特集

日本の燃料を蓄える

国を動かすエネルギーの備蓄戦略

混迷する中東情勢により日本の石油供給が大きな影響を受け、備蓄の重要性が改めて認識されている。
原油輸入の中東依存度が９割以上と、世界でも突出して高い日本。およそ半世紀前に法整備がなされ、並行して列島各地に石油を蓄え、備えるための拠点が整備された。
加えて、液化天然ガス（LNG）も石油や石炭に比して燃焼による環境負荷が小さく、低コストであることから、火力発電を支える燃料として存在感を高めている。
日本は、こうしたエネルギー資源の安定供給システムとこれを裏付ける高度な土木技術の進化をリードしてきた。その実績は世界から注目を集めている。列島を巡る健全な血流を維持するエネルギー備蓄の来し方を辿り、未来を展望する。

より強靱な石油の安定供給を目指して

半世紀にわたる日本の石油備蓄戦略

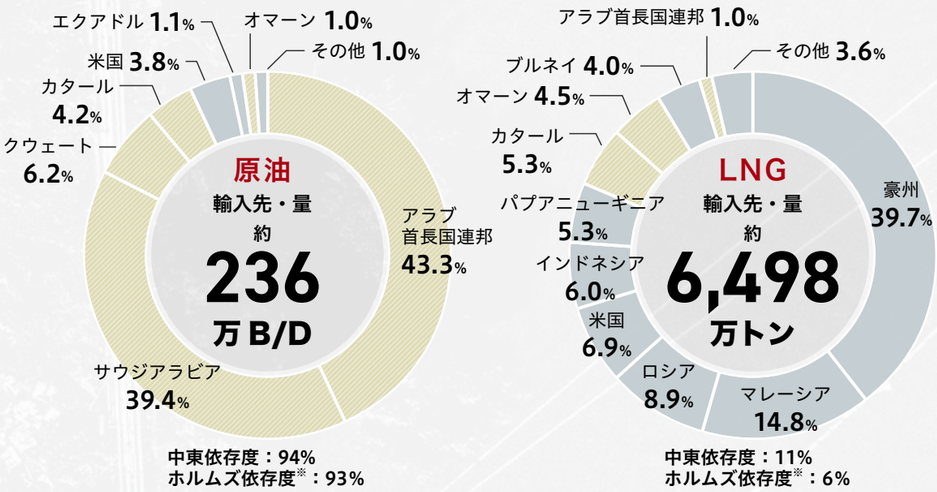
日本のエネルギー政策を下支えする石油備蓄は、一九七〇年代の二度にわたるオイルショックを契機に、制度として確立された。一九七二年に行政指導に基づく民間備蓄が始まり、一九七五年には石油備蓄法が制定、民間備蓄は法的にも義務化される。この法整備によって一九七八年に国家備蓄が開始された。ここにいたる道筋も容易なものではなかった。巨額の予算を投じた、国力の源泉とも言える石油の備蓄は過去に前例のない事業だ。備蓄基地の候補地となった地域でも、景観や安全に関する不安の声が上がることもあった。実現のため、当時の政府と石油公団に加え備蓄会社、そして建設業界をはじめ事業に関連する官民が議論を重ね、力を尽くした経緯がある。

現在、国内の石油備蓄は、国が保有する「国家備蓄」、石油備蓄法に基づき石油精製業者などが義務として保有する「民間備蓄」、そして主要産油国の石油会社に日本国内の原油タンクを貸与して蔵置する「産油国共同備蓄」によって構成され、約二〇〇日分の石油が備蓄されている（十月時点推計値）。

資源エネルギー庁の江藤浩太課長補佐は、激変する世界情勢や経済状況を踏まえ、今こそ備蓄の強靱化が求められていると話す。「日本の石油備蓄法は約五〇年前、世界に先駆けて確立された制度です。半世紀にわたって運用されてきたこの制度によって、今般の中東情勢に迅速に対応できました。各国の先陣を切って備えていた石油を放出し、国内のみならずアジア全体においても石油の安定的な供給を維持できたことは、大きな意味があると言えます」。アジア諸国からは、日本独自の石油備蓄制度に対する関心が高まっているという。各国が連携して石油備蓄の強靱化に取り組む動きも加速している。

日本の化石燃料の輸入量・割合（2025年）

※ホルムズ海峡内に油田を有する国からの輸入の割合



資源エネルギー庁提供資料を基に作成

文：樋田波留基

国家備蓄・民間備蓄・産油国共同備蓄の量的推移



(年度)	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
産油国共同備蓄日数	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
国家備蓄日数	-	-	-	-	-	-	-	7	7	10	17	20	26	31	35	43	48	53	55	54	57	63	69	76	76	78	82	85	84
民間備蓄日数	48	52	56	68	71	85	90	81	88	90	101	93	94	97	92	94	92	94	89	88	80	77	76	81	74	79	80	79	72
合計	48	52	56	68	71	85	90	88	95	100	117	113	120	128	126	138	140	147	144	142	137	140	145	157	150	156	163	163	156

(年度)	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
産油国共同備蓄日数	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	4	4	6	5	6	7	5	7	8	8	6	(日)
国家備蓄日数	85	89	91	88	92	90	95	99	102	115	114	113	102	110	117	122	126	131	132	138	149	146	137	142	147	146	(日)
民間備蓄日数	78	77	78	74	74	78	80	77	81	84	79	84	83	83	80	81	78	79	85	86	88	81	80	85	92	81	(日)
合計	163	166	169	163	166	168	175	177	184	199	193	197	185	193	199	207	208	215	222	229	244	232	224	235	247	233	(日)

※石油備蓄量は年度末実績。国家備蓄、民間備蓄、産油国共同備蓄とも製品換算後ベース。表中の数字は日数（備蓄法基準）。資源エネルギー庁「石油備蓄の現況」を基に作成

供給体制の強靱化を目指す



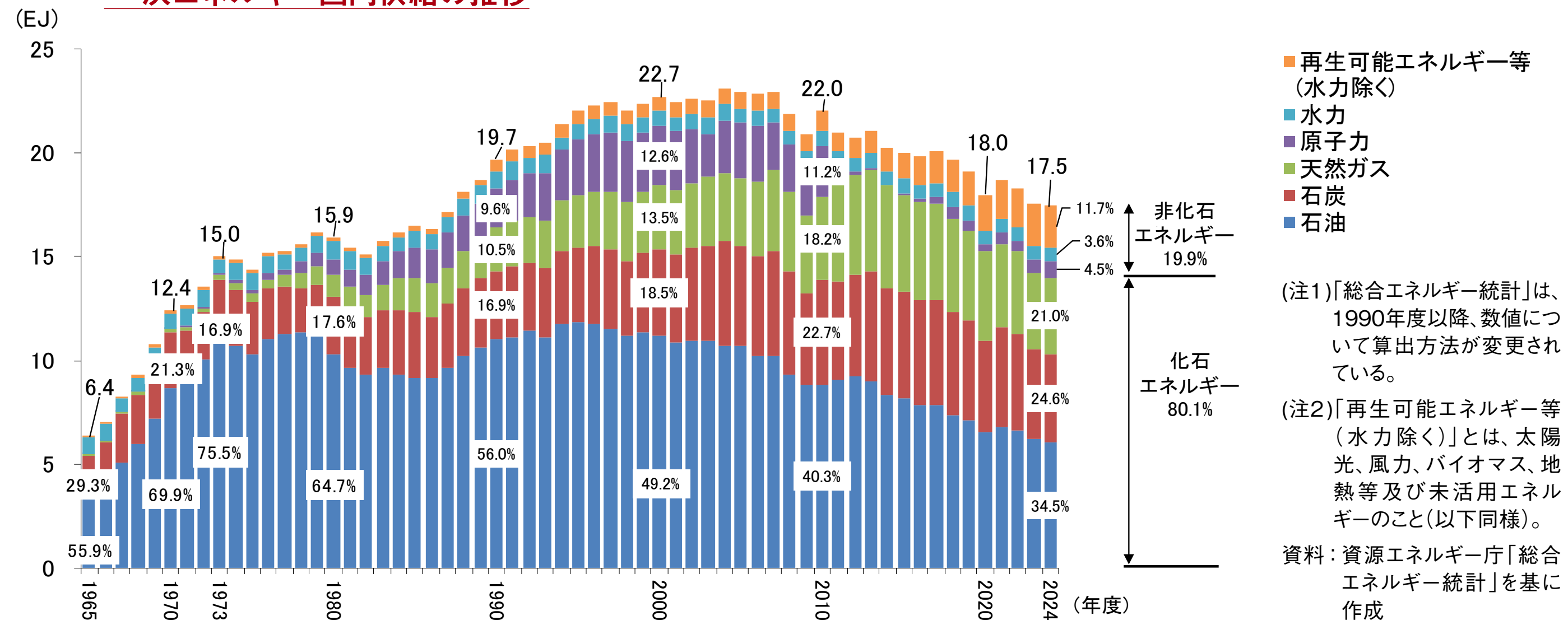
経済産業省
資源エネルギー庁 資源・燃料部
燃料供給基盤整備課
課長補佐（総括・企画調整）
江藤 浩太 *Kota Eto*

一九七〇年代のオイルショック以降、日本は原油の調達先の多角化、原子力や再生可能エネルギーなどの非化石エネルギーの導入、省エネルギーを鋭意進めてきた。結果として、原油の輸入量は一九七八年の二・七億キロリットルから二〇二四年度実績で一・三六億キロリットルと半減した。エネルギー全体で見た際の石油への依存度も電化などが進行したことから、一九七二年の七四・一%から二〇二四年には三四・五%と、こちらも半分にまで低下している。

しかし、エネルギー供給量の石油依存度はいまだ一定量を占めている。エネルギーの安定供給の重要性が変わることはないと江藤氏は説明する。「調達先の多角化も進めてきましたが、日本の原油調達先であったアジアの原油生産国の経済成長に伴う国内需要の増加による輸出余力の低下などが見られます。米国からの輸入が増加傾向にあり、中東依存度は低下しているとはいえ、エネルギーの安定供給の必要性はむしろ高まっています。そこで『POWERR GX』として二つの強靱化を推進していきます」。二軸となるのは、海外からの石油燃料の調達安定性の抜本的な向上と、原子力や国産再エネの活用によって化石燃料依存度を低減するGX施策の加速・強化。こうした施策の実現は日本だけでは困難だ。国は四月に「アジア・エネルギー・資源供給力強化パートナーシップ（POWERR Asia）」を発表、日本へのサプライチェーンを維持するうえで課題を抱えるアジア諸国の企業を金融面で支援するとした。

アジアをはじめとするグローバルなエネルギー需給構造の強靱化に向けた議論が始まっている。「日本には、『強い経済』の前提として、石油をはじめとするエネルギーの輸入が必要です。国内の状況や世界情勢を見極め、調達先の多角化、備蓄体制の整備、GXと連動した施策など、バランスのとれた強靱な需給構造の構築を目指していきます」と江藤氏は話す。

一次エネルギー国内供給の推移



（注1）「総合エネルギー統計」は、1990年度以降、数値について算出方法が変更されている。
（注2）「再生可能エネルギー等（水力除く）」とは、太陽光、風力、バイオマス、地熱等及び未活用エネルギーのこと（以下同様）。
資料：資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」を基に作成

原油輸入の動向やエネルギー供給における石油依存度の変化

	1972年度（第1次石油危機前）	1978年度（第2次石油危機前）	1987年度	2013年度（東日本大震災後）	2024年度
原油の輸入量	2.47億 kl	2.70億 kl	1.88億 kl	2.10億 kl	1.36億 kl
エネルギー供給における石油依存度	74.1 %	72.9 %	56.2 %	42.8 %	34.5 %
原油輸入の中東依存度	80.7 %	77.9 %	67.9 %	83.6 %	95.9 %

出所：総合エネルギー統計、資源・エネルギー統計（石油）年報、財務省貿易統計

世界に誇る 備蓄インフラの建設技術

日本には一〇カ所の国家石油備蓄基地がある。更に、民間タンクを借り上げて国家備蓄石油を蔵置する基地一〇カ所を加え、盤石の体制を敷いている。「日本は地震をはじめ自然災害が多い国です。更に長期間にわたって石油の品質を維持し蓄えることが求められる。どのような立地での整備が相応しいのか、詳細な検討が重ねられてきました」と江藤氏は話す。製油所に近接していれば、タンカーを用いることなく備蓄原油を製油所に送ることができ、機動的な原油放出が可能となる。タンカーが着桟する桟橋の形態も俎上に載る。係留ブイ方式は、通常陸上に保管されているブイを海上に移設する工事に数か月を要する

エネルギー需給構造の強靱化総合パッケージ（パワー GX）

化石燃料の調達先多角化・リスク低減

1. 原油等の特定経路への依存度の低減
○ 原油等の安定的な輸送の確保の実施に関する指針（多角化指針）の策定含め、調達先・輸送経路の多角化の推進による**資源・燃料のサプライチェーン**の**強靱化を図る**

（1）原油等の調達多角化
- ○ **原油等の輸入にかかる安定的な輸送確保のため、輸送コストの差に着目した支援を通じ、緊急時・平時のリスクとコストを平準化**
- ○ 原油等について、安定供給に必要な保険キャパシティを含む**安定的な海上輸送を確保**
- ○ 非ホルムズ経路増強に資する**代替パイプラインの建設支援**

（2）原油やナフサをはじめとする石油製品の供給対応強化
- ○ **ナフサ利用分を前提にした国家備蓄**（原油の形で長期備蓄可能）
- ○ **調達先多角化のための輸送費用平準化**
- ○ **ナフサ以外の原料にも対応したナフサ分解炉等の設備投資支援**や、化学製品のリサイクル推進
- ○ 安定供給に懸念が生じる可能性がある**川中製品の供給体制の強化**

投資拡大を通じたエネルギー転換・供給力増強・効率向上

○ **GX政策のロードマップ（分野別投資戦略）を見直し**、以下を加速・強化

2. 化石燃料依存度の低減（エネルギー自給率の向上）

（1）安全性を大前提とした原子力の最大限活用
- ○ **今後の建替え見通し（2040年代2~5基、2050年代11~14基）**を踏まえつつ、**次世代革新炉の社会実装**に向けた研究開発・投資判断を促す措置具体化、**最終処分**などバックエンドの取組加速、**規制体制の充実・強化**

（2）再エネの地域共生・国内産業基盤構築
- ○ **地域共生を大前提とした再エネの導入促進**
- ○ **国内産業基盤構築（ペロブスカイト、次世代型地熱、洋上風力）**

（3）化石代替燃料の供給拡大
- ○ **水素・アンモニア**のサプライチェーン構築（インフラの活用等）
- ○ **化石代替燃料（バイオ燃料、SAF、合成燃料・合成メタン等）**の普及支援

3. AI時代のエネルギー需給の安定化

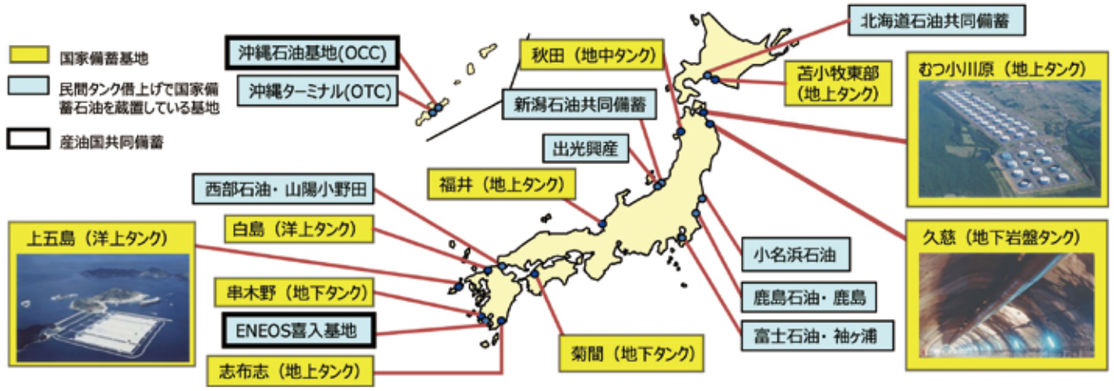
（1）電化・燃料転換、エネルギー効率向上の抜本強化
- ○ **電力需要増に対応するデータセンターの革新（省エネ半導体、高効率AIサーバー等）**
- ○ **ものづくり現場のエネルギー需要の革新（電化、効率化投資等）**
- ○ **くらし・モビリティにおける取組**

（2）電力需要の増加を支える電力供給力の確保
- ○ **天然ガス火力**等の供給力向上と最大限活用、**CCS**（二酸化炭素回収貯留）事業環境整備、**AI利活用による飛躍的な電力需要増加に対応するための、タービン供給能力倍増、送電網・大規模電源の整備** 等

4. POWERR Asiaを通じたエネルギー強靱化
- ○ **輸入国におけるエネルギー需給の強靱化**（わが国GX製品の国際展開、日本主導の新たな国際共同研究等）
- ○ **産油国側の供給・経済構造の転換**（共同備蓄、代替ルート構築等）

資源エネルギー庁提供資料を基に作成

わが国の国家備蓄石油（原油）の蔵置場所



国家石油備蓄は、10カ所の国家石油備蓄基地に蔵置するほか、借り上げた民間石油タンク（製油所など）にも蔵置

が、常設の固定桟橋ならタンカーの着桟が常時可能で優位性が高い。また、三〇万キロリットルクラスの大型の原油タンカーが着桟可能な施設を備えているかも重要な材料になる。

国家備蓄方式は四パターンだ。最も一般的な「地上タンク方式」は、建設コストが比較的安価で実績が豊富だ。「地中タンク方式」は、耐震性が高く漏油や拡散の危険性を回避する。地下岩盤に蔵置する「水封式地下岩盤タンク方式」は、地震や落雷の危険を回避し景観への影響が少ない。海洋空間を活用する「洋上タンク方式」は、必要とする土地面積が少なくて済む。いずれも当時の土木技術の粋を結集し、世界で先陣を切って実用化を達成した。これら日本独自の備蓄技術は、国際的にも高い評価を得ている。「備蓄基地は、石油の品質維持と有事の際に機動的な放出に対応できることを前提として整備されてきました。今春の石油備蓄放出も支障なく速やかに実施することができた。その成果は、日本の高度な土木技術の証左と言えます」と江藤氏は評価する。

世界を見据えた備蓄の新機軸

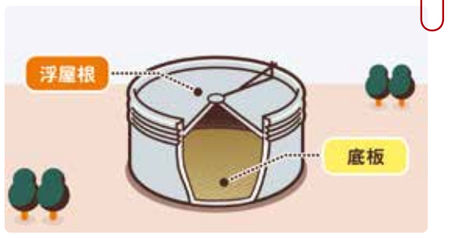
一方で、新たな課題も見えてきた。化学製品の原料となるナフサが市場から姿を消し、医療用品などで供給の偏りや流通の目詰まりが生じた。ナフサは常温で蔵置することが困難なことから、ナフサの国内精製分も含めた形で原油備蓄を確保することも検討、供給体制の強化も含め議論を進めているという。

前述した「POWERR Asia」のなかでは、アジア域内の原油備蓄日数の拡大に向け、省エネへの取組みなどに加えて備蓄・放出制度の構築や備蓄タンクの建設・利用を支援していくとしている。石油備蓄に関する日本の土木技術を必要としているパートナー国は少なくない。経済的な援助に加え、ハード整備に向けた技術的な支援も想定されるだろう。江藤氏は、世界的にエネルギー強靭化に向けたインフラ整備が進む可能性があると話す。「ホルムズ海峡というチョークポイント（急所）を迂回して原油を安定的に輸入させる施策の検討が加速しています。国としても、そうした安定的な輸送確保に取り組む日本の輸入企業を支援する制度の整備を進めています。そのためのパイプラインの敷設などのインフラ整備も必要になってくるかもしれません」。

石油の安定供給を目指す強靭化の議論は始まったばかりだ。資源エネルギー庁のワーキンググループでは、総論として「国際情勢は以前の安定した状態には戻らないことを前提にして対策を講じる必要がある」というコメントが提示された。備蓄と調達の多角化、中東やアジアとの連携を軸とした検討が進む。江藤氏は最後に抱負を明かしてくれた。「そもそも石油備蓄は何を目的とするものなのか。いかなる際も日本のエネルギー供給を安定的に支えるという一点に尽きます。建設業界や備蓄基地の管理会社などには、およそ五〇年間にわたって培われ続けてきたハード整備やメンテナンスに関する高度な技術が蓄積されています。今後も建設業界と一体で、日本のエネルギー安定供給を担っていければと考えています」。

国家石油備蓄の4つのタンク方式

01 地上タンク方式 TYPE



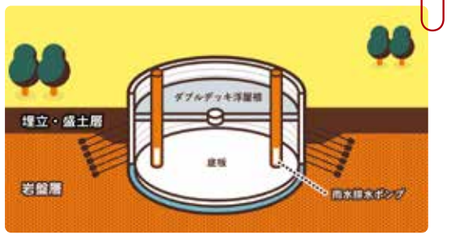
特色
- 建設コストが安い
- 技術的には一般的
- 操業実績が豊富

採用備蓄基地 …苫小牧東部、志布志、むつ小川原、福井



福井国家石油備蓄基地

02 地中タンク方式 TYPE



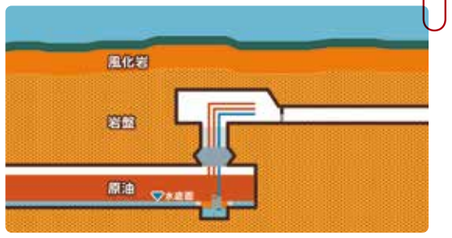
特色
- 漏油、拡散の危険性が低い
- タンク間距離が小さく、土地の有効利用が可能
- 地上タンクの約3倍の容量
- 耐震性に優れている
- 景観への影響が少ない

採用備蓄基地 …秋田



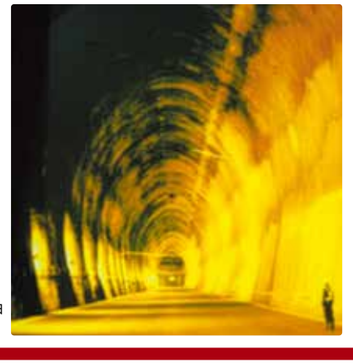
秋田国家石油備蓄基地

03 水封式地下岩盤タンク方式 TYPE



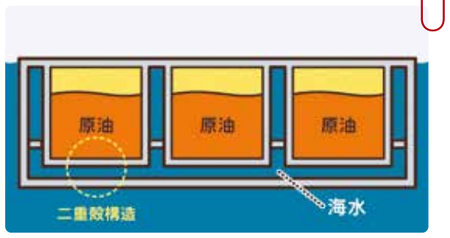
特色
- 必要な土地面積が少ない
- 地震、落雷など自然災害に強い
- 漏油、拡散の危険性が低い
- 景観への影響が少ない

採用備蓄基地
…久慈、菊間、串木野



串木野国家石油備蓄基地

04 洋上タンク方式 TYPE



特色
- 海洋空間有効利用
- 必要な土地面積が少ない
- 漏油、拡散の危険性が低い

採用備蓄基地 …白島、上五島



白島国家石油備蓄基地

素材提供：JOGMEC





原油の払出の様子



錦江湾に浮かぶ 原油の一大供給拠点

ENEOS喜入基地

東京ドーム四〇個分の巨大備蓄基地

鹿児島市内から錦江湾（鹿児島湾）の西岸を縦貫する国道を車で四〇分ほど南下すると、湾に張り出す巨大なタンク群が見えてくる。国内最大級の石油備蓄の拠点、ENEOS喜入基地㈱だ。日本石油基地㈱として操業を開始したのが一九六九年。当時、一三〇万㌔㍑だった総貯油量は、現在までに原油タンクの増強を重ね七三五万㌔㍑に達する。五七基のタンクが約五八万坪、東京ドーム四〇個分の広大な敷地に整然と並び、配管総延長は三八㌔㍍におよぶ。国家備蓄石油を蔵置している民間備蓄基地の一つで、現在は主に中東からの原油タンカーが着岸する。産油国共同備蓄も預かる国内屈指の石油備蓄基地だ。

内野一人代表取締役社長が笑顔で迎えてくれた。「この喜入基地が担う機能は概ね三つあります。一つはここを拠点として輸入した原油を全国の製油所に供給する中継機能。海上輸送の効率化に貢献していきます。二つ目が備蓄機能。いざという時に備蓄した原油を迅速に放出します。そして三つ目がブレンド機能。大小五七基のタンクを駆使して各製油所のニーズにあわせて原油を混合し、性状を調整のうえ出荷できます。この三つのミッションを果たすことが使命です」。年間の原油受入量は約二、〇〇〇万㌔㍑、日本の年間輸入量の一五％をここ喜入基地が引き受けている。



ENEOS喜入基地株式会社
代表取締役社長
内野 一人 *Kazuto Uchino*

一滴の原油も漏らさない

喜入基地には、他の国家備蓄基地にはない強みがある。通常、備蓄された原油は一度蔵置されると数十年単位で貯蔵されることになる。緊急的な放出の機会はまれで、その際には特殊性の高いオペレーションが求められる。しかし、喜入基地では年間三五〇隻のタンカーが接岸・離岸を繰り返し、日々原油を動かしている。「原油の受入れ、出荷は日常業務です。運転員の習熟度はとても高い。オペレーションは慣れているので緊急時の放出にも迅速に対応できます」と内野氏は話す。今年三月に国家備蓄原油を放出したことも記憶に新しい。春以降、船籍の異なる多くのタンカーの着岸も増えた。通関業務や受入れの手順などの変更はあったが、そうした手続きや運転に慣れているからこそ支障なく放出を完遂できた。「ホルムズ海峡を通過した船を受け入れた際には、幾多の困難を乗り越えてきた船を喜入できっちり揚げなければならないという緊張感がありました」と内野氏は振り返る。

更に立地的にも優位性が高い。「錦江湾は湾央部の最大水深が二〇〇㍍を超える一方で遠浅な地形なため、埋め立て・浚渫が容易という特徴を持ち、湾内は静穏で船舶の安全な運航においても大きなアドバンテージになる」と前原雅樹副所長は説明する。時折、深海魚も顔を見せると内野氏は笑う。

とは言うものの大量の原油を扱っているため、安全対策は厳格を極める。喜入基地では小規模なものも含め年間約三〇〇回もの安全訓練を実施しているという。想定を超



ENEOS喜入基地株式会社
喜入基地
副所長 兼 工務グループマネージャー
前原 雅樹 *Masaki Maehara*



原油の受入・払出・バルブの操作など集中管理、制御を行うコントロールハウス
（提供：ENEOS喜入基地㈱）

える自然災害の脅威も高まっている。環境安全グループの田中勇吉マネージャーはこう説明する。「何が起きても一滴の原油も漏らしてはいけない。例えば、錦江湾は桜島を擁しており、大噴火の際には大量の降灰が懸念されます。原油タンクは浮き屋根構造のため、そこに五〇㌢㍍以上灰が積もると浮力が耐えられず屋根が傾き、場合によっては沈んでしまう。事業継続計画とともに灰を除去するマニュアルを整備して、それに則って全社で訓練を実施しています」。詳細な対応手順は決められているが、それを上回る災害が発生する可能性はゼロではない。各種消防車、オイルフェンス、大容量泡放射システムなど、防災設備を備え安全面で万全を期すが、想定外を想定して今後対策を強化していく必要があると田中氏は気を引き締めている。



ENEOS喜入基地株式会社
喜入基地
環境安全グループマネージャー
田中 勇吉 *Yukichi Tanaka*

原油と建設のプロが連携し更に進化する

操業開始から六〇年近くが経過した喜入基地。施設や設備の維持管理も課題だ。もうすぐ還暦の基地なので、配管や装置、流量計や油検知器などの計器類の老朽化は避けがたい。計画的なメンテナンスを前提としながら、内野氏は「Ｂａｄ Ｎｅｗｓ Ｆｉｒｓｔ／Ｆａｓｔ」を旨としていると言葉に力を込める。「不都合な情報こそ躊躇なく上にあげてくれと。悪い我慢は絶対に許してはいけない。見逃すと大変なことになります。昨日まで問題なかったのだから今日も、明日も安全だとは限りません。運転に慣れていることはこの基地の強みですが、慣れ切ってしまうと致命的なエラーにつながる可能性があります」。

その確実な維持管理を支えているのも喜入基地を知り尽くした運転員、そしてメンテナンスの技能者たちだと前原氏は話す。「創業当時に喜入基地を立ち上げたプラントメーカーの協力会社がそのままこの地に定着して、地元のメンテナンス会社として維持管理に当たってくださっています。時を経てその知見と技術の伝承が課題になっています」。五七基のタンクは七年に一度開放点検を行う。タンク内を空にして詳細な検査を順次実施することから、常時稼働するのは五〇基程度だ。開放点検は継続的な業務になっている。メンテナンス会社としても仕事が途絶えることはない。

設備だけではなく、タンク本体や基礎部の劣化も見逃さずに手当をする。鹿児島は台風の通り道だ。原油タンクは秒速八〇㍍の風速に耐える強固な構造だが、これに甘んじることなく詳細な点検を続けている。「大規模なコンクリート構築物の剝落など、構造にかかわる修復はゼネコンの技術がなければ成し得ません。コストを勘案し相談しながら、合理的な工法を検討することになります」と前原氏は話す。また、今後は更に合理的な修繕や維持管理の手法を建設業界とともに高度化させていきたいと期待を寄せる。





上／防災訓練（提供：ENEOS喜入基地㈱）
下／有事の際にすぐ出動できるよう、敷地内に消防車（消防車大型化学高所放水車1台、甲種普通化学消防車2台、泡原液搬送車1台）が備えられている



タンクの開放点検の様子。原油が抜かれ、浮き屋根式タンクの屋根が底まで下がっている状態

「建設業界が抱える労働者不足や資材の高騰は我々にとっても共通の課題です。省力化やＤＸに向けた施策を検討していますが、我々だけでは限界があります。やはり最前線の現場に立つメンテナンス会社、建設会社だからこそ認識できる課題やリスクがあるでしょう。そうした知見に裏付けられた技術的なご提案をいただきたいと日頃から思っています」。その技術が石油備蓄基地という特殊な施設で有効なのか、更に高度化させることはできないか。原油と建設のプロフェッショナルの連携によって、還暦間近の備蓄基地であっても進化する余地が多分にある。



タンカー排出ガス処理設備（Tanker Vapor Recovery System(TVR)）
（提供：ENEOS喜入基地㈱）

実際に協力会社と共同開発した技術も少なくない。タンカー排出ガス処理設備（ＴＶＲ）は、原油をタンカーに積み込む際に発生するガスを回収し臭気を抑制するとともに、原油に吸収させてエネルギーとして再利用するシステムだ。プロセスの詳細は、エンジニアリング会社からの提案を受け共同開発したもので、この設備は二〇年ほど前から稼働を続けている。「タンク側面の塗装において活躍する吊り下げ式のゴンドラも、塗装会社の提案をもとに開発した可動足場です。タンクを包囲するような総足場が不要になり作業コストを大幅に削減しました。ご提案をいただければ意見を出し合って、ともに検討を深めていくことができます」と前原氏は企業間連携の重要性を強調する。

親子二代で日本のエネルギーを担う

内野氏は、喜入基地の操業は地域の存在なしでは成立しないと断言する。「喜入は石油備蓄のまちと言っても過言ではありません。かつては風向きによって発生する臭気で住宅街の皆様にご負担をおかけすることもありました。ＴＶＲはその対策として開発されたものでもあります。夏祭りや見学会の開催などを通し、長い時間をかけて醸成した信頼関係は基地の財産です」。清掃活動や小学校への図書の寄贈といった取組みは市民の心に響き、深い親近感を生み出しているという。

半世紀以上の操業を経て、職員の世代交代も始まっているとこう言葉をつなぐ。「親子二代で勤務する運転員や技能者も少なくありません。思えば、子どもたちにとって基地は幼い頃から日常の風景です。そのためか、将来は喜入基地で働きたいという想いにつながっているように感じます。地元の高校、高専を卒業した優秀な人材が数多く入社しています。石油備蓄という業務に対する使命感と向上心はとても高い。それがこの基地の高い競争力に結実していることは確かです」。日本のエネルギー供給、石油備蓄という重責を背負った父親や先達の背中を子どもの頃から見つめ、いつかは自分も喜入で働く。その矜持は本物だ。内野氏は「憧れや愛着を持って、若手の誰もがしっかりとしたオペレーションを担っていきたいと話してくれます。とても心強い。そうした基地と職員の関係を維持していきたい」と話してくれた。



世界最大の地下LNGタンク

東京ガス扇島LNG基地 4号地下式LNGタンク

マイナス一六二℃の液体を収める

石油と同様に欠かせない日本のエネルギー源が、液化天然ガス（LNG）だ。メタンを主成分とする天然ガスをマイナス一六二℃まで冷却、液化したものがLNGで、気体の状態から液体にすることで体積を六〇〇分の一に減容できる。日本は一九六九年に専用のタンカーによって輸入を開始した。化石燃料のなかではCO₂の排出量が少なく、クリーンエネルギーとして活用が加速。二〇一四年には一次エネルギー供給における割合が二四・五％と過去最高を記録した。LNGの約六割が火力発電、四割近くが都市ガスとして使用されている。

気化しやすい性質とこれを蔵置する施設の高額な整備費用を背景として、LNGには石油のような備蓄制度が確立されていない。しかし、発電などに供される重要な資源であることに変わりはない。建設業界、発電、ガス供給企業はLNG専用タンクの高性能化に鋭意取り組んできた。



東京ガス扇島LNG基地全景（提供：東京ガス㈱）



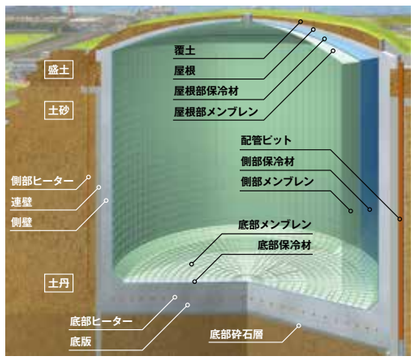
清水建設株式会社
土木技術本部 設計第一部
主席エンジニア
若林 雅樹 *Masaki Wakabayashi*

今春、その大きさでギネス世界記録™に認定されたタンクがある。東京ガス扇島LNG基地（神奈川県横浜市）の「4号地下式LNGタンク」だ。世界最大のタンクは内径七二㍍、深さ六一・七㍍、奈良の東大寺大仏殿を丸ごと納めても余るほどの巨大さ。貯蔵能力は二五万㌔㍑で、都市ガスに換算すると一般家庭三六万世帯の一年分の使用量に相当するという。竣工は二〇一三年。清水建設㈱と㈱IHIプラントが持てる技術を結集して構築した地下式タンクだ。

施工は連続地中壁（連壁）の構築から始まる。エレメントと呼ばれる短冊形の壁体を地中に埋設して連ねていき、最終的に円筒形の壁に仕上げていく。連壁が完成したところで内部を掘削して、地中の連壁を露出させる。温度を管理する付随設備などとともに底版、側壁を施工し、最後に屋根を被せる。この工程に約四年の歳月を費やした。それだけ複雑かつ繊細な土木工事だった。

この類まれな土木構造物の設計を担当した清水建設の若林雅樹主席エンジニアにお話を伺った。「通常の地下構造物との決定的な違いは、この巨大な円筒を内側から支える梁や壁が一切ないことです。蔵置するのはマイナス一六二℃という極低温の液体。壁を設置したところでその壁が低温によって収縮するため支えになりません。土圧や水圧に耐えるための対策は完璧な円を描く連壁を構築することに尽きます。設計、施工ともに難度の高い工事でした」。円が少しでも歪んでいると土水圧に耐えられず崩壊する懸念がある。高強度の鉄筋とコンクリートを採用し、壁厚を薄くすることで経済性を追求、支えのない大空間を地下に構築した。

LNG地下タンク断面図



見えない地中に巨大構造物を構築

エレメントには先行と後行があり、離隔を持って掘削された先行エレメントの間をつなぐように後行エレメントを施工する。先行と後行が交互に配置され、両エレメントが直接接触することによって連続した壁が構築される。求められるのは前述したとおり、その精度だったと、

施工ステップ図





4号地下式LNGタンク施工状況



当時現場を率いた松井淳主査は振り返る。「目に見えない地中に円筒状の壁を造る工事です。垂直方向にエレメントを施工し鉄筋籠を建て込みコンクリートを打設する。このフローをすべて地上から施すことになります。円筒形の連壁が完成した後、内側を掘削して初めて円筒形の空間が現れる。その時まで目視できない地中でいかに高い精度を担保するか。とても繊細な施工です」。

許容される誤差は、一〇〇㍉掘削してプラスマイナス五㌢以内という高い精度が要求された。その技術は一九八〇年代に確立していたものの、世界最大の地下タンク建設ともなると深度が深くなるため、難度は格段に高くなる。無数の計器から得られる数字から構造の健全性を読み取りながら、慎重に施工を進めたという。松井氏は日々緊張感の絶えない現場だったと振り返る。

地盤の凍結管理と耐震性に挑む

マイナス一六二℃というLNGの温度を維持することも課題になる。放置すればタンクを包囲する地盤が凍結してしまう。地盤は凍ると膨張しタンクの躯体に影響をおよぼすことは必至だ。底版とタンク本体の周囲にはヒーター設備を設置した。かつてLNGタンクの黎明期、二十世紀半ば、英国で地盤に穴を掘ってそのままLNGを貯蔵しようとする試みがあったという。しかし、凍結した地盤にクラックが入り、LNGが漏洩して廃止された。「一万㌔㍑の小規模なタンクでしたが地盤の凍結膨張により周辺施設が損傷しました。そこで日本ではヒーターの重要性が認識され、当社も温度管理の技術開発を加速させました。冷えすぎても冷えなくてもタンクは機能しません。極低温を維持するために保冷材を設置し、地盤の凍結を防ぐヒーターを設置しています。構造設計はもちろん、温度管理を徹底する設計理念もこの4号タンクに集大成として結実しています」と若林氏は自負する。

清水建設株式会社
土木東京支店 生産推進部
主査
松井 淳 *Atsushi Matsui*

ヒーター設置に伴い、施工の繊細さも増していく。現場でのハードルは高くなったと松井氏は話す。「底版の渦巻き状のヒーターは目視できる環境で施工できますが、躯体を包囲する七二本もの側部ヒーター管は目に見えない地中に埋め込むことになります。等間隔にタンクの躯体との離隔も維持しながら差し込んでいく。少しでもズレると凍結線の位置を制御できません」。何度も掘り直して所定の位置に高精度に収めていくことに腐心したと話す。

一九九〇年代になると、タンクの耐震性能が重要視されるようになる。契機となったのは一九九五年に発災した阪神・淡路大震災だった。当時、清水建設は扇島の1号タンクの建設に着手しており、その渦中で震災が起きた。若林氏は現地に足を運びインフラの惨状を目の当たりにする。「神戸の気象台から鉛直地震動のデータを入手しました。設計時に想定していた四倍超の地震動が記録されており、その数値をシミュレーション解析した結果、建設中の1号機はその地震動に耐えられない可能性があることがわかった。すぐに工事を止めて設計をやり直しました」。結局、約一年かけて大幅な設計変更に取り組み、施工を再開したという。その甲斐あって1号タンクの耐震性は格段に高まった。その知見は4号タンクにも着実に引き継がれている。

何のために造るのか

清水建設は、約半世紀にわたってLNGという特殊なエネルギー資源を収めるタンクの進化をリードしてきた。支保工のない地下構造物の大容量化、地盤の凍結管理、耐震性能の高度化といった数々の課題を、コストの縮減や工程の短期化を見据えながら克服する。4号タンクはその象徴とも言える。合理化を旨とする「設計」と、これをカタチにする繊細を極めた「施工」の強固な連携なくしては成し得ないプロジェクトになった。

「コンクリートや混和剤、鉄筋など資材の進化も大きかった。最初は絵に描いた餅のようなプランも実験と技術開発を繰り返して極限の合理化を図ったのが4号タンクです」と若林氏は振り返る。設計のメンバーが現場に常駐し、施工部隊や発注者と日々協議を重ねていたと言う。「図面を起こして後はよろしくというわけにはいかない案件です。設計の意図、採用するパーツの意味を詳細に理解してもらう必要がありました。通常の土木現場ではありえないほど多くの管理項目を現場とつぶさに検討、確認しながら進捗する。それが当社タンクチームの強みになっています」と若林氏は胸を張る。

一方、設計の合理化に比例して施工の難度は高くなった。松井氏は苦笑しながらこう話す。「この現場では、協力会社も含めた関係者が最大容量の地下タンクを造るという気概を共有していました。一方で、設計からの要求品質、施工精度の難度は高く、現場泣かせでした。難題に直面した時、高品質、高精度が必要な理由を都度、確認・理解し、皆が納得しながらプロジェクトを進めていきました。設計と施工が一体となっていたからこそ完成できたと考えています」。

何のために造るのか。その目的は、液化天然ガスというエネルギーを安全、確実に蓄えるという一点に収束する。この世界最大の地下タンクが、日本のエネルギーの安定供給を支える陰の立役者になっている。

東京ガスは4号タンクの完成から一〇年以上を経てギネス記録を申請した。なぜ今だったのか、若林氏はこう話す。「東京ガスは一〇年以上にわたって無事故で安定運用を続けてこられた。その成果と実績を年月をかけて証明して初めて、世界一を誇ることができるという考えをお持ちでした。土木は造って終わりではない。そのことを我々も肝に銘じなければならないと改めて感じています」。



4号地下式LNGタンク内部
（提供：東京ガス㈱）