freeport LNG T3	2020年	510	Freeport LNG	2020年第2四半期稼働開始
Corpus Christi LNG T3	2021年	450	Cheniere	2018年5月、FID取得。2021年後半稼働予定
Golden Pass LNG T1	2024年	520	ExxonMobil Qatar Petroleum	2019年2月、FID下る
Golden Pass LNG T2	2024年	520	ExxonMobil Qatar Petroleum	2019年2月、FID下る
Golden Pass LNG T3	2025年	520	ExxonMobil Qatar Petroleum	2019年2月、FID下る
合計	—	5,690	—	—

- ・米国の建設中のLNG液化基地が稼働を開始すると、その生産量は2025年までに5,650万tが新たに追加される。
- ・現在稼働中のLNG生産能力は2,225万tなので、米国は2025年までに年間7,875万tの生産能力を持つこととなる。
- ・因みに世界一のLNG生産量を誇るカタールの2018年の生産実績は7,679万t、第2位の豪州は6,666万tなので、米国は近い将来、世界最大のLNG輸出国の一翼を担うことは必至である。

主要天然ガス価格の推移



・ヘンリーハブ価格は米国の天然ガスの主要価格と見なされている。

・北米の天然ガス価格はシェールガスの生産量の増大によって需給が緩和したため、ヘンリーハブ価格は2009年に3.9\$/MMBtuに下落した。

・その後は変動を切り返しながら2018年には2.96\$/MMBtuとなった。

米国のヘンリーハブ価格

Natural gas spot prices (Henry Hub)

dollars per million British thermal units

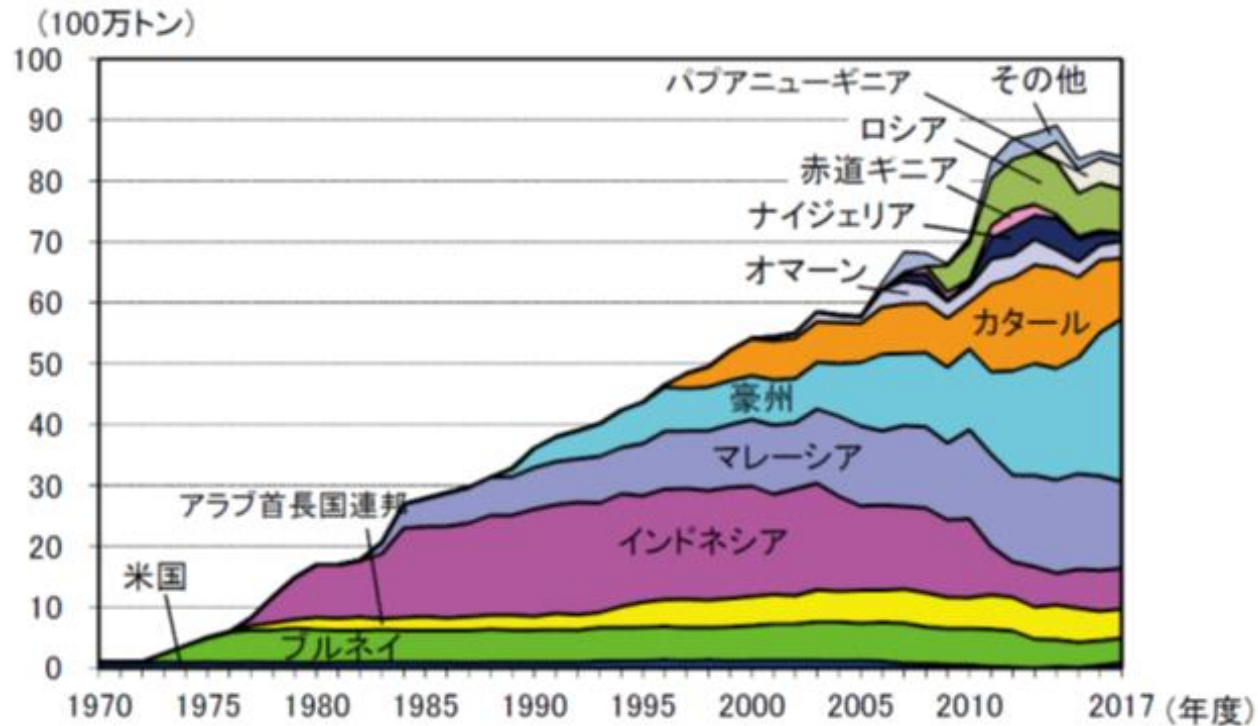


- ・ヘンリーハブ価格とは、米国の天然ガスの指標価格の1つである。
- ・ヘンリーとはルイジアナ州にある天然ガス集積地(ハブ)の地名に由来する。
- ・ニューヨーク・マーカンタイル取引所(NYMEX)に上場する天然ガスの先物取引の指標になっている。
- ・左図が示す通り、シェールガス革命の影響で、天然ガス価格は2~4\$/MMBuの幅で安定している。



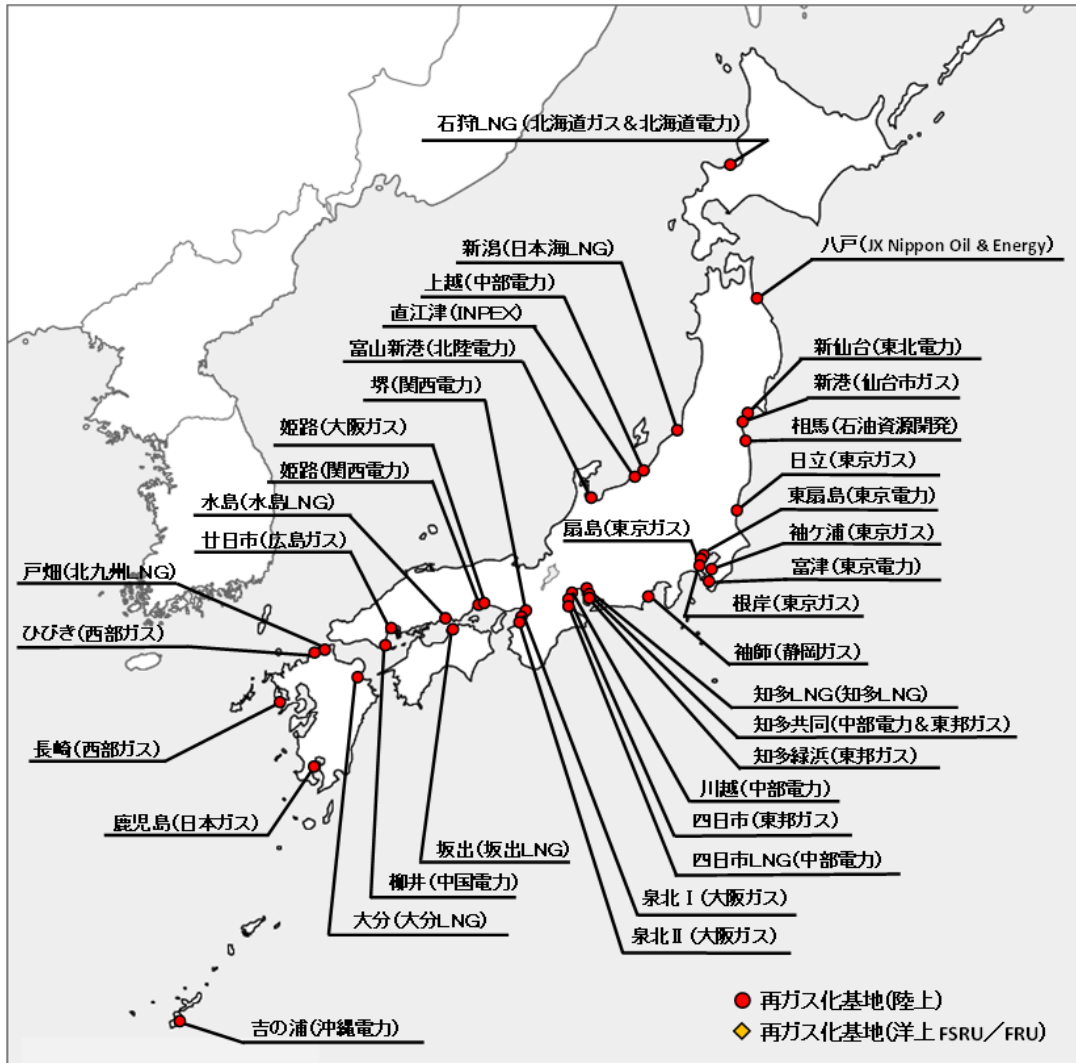
Source: Natural Gas Intelligence

日本の国別LNG輸入量の推移



- ・日本のLNG輸入国は、2010年頃まではインドネシア、マレーシア、ブルネイなど東南アジア諸国の比率が高かった。
- ・2010年以降はカタール、豪州の比率が高まってくるとともに、オマーン、ナイジェリア、赤道ギニア等、中東、アフリカ地域の輸出国が増えて来た。
- ・2017年以降は米国がシェールガス由来のLNG輸出を本格的に開始した。

日本のLNG受入基地



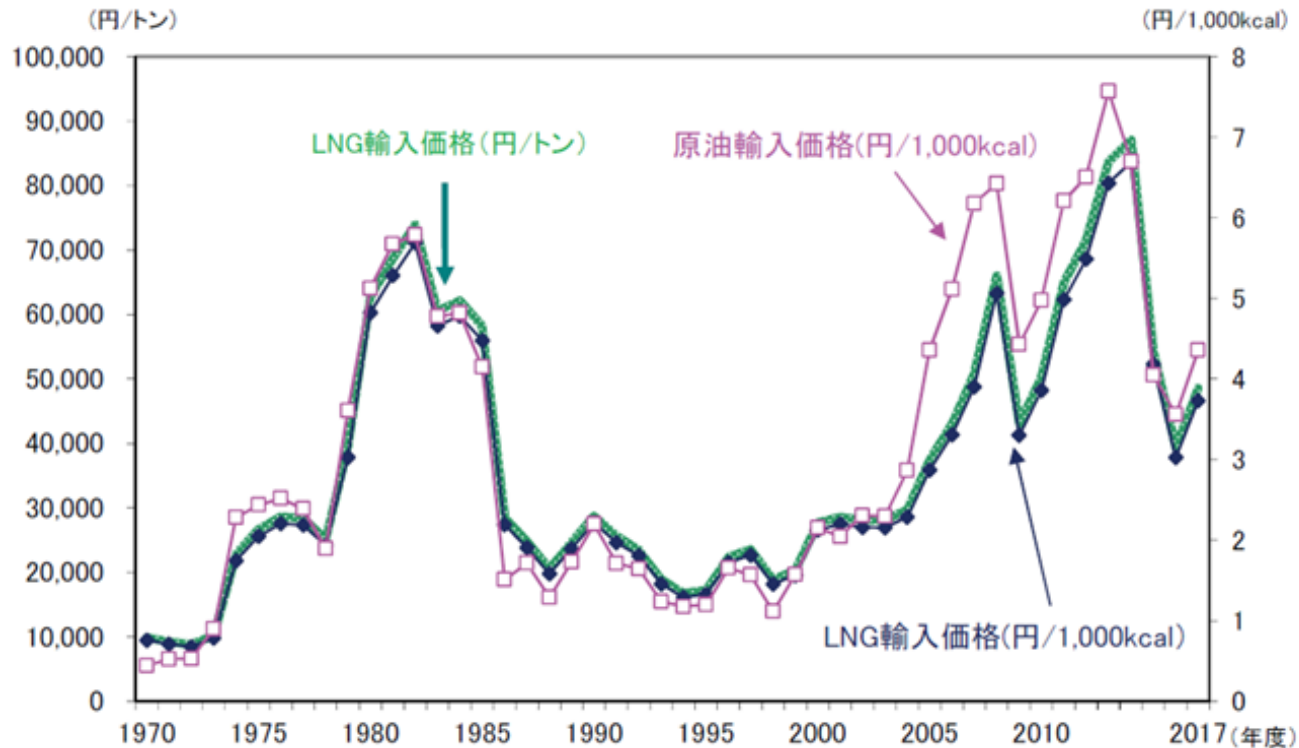
・現時点で日本のLNG受入基地は36箇所が稼働している。

・2018年に新規稼働を開始したのは、石油資源開発(株)の相馬LNG基地と、北陸電力の富山新港LNG基地の2箇所だった。

・今後の新規LNG基地として、東北電力の上越火力発電所、関西電力の和歌山発電所、住友共同火力の新居浜北火力発電所が建設中または計画中である。

・内航船によるLNG2次基地供給は7件が稼働中である。

日本のLNG輸入価格の推移



- ・日本のLNG輸入は、これまで長年にわたり長期契約に基づく石油価格に連動した価格体系で取引されてきた。
- ・従って、LNG輸入価格(黒のライン)は、原油輸入価格(赤のライン)の変動に対して、後を追うように変動している。

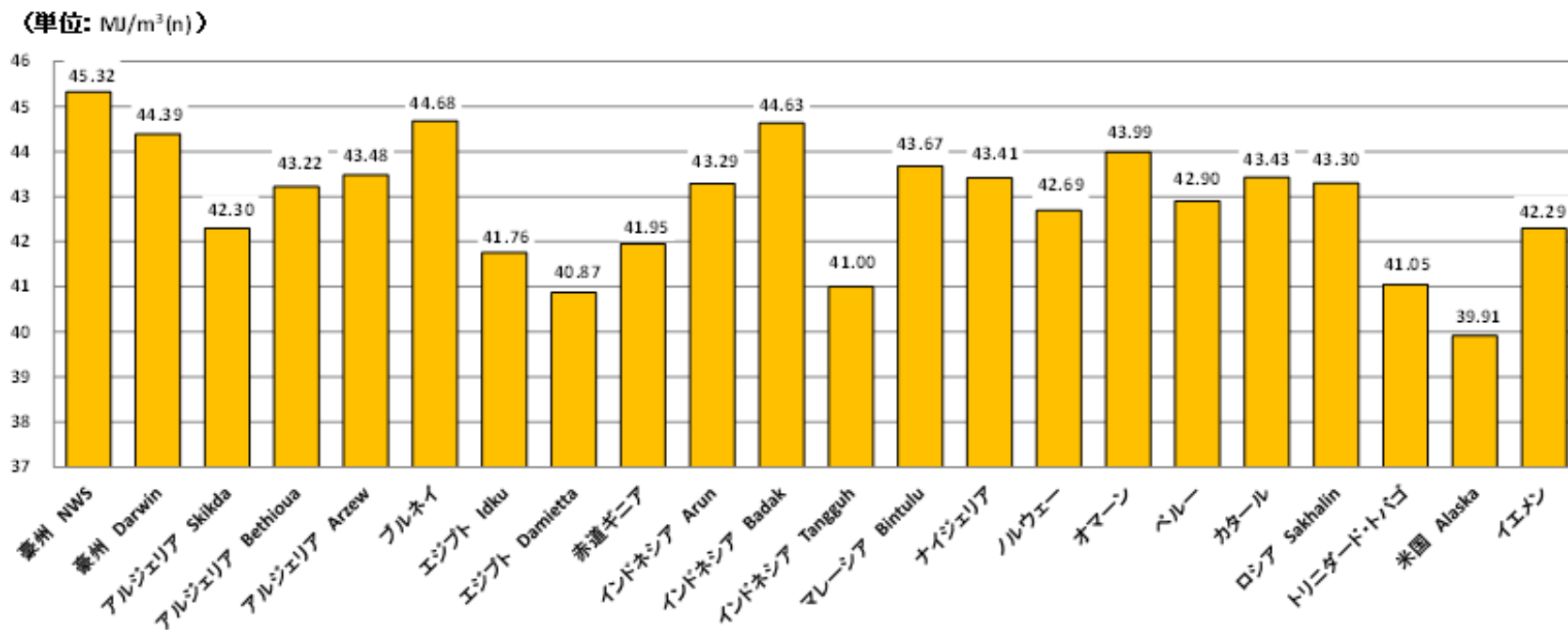
米国産LNGは本当に安いのか？

¥/US\$	116.45	113.42	113.77	110.94	111.52	110.88	112.41	110.78	109.48	112.40	113.53	112.43	
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計 / 平均
ノルウェー	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.57	10.57
エジプト	-	-	10.81	-	-	-	-	-	-	10.28	-	-	10.56
米国	10.43	11.68	10.52	12.72	10.23	10.16	10.56	10.26	10.34	9.77	10.34	10.87	10.52
バハマニューギニア	9.23	9.02	9.48	-	9.23	9.83	10.29	10.82	10.67	12.25	11.88	11.83	10.46
アラブ首長国連邦	8.47	9.15	9.63	9.85	10.38	10.32	10.21	10.84	11.53	11.77	11.77	11.61	10.43
シンガポール	-	10.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.32
トリニダード・トバゴ	10.61	-	9.93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.27
オランダ	-	10.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.25
フランス	-	-	-	-	-	-	8.83	9.82	-	11.07	-	11.27	10.24
豪州	8.64	9.17	9.39	9.68	9.98	9.94	9.98	10.19	11.00	11.18	11.28	11.46	10.16
ブルネイ	8.65	9.27	9.67	10.03	10.16	10.07	10.18	10.52	10.62	11.07	10.39	10.68	10.06
インドネシア	8.57	9.34	9.89	9.76	9.82	9.68	10.40	9.90	12.03	10.99	11.38	11.29	9.99
カタール	8.36	9.16	9.32	9.47	9.65	10.02	10.14	10.32	10.85	11.01	11.14	11.32	9.99
ペルー	10.72	9.13	9.13	8.77	9.29	-	10.49	-	-	-	-	-	9.71
アンゴラ	-	-	-	9.99	8.07	-	10.81	-	9.43	-	-	-	9.57
マレーシア	8.55	8.76	9.48	9.39	8.99	9.03	9.25	9.73	9.93	10.02	10.35	10.41	9.40
ロシア	8.05	8.28	8.88	8.58	9.09	9.26	8.80	9.68	10.28	10.26	10.84	10.55	9.34
オマーン	8.16	9.62	8.97	9.42	8.58	9.59	8.71	9.21	8.72	9.64	8.48	9.96	9.06
ナイジェリア	9.22	6.65	8.81	9.62	8.61	9.70	8.17	9.50	9.40	11.80	9.24	-	8.96
赤道ギニア	7.62	-	-	7.91	-	-	-	-	-	-	-	-	7.77
平均	8.62	9.07	9.40	9.55	9.63	9.78	9.82	10.14	10.65	10.89	10.97	11.12	9.92

(日本のLNG受入価格(2018年)US\$/MMBtu)

- ・2018年における日本の平均LNG受入価格は、9.92\$/MMBtuだった。
- ・これに対し、シェールガスを主体とする米国産LNG価格は10.52\$/MMBtuだった。
- ・日本にとってみれば、メキシコ湾及び東海岸からパナマ運河を経由しての米国産LNGは、輸送コストが高く、期待通りの安価な価格とはならなかったようだ。

世界の産地別LNG発熱量



- ・天然ガス及びLNGは産地により成分比が異なる。
- ・C1(メタン)の多いガスは軽質ガス(リーンガス)と呼ばれ、発熱量が低い。
- ・C4+の多いガスは重質ガス(リッチガス)と呼ばれ、発熱量が高い。
- ・世界のLNGの発熱量の幅は、米国アラスカ産の39.91MJ/m³から、豪州NWS産の45.32MJ/m³までの幅がある。

熱量バンド制への移行に伴うガス機器への影響

対象機器		普及状況(H28末)	主な影響	想定される対策内容
業務用・工業用	ガスヒートポンプ	12.1万件	不安定な燃焼によるエンジン停止、始動不良等	部品交換・燃焼調整／追加開発／オンサイト熟調
	ガスコージェネレーションシステム	0.8万台	効率の低下、ノッキングの発生、NOxの増加等	部品交換・燃焼調整／追加開発／オンサイト熟調
	天然ガス自動車(充填所)	4.6万台 (270箇所)	要確認	要確認
	工業炉	年平均300件増	効率の低下、吹き消え、炉温の低下等により、製品の品質に問題発生 ガラス製品製造業では製品の加工不良	オンサイト熟調
	ボイラー	年平均400件増	点火不良、効率の低下、NOxの増加、CO濃度の上昇	部品交換・燃焼調整
家庭用	発電併給設備(ガスエンジン式)	14.2万台	発電効率の低下	部品交換・設定変更
	燃料電池	22万台	発電効率の低下、運転停止	設定変更
	旧式ガスコンロ等	—	CO濃度の上昇、効率の低下等	部品交換・設定変更

- ・熱量に変動幅や変動速度が変わると、ガス機器の出力低下や運転不良、NOx排出量の増加等が生じる。その影響を低減、回避するためには、部品交換、設定変更、追加開発等が求められる。

熱量バンド制のメリット

	選択肢例	バンド幅	変動幅	メリット			
				(1)LPG添加のコスト削減	(2)競争の活性化	(3)ガス機器の国際競争力	(4)LNG調達の安定性向上
①	標準熱量制	約44MJ/m ³	—	○			
②	熱量バンド制	44～46MJ/m ³	±2%	○	○	○	○
③	熱量バンド制	43～45MJ/m ³	±2%	○(②より大)	○	○	○(②より大)
④	熱量バンド制	42～46MJ/m ³	±4.5%	○(③より大)	○	○	○(③より大)
⑤	熱量バンド制	40～46MJ/m ³	±7%	○(④より大)	○	○	○(④より大)

(1)LPG添加のコスト削減の可能性の有無を示す。

(2)熱量調整設備不要となれば、LNG基地の導管網への接続が容易になり、競争が活性化する。

(3)ガス機器メーカーが国内外別々に開発・製造する必要が無くなれば、国際競争力が増す可能性がある。

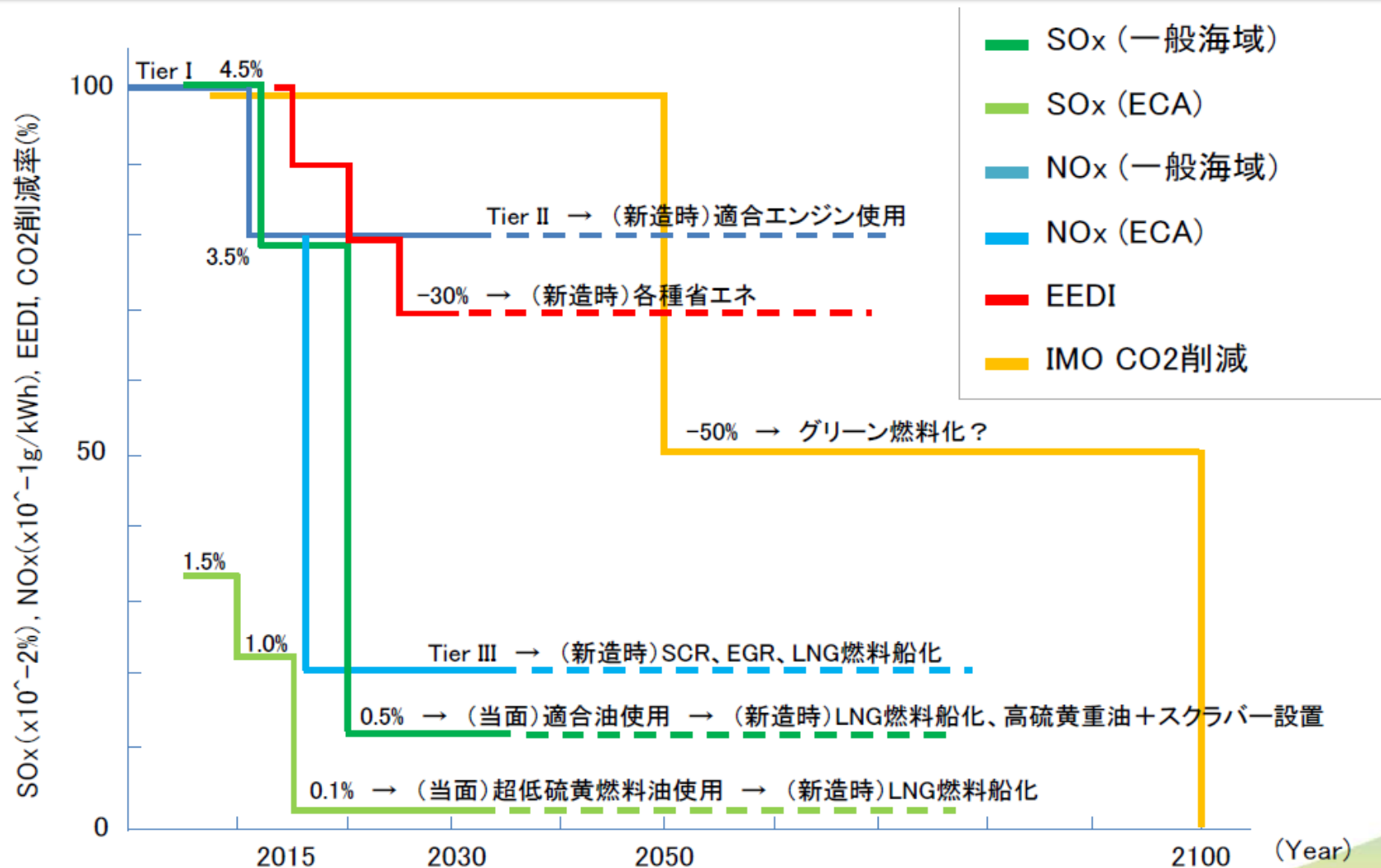
(4)LNG調達の多様化により、費用削減・調達安定性向上の可能性はある。

ECA海域と指定汚染物質



- ・海洋の大気汚染に関する規制は、一般海域およびECA(Emission Control Area)に分けて適用され、各国が一段と厳しい規制を設定できるようになっている。
- ・現在設定されているECAは、4海域(バルト海、北海、米国・カナダ、プエルトリコ・ハワイ)。
- ・中国は独自にECA3海域でSO_x規制を適用している。

環境規制と適用シナリオ



SO_x対策技術

(1)適合油の使用:

2020年時点で既存船においては、「適合油(硫黄分0.5%以下)」の使用が現実的な対応策。具体的には、「超低硫黄燃料油(硫黄分0.1%)」と、従来からの「高硫黄重油(硫黄分3.5%)」とのブレンドで使用される見通し。

(2)排ガス洗浄装置(スクラバー)の設置:

従来のシステムに排ガス浄化装置を付加し洗浄する装置。高硫黄重油を使用する場合でも、超低硫黄燃料油レベルまでクリーン化できる。

(3)LNG燃料の利用:

燃焼時のSO_x排出量は100%、NO_x排出量は40~80%、CO₂排出量は25%削減できる。

LNG燃料船への転換シナリオ

- 設備費としては、次の順で費用がかかる
LNG燃料船化 > 高硫黄重油+スクラバー > 適合油
- 燃料費としては、次の順で費用がかかる
適合油 > LNG燃料船化 > 高硫黄重油+スクラバー
- 既存船はまず適合油へ移行、その後、中小型船はLNG燃料船化、大型船は高硫黄重油+スクラバーに代替する
- 長期的にはLNG燃料船化のメリットが大きい

日本初のLNG燃料船「魁」



タグボート「魁」の概要

全長	37.20m
全幅	10.20m
型深さ	4.40m
総トン数	272トン
主機	NIIGATA 6L28AHX-DF × 2
船主	日本郵船
船籍	日本郵船
船級	日本海事協会
船種	タグボート
就航日	2015年8月31日

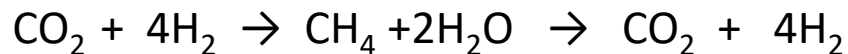
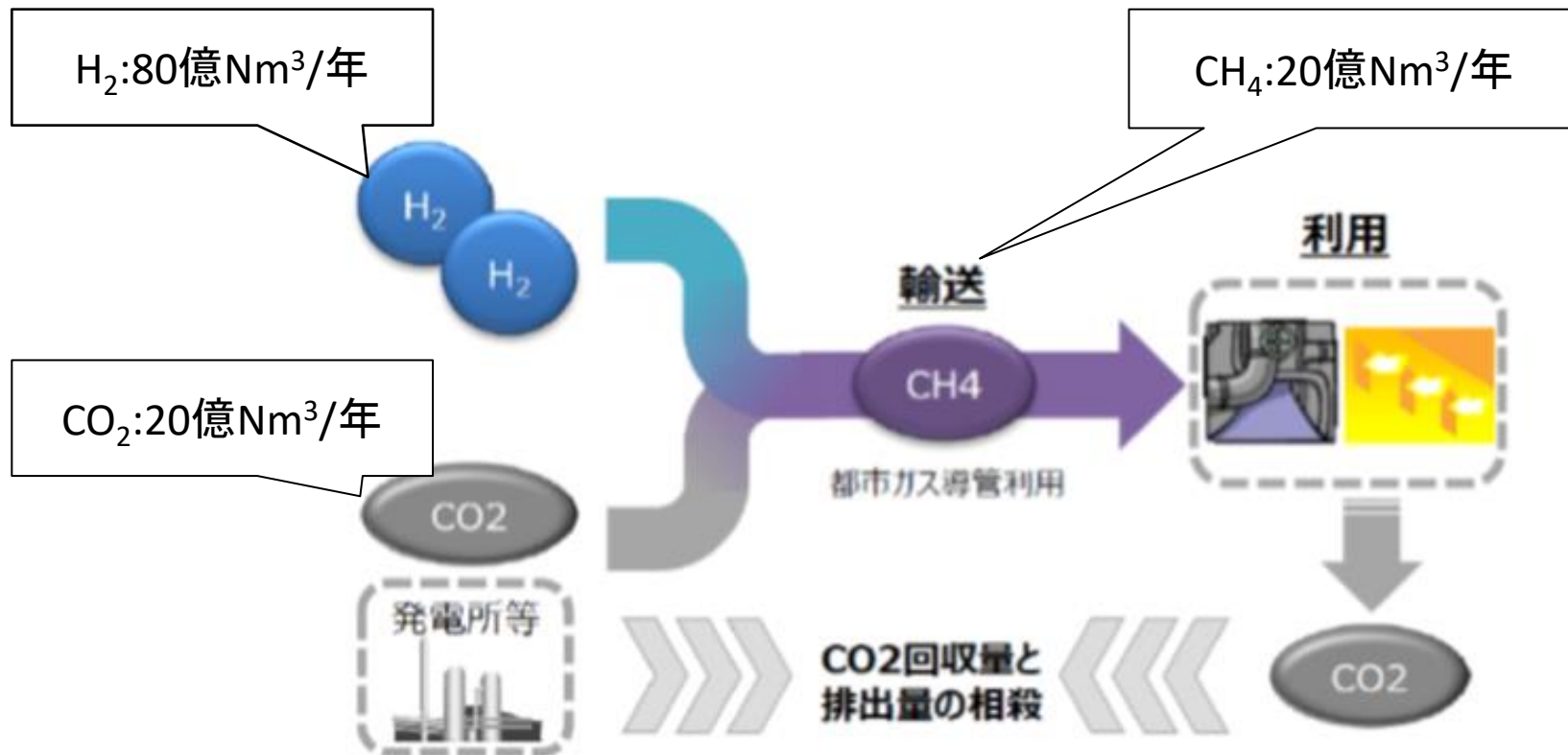
- ・日本のLNG燃料船は、現在東京湾にタグボート1隻、大阪湾にも1隻就航。
- ・2020年秋に大型のLNGタンクを備えた自動車専用船が就航予定。

都市ガスインフラを活用した将来の絵姿



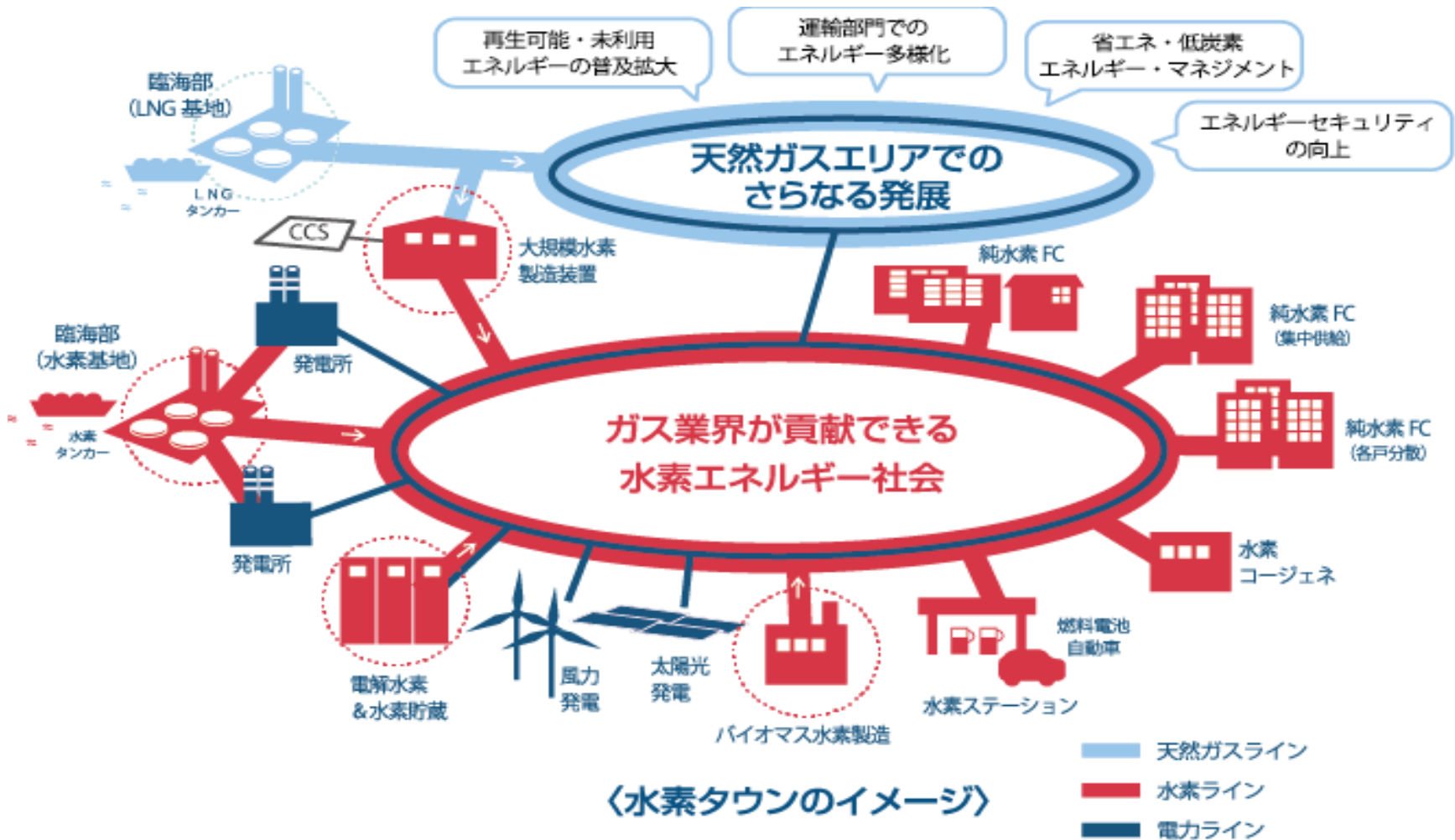
- ・都市部: CO₂フリー水素と回収CO₂より合成したメタンを、都市ガスネットワークとして利活用する。
- ・沿岸部: 輸入水素を大量消費する水素発電所などを起点に、周辺で水素や合成メタンを利活用する。
- ・地域: 合成メタン又は水素を各ローカルネットワーク内で地産地消する。

メタネーション装置における原材料とCH₄製造量



- ・海外の炭化水素資源をメタン化して日本へ海上輸送する。
- ・受け入れたメタンを都市ガス導管により需要地まで輸送し、水素を利用する。

ガス業界が貢献できる水素エネルギー社会



- ・近い将来、水素を主なエネルギー源とした社会の到来が予想されている。
- ・ガス業界は、燃料電池自動車に不可欠な水素ステーションの建設に注目している。

燃料電池自動車の普及に向けた水素ステーション



＜水素ステーション運営に向けた重要な要素＞

- (1)水素ステーションの計画から、設計、施工、運転、保守までの建設費の効果的な実現
- (2)水素供給者、水素機器メーカーとの強固なネットワークの確立
- (3)設計から施工までの一貫したワンストップサービスのための操業後のメンテナンス体制と保守作業員の確保

- ご清聴ありがとうございました。
- なお、使用した図表はお手元の「LNG Outlook 2019〈天然ガス貿易データ総覧〉」から複写したものですので、各図表についての出典は省略しました。
- ご質問の方は、0938midt@jcom.zaq.ne.jp（吉武）までご連絡ください。