

この原稿は、戦後の日本石油産業史に価値ある記録として石油学会内のアーカイブに格納されます。同学会のホームページにも掲載され、電子媒体として公開されます。

R. D. /Shell グループの一点係留ブイシステムの導入と運用 昭和四日市石油(株)四日市製油所 および 昭和石油(株)新潟製油所

岡田敬吉、鶴巻良輔、角和昌浩 (監修) 石油学会

要旨

製油所が原油タンカーを着岸させる方式には、接岸方式とシーバース方式がある。後者は製油所沖合の海域にタンカーを係留し、海底配管を通して油の荷積み・荷卸しをする施設の総称である。シェルグループの開発による CALM 方式一点係留ブイ（通称「SBM」）は、1959 年に世界で最初にマレーシアのミリ油田の海上出荷設備で採用された。本邦では 1960 年代前半に、日本におけるシェルの関連会社である、昭和石油(株)新潟製油所・川崎製油所ならびに昭和四日市石油(株)四日市製油所で導入された。

この新技術の評価と導入の決定、そして建設ならびに実機の運用に際して製油所ではいろいろな検討と調整が行われ、また製油所側とシェルグループとの間にさまざまなやり取りがあった。その様を、お二人の語り部がオーラルヒストリーのかたちで、新潟製油所での経験は岡田敬吉氏、四日市製油所での経験は鶴巻良輔氏が語られる。お二人とも、この新技術の検討と建設・運用を、当時の現場で手掛けられた。

また、沖合の SBM に向かって、陸側の製油所タンクヤードから海底パイプラインを敷設するエンジニアリング工法に関しては、工事を請け負った日本鋼管（当時）の施工技術に特筆すべきイノベーションが起こったので、併せて記録しておく。

本稿は、筆者らの経験に基づく個人的見解に留まり、筆者が所属し又は所属していた団体の意見を代表するものではなく、本稿において提示した認識及び見解に関する責任は、もとより筆者らの帰するものである。

第 1 部 新技術の導入

1. 「シェル」式一点係留ブイ技術の概要

シーバースとは、接岸方式による栈橋ではなく、一定の条件に合致した海域にタンカーを係留し、海底配管を通して油の荷積み・荷卸しをする施設の総称であ

この原稿は、戦後の日本石油産業史に価値ある記録として石油学会内のアーカイブに格納されます。同学会のホームページにも掲載され、電子媒体として公開されます。

る。その種類には、一点係留式、多点係留式、ドルフィン式などがある。わが国では昭和 40 年代初頭、多点係留式シーバースが出光興産の徳山製油所で稼働していたが、一点係留式は導入実績がなかった。

一点係留ブイには CALM 方式と SALM 方式があり、さらに CALM 方式は「シェル」式と「イモドコ」式に分かれる。本稿は CALM 方式・「シェル」式一点係留ブイについてのお話であり、以下はこの方式の技術概要を記す。

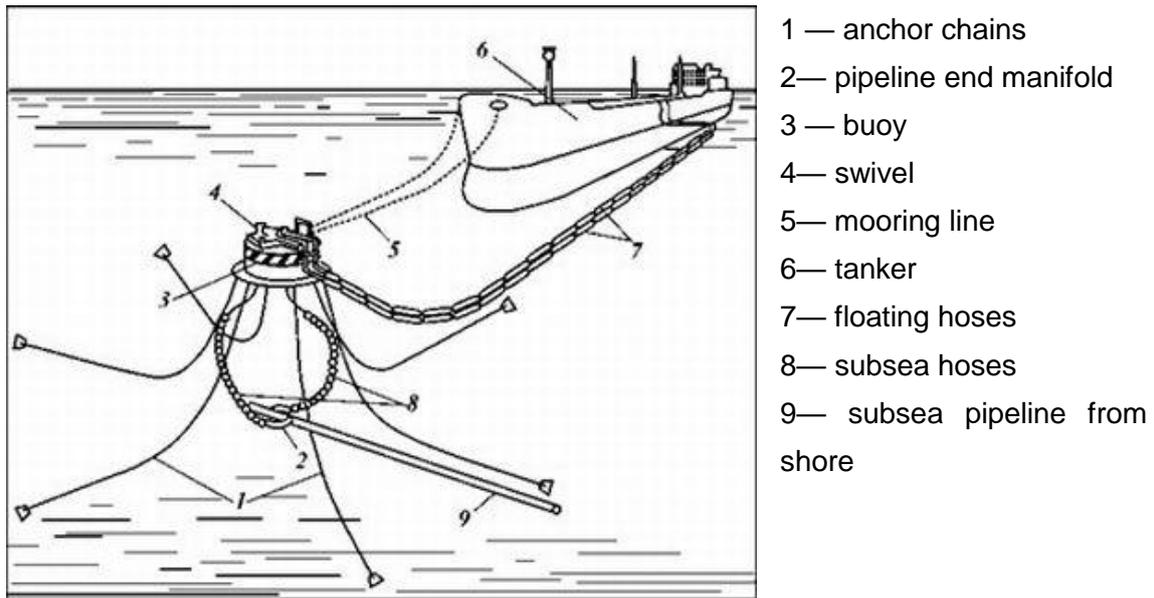
CALM 方式・「シェル」式一点係留ブイとは、鋼製円台形の大型ブイと、ブイに取り付けた数本のアンカーチェーンを海底に固定した設備のことである。このブイは、タンカーの係留と石油荷役の両方の設備機能を持つ。ブイの上面には水平方向に自由に旋回する台 (turn table) があり、タンカーは風向や潮流の変化に伴ってブイの周囲を 360 度回転できる。

ブイ下部の中心からサブマリンホースが海中に降りていて、陸側の製油所原油タンクにつながる海底パイプライン (数キロメートルの長さで敷設される) の末端部 (マニホールド) に接続されている。さらにブイにはフローティングホースが取り付けられており、このホースをタンカーのマニホールドに接続して原油荷役を行う。フローティングホースは、荷役がない時は海水を充填して海底に沈め、海上交通に支障がないようにしている。

すなわち、タンカーはこの一点係留ブイ (Single Buoy Mooring, 以下「SBM」と略称する) に係留されると、海底に沈めてあるフローティングホースを舷側から引き揚げ、甲板上のパイプライン先端のマニホールドに接続する。それからタンカー側の揚げ荷ポンプを起動し、SBM を介して海底パイプラインに原油を流し込み、原油の揚げ荷を行う。海底パイプラインの末端に接続したサブマリンホースとフローティングホースのとの接続部分には、回転自在のターンテーブルが取り付けられている。この構造により、風や潮流の向きの変化につれてタンカーがどの方向に振れ回っても、ターンテーブルとフローティングホースの連結部が一体となって回転するので、荷役に支障がない。

CALM システム概念図

この原稿は、戦後の日本石油産業史に価値ある記録として石油学会内のアーカイブに格納されます。同学会のホームページにも掲載され、電子媒体として公開されます。



(出所 Caspian Pipeline Consortium ホームページ)

SBM システム技術の特徴は4つある。

まず、臨海部に建設した製油所が大型タンカーで原油を受け入れるために、製油所の敷地から沖合に張り出した栈橋設備を建設する設計が考えられる。それに対して、SBM システムは、製油所の原油タンクヤードから沖合数キロ先まで海底配管を伸ばし、沖合海上に設置された SBM のブイを介して、輸入原油を受けとるシステムである。この SBM システムは、臨海部製油所が栈橋設備を造ろうとすると、大型タンカーの喫水確保のために大きな航路浚渫コストが見込まれる場合、あるいは栈橋設備を建設する海面スペースが確保できない場合に有利である。

第2に、1960年代後半には、日本に入ってくる原油タンカーが、今後年を追って大型化してゆく予想があり、将来を見据えた栈橋設備の強度設計にむつかしさがあつた。その点 SBM 設備はタンカーの大型化に対応ができる利点があつた。

第3の特徴。SBM 設備の強度設計は複雑である。満載状態のあるいはバラスト状態の原油タンカーが SBM に係留され、SBM を中心として海上で風任せに自由に回転するので、タンカーが振れ廻る。この影響による係留索の張力変化に、波浪強制力による張力変化の重複を前提として複雑な動的解析を行い、強度設計をする必要がある。

第4に、SBM 設備は沖合の海域を広く占有することになるので、日本で導入する際には地元漁業者等の生活権を補償する必要がある。

この原稿は、戦後の日本石油産業史に価値ある記録として石油学会内のアーカイブに格納されます。同学会のホームページにも掲載され、電子媒体として公開されます。

2. 「シェル」式の日本導入経緯概要

ロイヤル・ダッチ・シェル (R. D. /Shell) グループ(以下「シェル」と略称する)の設計になる SBM の第 1 号機は、シェル・マレーシア社が発注している。この設備は、1959 年当時オランダの Schiedam に操業していた Gusto 社のドックで建設され、マレーシアに運ばれて、シェル・マレーシアが開発生産油田の操業を担当しているミリ原油の沖合出荷システムに採用された。1960 年代、この設備がアジアで唯一、稼働していた。

振り返って日本では、1963 年 (昭和 38 年) 1 月、昭和石油 (株) 新潟製油所において、原油揚荷用設備としての SBM 設備導入工事の着工式が行われている。ただし、新潟製油所での実際の運用は、当事者の思いでを踏まえると 1966 年の春から夏 (運用開始日は不明) となった、と、本稿執筆時点で推測している。つづいて、昭和四日市石油 (株) 四日市製油所の SBM システムの完成は 1964 年 (昭和 39 年) 12 月 7 日で、翌年 1 月 26 日、第一号原油タンカー Cradle of Liberty が着岸した。これが日本で最初の SBM 設備の運用開始、と推測される。

そして昭和石油川崎製油所の原油揚荷システムにも、SBM システムが採用された。川崎製油所では 1967 年 (昭和 42 年) 7 月から 9 月にかけて購入した扇島埋立地に建設してゆく原油タンク群と、扇島の沖合 4 キロに設置する SBM システムの建設が並行して行われた。川崎製油所が SBM システムを運用し始めたのは、1968 年 12 月 20 日、原油タンカー国光丸の受け入れを嚆矢とする。

このように、日本では 1960 年代にシェルの開発した SBM 原油揚荷システムが、シェルの出資会社であった昭和石油 (株) と昭和四日市石油 (株) により技術検討がなされ、導入が決定されて建設・運用へとすすんだ。

3. オーラルヒストリーのとりまとめ法

このオーラルヒストリーでは、第 2 部で、昭和石油 (株) 新潟製油所での SBM システム導入の経験を、当時、工事担当責任者を務めた岡田敬吉氏が語る。第 3 部では、昭和四日市石油 (株) 四日市製油所での導入経験を、同じく技術検討と工事の責任者を務めた鶴巻良輔氏が語ることになる。

本稿を書くにあたって、以下の 3 つの文献を参照しながら、話者お 2 人の語りを支援した。『昭和石油三十年史』、1974 年 (昭和 49 年) 8 月、『昭和四日市石油三十年史』、1978 年 (昭和 53 年) 10 月、『昭和四日市石油 K. K. 原油輸送用海底管の計画と施工』日本鋼管技報 No. 33 別刷、1968 年 (昭和 43 年) 7 月。

この原稿は、戦後の日本石油産業史に価値ある記録として石油学会内のアーカイブに格納されます。同学会のホームページにも掲載され、電子媒体として公開されます。

また、主として以下の2つの文献を参考にして書かれている。『巨大タンカーの係留システムの研究 報告書』、(社)日本造船研究協会、1976年(昭和51年)3月、『一点係留ブイの設計法に関する研究』、鈴木康生、運輸省港湾技術研究所、1996年6月

第2部 昭和石油(株)新潟製油所のSBMシステム導入

1. 語り部

岡田敬吉氏は、1927年(昭和2年)2月27日生。

学生時代を第二次世界大戦の中で過し、1951年(昭和26年)、24歳で早稲田大学応用化学科を卒業、同年12月、旧昭和石油(株)に入社された。

昭和石油(株)川崎製油所およびグループ会社である昭和四日市石油(株)四日市製油所にて、装置建設および運転のエンジニアとして経験を積んだ。昭和36年より、昭和石油本社の新潟製油所新装置建設課に転勤し、新潟製油所の新装置インテグレートドユニット(集中合理化装置)4万BDの設計・建設プロジェクトに携わった。この装置は、シェルが開発した革新的なプラントデザイン思想を、世界で最初に実機導入したものである。岡田氏は、この新設計思想を学び吸収し、具現化する役割を担うこととなった。1963年(昭和38年)11月、36歳の時に新潟製油所に工務課長代理として赴任し、新装置の建設とスタートアップに挑み、成功させた。

ところが、新装置が稼働しておよそ半年後の1964年6月16日、新潟地震が発生し、新潟製油所は大規模なコンビナート火災に見舞われた。岡田氏は震災に見舞われた直後の製油所現場の状況と初期対応の苦闘を、鮮明に記憶しておられる。

昭和石油は、主力工場の一つを失ったため石油元売りとしての販売活動に支障が出ていた。当時の経営陣は新潟製油所再建資金の調達問題でも苦悩したが、震災から半年後の12月23日、部分被災した集中合理化装置を中核とする新潟製油所の再建プランを決定、2年を経ずして1966年5月17日の竣工式を迎えることができた。

岡田敬吉氏は、新潟製油所の再建を成し遂げた後、1967年4月1日、昭和四日市石油(株)四日市製油所に製造第二部長として転勤。

1974年9月1日、再び、新潟製油所に戻り製造部長兼新潟東港貯油所建設課

この原稿は、戦後の日本石油産業史に価値ある記録として石油学会内のアーカイブに格納されます。同学会のホームページにも掲載され、電子媒体として公開されます。

長として新潟赴任。新潟東港の貯油基地と大型タンカー受け入れ用の大型棧橋建設の責任者となった。この貯油基地はその後「新潟石油共同備蓄株」に引き継がれ、日本の石油備蓄基地第一号となった。1978年4月、昭和石油本社製造技術部長。1979年6月1日、昭石エンジニアリング(株)を設立、創業社長となった。その後、1987年6月、新潟石油共同備蓄株代表取締役社長に就任された。

岡田氏は、日本で最初の SBM システムの建設と運用の経験を語るにあたり、まず新潟製油所の新装置インテグレートドユニット建設のお話からはじめられた。

2. 新潟製油所 インテグの建設

そのころ、シェルはインテグレートドユニット(集中合理化装置、Integrated Unit、以下「インテグ」と略称)という新しいプラントデザイン思想を採用した装置の建設を、フランスのライヒシュタット¹(Reichstett)と日本の新潟で、ほぼ同時に2か所で進めていました。ライヒシュタットはライン河から工場用水を採っている製油所で、西ドイツ側のケルンに近い立地です。

シェル本社の技術本部でインテグ思想が検討されたのは1961-62年くらいのことでしょうか? ここでライヒシュタットと新潟の建設競争になりました。新潟インテグは1963年10月運転開始で、新潟が一週間早かったです。たまたまその頃、日本のテレビニュース番組でライヒシュタットの運転開始の様子が放映され、我々のほうが早かったことを喜びました。

インテグのデザイン思想、これは「コンパクト化」に尽きます。原油張り込みから製品製造までひとつのプラントで流します。トッピングから2次装置に油を移送する際の間タンクやパイプやポンプが省けますから、まず敷地面積が1/3になる。装置の設備費用も1/3。分散した装置群で運転する場合と比べて、オペレーターの数も1/3。これがシェルの「三分の一」思想。

ちなみに、1958年5月26日に竣工した四日市製油所40千BDの2塔式トッパーは、シェルのボンベイ製油所を青写真にした設計図面を基本に作られています。これにはインテグ思想が採用されていません。重厚長大の設備でした。

¹ ライヒシュタット製油所 (Reichstett Refinery)

1963年運転開始。80千BD。当時の権益は、シェル65.65%、St. Gobain (Totalの前身)14.8%、UIP10.0%、Mobil5.0%、公開株式4.55%。2005年、Totalは自社シェアをシェルに売却。その後、2007年シェルは、スイス企業Petroplusにライヒシュタット製油所を売却。このとき、Petit-Couronne製油所も同時にPetroplusに売られている。2011年Petroplusはライヒシュタット製油所を閉鎖、油槽所とした。

この原稿は、戦後の日本石油産業史に価値ある記録として石油学会内のアーカイブに格納されます。同学会のホームページにも掲載され、電子媒体として公開されます。

新潟インテグの主な装置は以下のとおりです。

常圧蒸留装置	40 千 BD
水素化处理装置	11 千 BD
接触改質装置	4.8 千 BD
水添脱硫装置	2 千 BD

この装置の設計原油はクウェイト原油でした。

新潟の建設では、シェル本社 BIPM²から3人のエンジニアが日本に派遣されて、昭和石油の技術陣と共同で設計を行いました。プロセスエンジニア、メカニカルエンジニア、電気トリカルエンジニアの3名で、プロセスエンジニアのひとが主任でした。この人たちはオランダ人の設計屋さんたちで、装置は作るが、動かしたことがないエンジニアたちでした。

わたしは建設作業と並行して、装置の運転マニュアルの作成に着手しました。しかし、このプロジェクトに対応している技術者たちは、シェルのエンジニアを含めても設計屋、機械屋、電気屋で、装置の運転屋は岡田一人なのでした。わたしは運転屋として、そんなにうまくゆくのか？ 全体のバランスを取りながらのスタートアップは忙しいぞ、なにしろ各プラントが次々に、且つ一斉に on stream に入るのだから・・・加熱炉にはトッピングに張り込む原油のパイプと、プラットフォームの張り込み油のチューブパイプが一緒に入っている・・・全体のバランスをとってスタートアップさせるのが大変だな・・・という感想でした。

わたしは「コンパクト化」の思想は、理解した。が、運転する際の手順が判らない。そこで上司に、運転に詳しいエンジニアをシェルから招へいしてほしいと申し出ましたが、上司は「この装置はシェルでも初めてののものであって、経験者はいない、お前がやるしかないのだ。大和魂でやれ！」とハッパをかけられました。この“大和魂”には驚きました！ 終世忘れられない言葉です。

私は一人で宿舎と現場を往復しながら、部屋の壁に P&I を貼りめぐらして、必死の思いで運転マニュアルを書きあげました。マニュアルを書きながら、自分のアタマの中で「この装置が立ち上がって、このレベルゲージの数値がここまできたら、そろそろ次のバルブとポンプの起動準備に入る」とか、運転手順を理解していったわけです。BIPM の仕事は基本設計、つまりタワーのサイズや高さ、トレーは何段、とかの設計をする役割です。日本のエンジニアリング会社は詳細設計と建設で、P&I の作成まではエンジニアリング会社の仕事です。わたしはこ

² Bataafse Internationale Petroleum Maatschappij NV (シェルグループ全体の技術統括子会社、Bataafse はオランダ国の古称「バタヴィア」の意)

この原稿は、戦後の日本石油産業史に価値ある記録として石油学会内のアーカイブに格納されます。同学会のホームページにも掲載され、電子媒体として公開されます。

の P&I を眺めまわして、現場と突き合わせていきましたので、結局、装置の計器の配置とかはオペレーターよりも詳しくなりました。

BIPM から来たオランダ人技術者たちは実に素朴でいい人たちで、打ち解けました。試運転の段階になると、「シェルとしても運転をしたことがないので一緒に運転させて勉強させてくれ」と言ってきて、昭和石油は OK しました。わたしはハーバーさんというオランダ人と一緒に徹夜をして、一緒にオニギリを食べたことがあります。「このライスボールはうまいなあ」とか。このひとはメカニカルエンジニアで加熱炉の専門家でした。新潟インテグ装置のために新しい加熱炉のバーナー、「リユーネットバーナー」を開発した人です。このバーナー一本で、ガス、油からアスファルトまで加熱炉で燃やせます。新潟のインテグ装置が新式バーナーのテストの場になりました。そしてこのリユーネットバーナーが、1964 年（昭和 39 年）12 月に完成した四日市製油所のインテグプラント 105,000BD の加熱炉にも使われてゆくのです。

3. 新潟 SBM 建設工事

3.1 事実

1961 年 1 月、シェル・タンカーズ港灣施設部員が来日して、新潟製油所と新潟港を視察した。この時は次のような結論であった。

- ①3 万 3,000 トン級タンカーの臨港 C 埠頭着棧は可能であるが、浚渫費大であり、関屋分水完成までは 2 万 5,000 トン級の着棧が望ましい。
- ②3 万 3,000 トン級以上のタンカーは関屋分水完成以後でなければ不可能。

これを受けて、同年 6 月、昭和石油は新潟製油所拡張計画を決定している。ここでは、拡張後の処理能力にみあう原油の輸入を効率的に行うために、大型タンカーの受け入れ設備に革新的な思想を取り入れていた。すなわち製油所沖合 3 km に SBM を設置し、原油の揚げ荷に際しては製油所と原油タンカーを SBM 経由、海底配管につなぐ、という構想である。このアイディアはシェルからもたらされたもので、早くも、1961 年 11 月に SBM の試験機を製油所沖合 3km、水深 20 メートルの海上に設標を完了、外航タンカーを使用して約 45 日間の係留テストが行われている。その後、新潟製油所では、シェルから入手した SBM 設計図面に基づいて、実機 SBM の建設に入った。起工式は 1963 年 1 月のことであった。

3.2 オーラルヒストリー

この原稿は、戦後の日本石油産業史に価値ある記録として石油学会内のアーカイブに格納されます。同学会のホームページにも掲載され、電子媒体として公開されます。

岡田氏の語りに戻る。

新潟製油所のわれわれは、既に稼働しているマレーシアの SBM 設備を見学に行かないままで、導入を決めましたが、不安はありませんでした。SBM の基本設計図面はハーグの BIPM から入手しました。ただし、建設や据え付け工事については、シェルから日本への技術者派遣はなかったです。

新潟 SBM は新潟鐵工所新潟工場が受注、製造・建設した。チェーンやアンカー関係も同社でした。メンテナンスも新潟鐵工所が担当。昭和石油側では、この工事は本社製造部の T さんが担当しました。詳細設計や施工、工事のすべてにわたって新潟鐵工所と組んだわけです。

ところが、いよいよ荒れた海にブイを設置してチェーン 9 本で海底に固定したら、早速ひっくり返った。チェーンの強度が小さく、切れたのだ。設計を手直しして、修理して、SBM を沖合に設置し直した。

それから新潟の浜からパイプラインを、沖合いのブイに向かってえんえんと押し出してつなげ、海上に引っ張り出してゆく工事が始まりました。これはつまり、陸上で、所要の長さに溶接してつくった 1 本の長大な配管を、海面に浮かせたまま海上を曳航し、所定の場所で海水を入れて沈めるやり方でした。このとき私岡田はインテグ新装置建設に注力していたので、新潟での海底配管工事の実際は経験していません。本稿後段に載せた鶴巻良輔さんの工事見聞録を参照ください。

次に沖合の SBM に原油荷役用の、フローティング・ラバーホースを取り付けたら、今度は SBM に接続しているホースが切れた。皆で浜を歩いてラバーホースを探したら、太郎代浜、つまり新潟東港のほうまで流されて、その浜辺で黒いホースがとぐろを巻いていた。これを見ていた漁業組合が SBM 技術を問題視したが、そこは漁業組合との折衝担当の S さんが一杯飲んでなだめていた。

わたしは、何回か船を出して SBM を見に行ったことがある。そしたら、魚がブイに付いていて、釣り人が SBM に乗ってきており、危ない。漁師も SBM 周りで漁を始めた。そこで漁協と別途の協定を結び、SBM に登る等、を禁止してもらった。

SBM の運用面でいろいろ試行錯誤があったため、1963 年 9 月のインテグ新装置のスタートアップ原油は、SBM の稼働が間に合わなかった。だから原油タンカーを新潟臨港埠頭に着桟させて、そこから原油が荷揚げされた。

この後の新潟製油所での原油揚げ荷の記録が地震の被災により失われている。わたしも管掌外だから、覚えていない。推測するに、新設の SBM は、この年の運

この原稿は、戦後の日本石油産業史に価値ある記録として石油学会内のアーカイブに格納されます。同学会のホームページにも掲載され、電子媒体として公開されます。

用実績がないまま荒天の冬を迎え、翌春までの SBM 使用制限期間³に入ったものと思われま

4. 新潟製油所被災

1964 年（昭和 39 年）6 月 16 日、新潟大地震が発生し、新潟製油所は大規模なコンビナート火災に見舞われました。最新鋭装置インテグの竣工後、わずか 8 ヶ月での被災の痛手は大きなものでした。昭和石油は新潟製油所再建の思いは強いものでしたが、主力工場の一つを失ったために派生した営業上の諸問題や、再建資金の調達問題など、当時の昭和石油マネジメントは苦悩しました。

ここで新潟地元から、応援の声が挙がりました。1 ヶ月後の 7 月には早くも製油所再建運動が始まりました。8 月にはいると製油所従業員・家族陳情団が上京してきました。また、特約店および協力会社が主体になって「新潟製油所復興期成同盟」が結成され、関係方面への陳情活動を行ないました。

大災害を被ったとしても、昭和石油はなお、新潟での三大地場産業（昭和石油、日本石油、新潟鐵工所）の”御三家”のひとつです。新潟県および市当局、ならびに地元経済界も製油所再建を支持し、昭和石油および関係先への陳情運動をバックアップしました。

8 月中旬、新潟県副知事、新潟市長、県会・市会各議長、商工会議所会頭などが、相次いで昭和石油を訪問しています。製油所再建に対する地元市民の好意的反響も意外に大きく、新聞・テレビなどでしばしばこの再建運動が報道されました。なお、早山洪二郎社長は地震のせいで会社が赤字になった責任を取って 1964 年 11 月 16 日付で社長を退任、後任に大蔵省から来られた上田克郎氏が社長に就任しています。

新潟製油所の再建には、昭和石油はシェルとの調整が問題でした。シェル側にも資金負担が発生します。シェルとしては、日本海側の石油需要が計画通りに伸びるのかどうか、懸念しました。当時は高速道路がなくタンクローリーで陸送できないので、新潟に製油所がない間は、日本海側の需要は、内陸の需要も含めて昭和石油川崎製油所から内航船で製品を転送し、新潟臨港埠頭から揚げていました。シェル本社が派遣した昭和石油取締役会長の S. H. マムフォード氏は、日本海側への石油製品の供給は、近々新設稼働する西部石油山口製油所⁴から内航

³ 新潟 SBM は、おおよそ 10 月から 3 月まで、気象海象の厳しい冬の間、使用が制限される。原油タンカーの係留作業にあたって、作業員を作業船で海上に浮く SBM まで届け、SBM の上面に乗って作業する必要がある、この作業が冬場の荒天時には危険だからである。

⁴ 西部石油(株)は 1962 年に設立されている。1965 年、在日シェルグループとの業務提携

この原稿は、戦後の日本石油産業史に価値ある記録として石油学会内のアーカイブに格納されます。同学会のホームページにも掲載され、電子媒体として公開されます。

船転送でもよい、との見解でした。

ここで、「昭和石油は、新潟でシェルの SBM システムの実証試験の場を提供できるだろう」という、別の話しで交渉が進みました。

当時シェルは、気象海象条件の厳しい北海油田の原油出荷システムに SBM を実用化しなかった。荒天の海象で SBM 技術の運用を試しなかった。そのため、日本海側の新潟沖の海象がきびしい、という条件を考慮して、実証プラントの試験運用の場所を新潟製油所に求めたのです。この話は、昭和石油取締役であった J. カスティール氏から持ちかけられた、と聞いています。この理由が利いてシェル側が新潟再建に同意したと思います。

このようなシェル側の事情も相まって、昭和石油は、1964 年 12 月 23 日、部分被災した集中合理化装置、すなわちインテグ装置 40 千 BD を中核とする新潟製油所の再建プランを決定しました。インテグ装置は建設に当たってサンドパイルをしっかりと打っていたもので、被災が軽少でした。

その後、新潟 SBM は補修、改良が重ねられて、使い物になっていったわけです。シェルとしては、夏冬、青天荒天を問わず、ずっと海に浮いている SBM の挙動に関して貴重なデータが取れましたから、この実証テストは価値があったでしょう。

第 3 部 昭和四日市石油(株) 四日市製油所の SBM システム導入

1. 語り部

鶴巻良輔氏は、1926 年（大正 15 年）生まれ。

1947 年（昭和 22 年）に長岡工業専門学校（現 新潟大学工学部）を卒業。49 年 12 月に昭和石油（株）に入社し、川崎製油所に配属された。後に、四日市市での新製油所建設に、最初期から関わることとなった。

1962 年 4 月に昭和四日市製油所工務課長、68 年 8 月同工務部長、72 年 9 月、同製造管理部長。製造管理部長職のときに四日市公害裁判の結審をむかえ、その対策に奔走なされた。

1978 年 3 月、昭和石油(株)取締役就任。1985 年の昭和石油(株)、シェル石油(株)の合併を経て、1993 年 9 月に昭和シェル石油(株) 代表取締役社長に就

契約が成立した。西部石油山口製油所は 67 年に旧石油業法の下で石油精製業の許可を取得し、1969 年、50,000BD の規模で稼働した。

この原稿は、戦後の日本石油産業史に価値ある記録として石油学会内のアーカイブに格納されます。同学会のホームページにも掲載され、電子媒体として公開されます。

任。

鶴巻氏は、四日市製油所での SBM システムの導入・運用の経験を語るにあたり、まず四日市製油所の大規模拡張のお話からはじめられた。

2. 四日市製油所の大規模拡張

1963 年、昭和四日市石油(株)四日市製油所は 105,000BD のトッパーの新設を認可された。この新設は石油業法(1962 年成立)の施行後の、認可第一号だった、と思う。石油各社が一斉に申請しようとしていたから、日石や三石に負けるな、ということで昭和四日市石油(株)の株主たる三菱商事もシェル石油も昭和石油も一致団結できた。トッパーの設備許可を受けるためには、①建設資金のインパクトローンが外国資本より保証されているか? ②原油処理量は原油輸入の外貨割当枠が確保できているか? ③設備稼働率が設備の完成後数年以内に適正稼働率を確保できるか? ④地元の了解は取れているか? といった点を通産省に事前に説明する仕事がある。だから、会社側は、役所に、粘り強く、労を惜しまず、一生懸命通うわけだ。

この新設トッパーは、通産省に対する設備申請能力 105,000BPSD に対して、許可能力 105,000BPSD と、100%許可であった。設備許可制度の長い歴史の中で、申請能力の 100%許可は初めてのケースで、後先に例が無い快挙だった。

わたしは当時四日市製油所の工務課長であるから、新装置建設の真ん中で働いていた。このトッパーが、今現在も四日市で稼働しているインテグプラントで、完工は 1964 年 12 月です。12 月 22 日が火入れ式。装置は翌 65 年 1 月から稼働しました。

3. SBM システムの検討と導入

四日市製油所の精製能力拡張にあたって、当時は原油タンカーの船型がどんどん大型化していたので、製油所が今後 17 万トンから 19 万トンクラスのタンカーを受け入れることを想定して、原油受け入れ設備増強計画を立てた。ここで一点係留ブイ (Single Buoy Mooring SBM) 方式が発想されました。

これはシェルグループのアイデアだった。

グループとしても、当時は一箇所だけ、ミリ原油の出荷設備で導入していたシステムだったが、わたしはこの発想を聞いたとき、「もらった!」と思った。製油所に栈橋を造るよりもコストが安い。

シェルグループとしては多点式係留方式 (conventional buoy mooring system)

この原稿は、戦後の日本石油産業史に価値ある記録として石油学会内のアーカイブに格納されます。同学会のホームページにも掲載され、電子媒体として公開されます。

も稼働していた。例えば、1970年にシェル・シンガポールのプラウブコム製油所の沖合い1kmに設置された方式のことだ。われわれはこの方式も検討した。が、四日市の海は気象海象がマラッカ海峡よりもきびしく、原油船を四方からガチガチに繋留してしまう方式は、風、波の急速な変化に弱い。何しろ伊勢湾台風が来た港だ。このような条件は昭和石油の新潟製油所でも同じで、だからミリ油田で使われていたSBMに注目したのです。これが完成すれば、今までのように四日市製油所のフィンガーピア棧橋に原油船を着けなくともよくなる。空いた棧橋を製品出荷専用転用できて、出荷能力が強化されるわけだ。

わたしも加わって製油所の総務部が、シーバース建設のアイデアを地元（四日市市や海上保安本部など）に説明し、関連する漁協に同意をしていただいて、建設が許可されました。海上保安庁はSBMシステムについて既に知っており、大きな懸念は抱いていなかった。ただし、いろいろと説明を求められた。

四日市のSBMは、新潟の24インチ揚荷ラインと比べて海底配管が太く（30インチ）、ブイも2箇所建設した。インナーバース、とアウターバースだ。だから、30インチ海底配管も2本いっぺんに作った。両方のバースから、揚げ荷を30インチラインの両方に流せるような設計だった。2つ同時に建設した理由は、SBMは数年に一度、定期点検をするために陸に揚げる必要があり、その際、片方が生きていなければ原油船が着けられないこと。また、原油船が2隻同じタイミングで来ても、片方を揚げ荷させておいて、もう一方の船は別のSBMに着けて準備作業をしてもらうこともできる。海底パイプラインの建設費用に較べるとSBM本体の費用は、大した額ではない。

わたしは工務課長として、インテグプラントの建設とSBM建設を同時に推進していた。両方の完工時期を1964年12月に、ぴったり合わせることが重要だった。SBM設置工事は1964年12月7日に完了した。翌年1月、原油タンカー第1船が着棧しました。

別工事の話はしますが、SBMの本体ブイは、伊勢の大湊で進水して、四日市製油所まで海上を曳航してきました。

さて、このSBMシステム建設の一番の問題は、製油所から沖合い5.5km（アウターバース）と、4.5km（インナーバース）まで、2つのSBMに設置する30インチの揚げラインを2本、どうやって海底に沈めるか、というところだった。ここは技術史の面で面白い。

通常、海底配管を敷設する場合は、レイバージ（Lay barge）と呼ぶ作業船が岸から沖合いまで、あとずさりしながら敷設してゆく。その際、作業船の上でパ

この原稿は、戦後の日本石油産業史に価値ある記録として石油学会内のアーカイブに格納されます。同学会のホームページにも掲載され、電子媒体として公開されます。

パイプを溶接しながらつなげてゆく。パイプ内部はコーティングして海水を入れながら海底に沈めてゆく。これはベクテルの技術で、北海や中東で建設作業実績があった。

ところが、四日市より先行した昭和石油新潟製油所で SBM を敷設したときには、昭和石油は金のかかるレイバーズを日本まで持ってくる費用を節約したかったので、原油揚げラインの鋼管パイプを岸で溶接して長くつなげて、船で 3,000 メートルも沖合いに引っ張り出して行く方法を取った。波の上に糸のように鋼管のパイプラインが浮いている状態で、潮と風に当たってくにやくにならなっていた。新潟の工務部長も、この事態に緊張して、部下に「保険かかっているか！ 確かめろ！」と号令を出した。（もちろん保険はかかっていた。）わたしはその時、新潟に出張してこれを見学していた。アブナイ、と思いましたね。

そこで四日市では違う方法を採用しました。まず四日市製油所の横を流れる鈴鹿川河口に、鋼管の置き場と海に鋼管を沈めるための滑り台を備えた仮設マウンドを作った。ここに 30 インチのパイプを並べておく。鋼管には防食テープ、アスファルト巻き、重りとしてコンクリートが巻きつけてあった。コンクリート巻きの鋼管をマウンド上で溶接してゆく。先頭の鋼管の先には、もちろん閉止板が打ってあった。SBM が設置される 5.5km の沖合いに作業船を泊め、作業船のウィンチで、パイプラインを岸から引っ張り出してゆく。コンクリート巻きは鋼管の内径容積の浮力とちょうど釣り合うくらいに重さを調節してあり、滑り台からゆっくりと海底に下りてゆく。一方、海底はヘドロ状態だったので、ウォータージェットで簡単に、2 メートルほどの浚渫ができた。そこに揚荷海底配管が、時間をかけて、長く、長く、沈んでいきました。今もちゃんと沈んでいます。

四日市製油所の SBM システムでは、中東産原油の他にもブルネイ産のセリア原油も受け入れた。この原油は流動点が高い。が、セリア原油の物理的性状は特殊で、圧力をかけるとワックスの結晶が崩れる。だから海底配管でも揚げ荷ができた。タンカーの本船ポンプで押し込んで陸に送ればよかった。

四日市の海底配管は、後年、40 インチに交換された。これはタンカーの揚げ荷のスピードを増強するためだった。私は昭和 47 年に、シェル本社とこの予算交渉をしました。アウターブイの改造工事が完成したのは 1976 年 12 月のことです。揚げ荷用の配管はその後太くなって行って、82 年 10 月には 42 インチに能力強化されました。

4. 海底配管敷設工事についての補足

以下、工事を請け負った日本鋼管(株) (当時) がまとめた、『昭和四日市石油

この原稿は、戦後の日本石油産業史に価値ある記録として石油学会内のアーカイブに格納されます。同学会のホームページにも掲載され、電子媒体として公開されます。

K. K. 『原油輸送用海底管の計画と施工』日本鋼管技報 No. 33 別刷、1968 年（昭和 43 年）7 月を参照して、技術面での記述を補足する。

【工事の概要(引用)】

この海底管工事は、昭和四日市石油(株)四日市製油所に、超大型タンカーから原油を荷揚げすることを目的として計画された。タンカーは鈴鹿川口沖に新設される 2 カ所のバースにおいて、一点繫留ブイに繫留される。したがって、海底管は、このブイに接続されるフレキシブルホースを受けるフランジからはじまり、上陸地点に至るものである。バースは 2 カ所あるので、アウターバースの位置が海底管の先端となり、インナーバースには海底管から分岐がとられる。

(図、略)

海底管はほぼ並行して 30B、肉厚 12.7mm のもの 2 条が布設された。管体の仕様を表 1 に示す。管体は外面にアスファルト・ガラスマット・ガラスクロス各 1 重巻きの塗覆膜をして工場から出荷され、現地に置いて厚さ約 7.5cm の、ラス入りモルタルライニングによる重量調節をおこなった後、鈴鹿川の河川敷に仮設されたパイプヤードで、長さ約 400m の長管に溶接でつながれた。この長管はパイプヤード北側の進水台上に逐次横移動して、沖合 6,000m 位置に固定した曳航バージによって曳航した。

溶接は炭酸ガスとアルゴンの混合ガスを使用した半自動アーク溶接法によった。溶接部の非破壊検査には、X線透過検査が採用された。

海底管は土かぶり 2m に埋設され、航路部分は管の上側を砂埋めした。掘削にはプリストマン式浚渫船、およびポンプ式浚渫船を使用したほか、もっとも深い部分は管を布設した後に水柱掘削機を使用して管を埋設した。

表1 管体仕様概要				
規格	API Std. 5XL X-42			
製法	UOE方式 サブマージアーク溶接			
外径	762mm (30B)			
内径	736.6mm			
肉厚	12.7mm			
重量	235kg/m			
単長	9m			
内面溶接	なし			
外面溶接	アスファルト・ガラスマット・ガラスクロス 各1重巻き			
重量調節	現地において外面モルタルライニング施工			
管端	ベベルエンド			

この原稿は、戦後の日本石油産業史に価値ある記録として石油学会内のアーカイブに格納されます。同学会のホームページにも掲載され、電子媒体として公開されます。

【総合計画(引用)】

海底管を布設する場合、第一に問題となるのは布設工法の選択である。技報 No. 28 に述べたように海底管の布設方法には、(1) 海底曳航法、(2) 浮遊曳航法、(3) 布設船法 の3つがある。

現在、わが国では本格的な海底管に布設船がないため、工法の選択は海底曳航法によるか、浮遊曳航法によるかにかかってくる。

本工事のように 30B、一本の長さ 5,500m というような長大な海底管では、浮遊曳航法はきわめて困難である。

まず 5,500m の長さの管を、陸上で 1 本のものにつなぐことはほとんど不可能である。そのためには管を逐次曳きだしてつなぐか、または長管を洋上溶接しなければならない。逐次曳きだす方法は、海底曳航と同様の進水設備および曳きだし時間を要し、さらに沈設作業が加わるので、海底曳航法が採用できない場合以外には全くうまみがない。また、海底曳航法とことなり曳きだし作業期間中に荒天に遭遇したような場合には、きわめて危険な状態となる。また、これをさけて管に応急注水して沈下させた場合には、管の引きあげに大きな努力が必要で、場合によっては不可能に近い。

管を洋上接続する方法は、浮遊している菅の洋上における心出し、溶接がきわめて困難で、天候の制約を大きく受ける。接合のための設備が不完全であると、溶接部の信頼性にも悪影響がある。これを防止するためには、強力な海上設備を準備する必要がある、必要な場合には実際にこの準備をするが、1カ所ならばとにかくとして、長大な管をいくつにも分割して洋上溶接する場合には、長時間の静穏な天候が必要であり、我が国の気象条件ではこれを期待することはむりである。

海底管の布設は、いずれの方法を採用しても、荒天の影響を完全にさけることはできないが、長大な管の浮遊曳航はとくに天候・気象条件に敏感で、これにたいして海底曳航法では、ある程度の悪天候まではほとんど作業に影響がなく、また相当はげしい荒天に遭遇しても作業を中断すればよく、まず管体に被害をうけることはない。浮遊曳航法の場合には、いったん気象条件が悪化すると、管体に大きな被害を受けるおそれがある。

このような点から、本工事にかんしては海底曳航法が安全確実な工法として浮き出てくるが、海底曳航法による場合、適当なヤードと、このように長大な管を曳航しうる曳航設備が問題となる。・・・

【施工の要点(引用)】

本工事の施工は諸種の対外折衝の関係もあり、また伊勢湾特有の冬季の悪天候などのため、着工ならびに施工の初期において多くの困難に逢着したが、根本

この原稿は、戦後の日本石油産業史に価値ある記録として石油学会内のアーカイブに格納されます。同学会のホームページにも掲載され、電子媒体として公開されます。

的には予定工期を変更することなく、表 2（略）に示す工程表のとおり無事曳航を完了した。実際の通油は埋戻しおよび両バースの一点繫留ブイの完工の後、実際のタンカーの入港をまって 1 月末に行われた。

鶴見製鉄所で制作・塗覆装・梱包された管体は、船便または貨車便により四日市石原町の管体集積所に搬入された。ここで管体はクレーン車によって運搬、展開されてモルタルライニングを施工して貯蔵された。ここから、モルタルライニングされた管はトラックによって防潮堤上の道路を経て、防潮堤中段に仮設された旋回クレーンの下まで運ばれ、このクレーンによって鈴鹿川中洲に構築されたパイプヤードの上に移された。パイプヤードの西端は搬入された短管の展開に使用され、この部分の南側からパイプヤード全長にわたって走行する門型クレーン 2 台を用いて。同時に 2 条の長管が組み立て溶接された。この溶接台上で接合された長管は、防潮堤の中段に配置された数台の 30 馬力ウィンチによって、ワイヤーロープを使用して回転させ横移動した。このあいだに X 線検査・水圧試験・継手部の塗膜装およびモルタルライニングが逐次おこなわれ、パイプヤード上で曳航まで並べておかれた。

一方、海上においては、まず曳航目標点（ターゲット）を鋼管グイを用いて沖あい 6, 100m の地点に構築し、防潮堤基部に設置した基点を見通して管路を設定した。

管路は沖あい 4, 300m の地点までは、グラス式浚渫船を用いて掘削した。4, 300 m から先端、すなわち 5, 500m の地点までは管を曳航布設した後、当社で開発された気泡ポンプを用いる水中掘削機によって管をガイドとして掘削、埋設をおこなった。曳航作業は沖あい 6, 000m の地点にシンカーで固定された曳航バージにより、あらかじめ管路に布設された 54mm のワイヤーロープを介しておこなわれた。ワイヤーロープの一端は進水台上の長管の先端にスイベルを介して接続され、他端はバージに搭載されたウィンチで巻きこまれた。400m 曳航するごとに、パイプヤード上の 400m 長管を進水台に横移動し、前の長管と溶接接合して再び曳航がくり返えされた。

防潮堤横断のための立ち上がり部との取りあいの関係で、陸側 300m 余は若干屈曲させる必要が生じた。この部分は浮力をもたせて進水台上から横向き進水させ、浮上した状態で漸次予定管路にいれたのち沈設した。

海底管布設終了後、この防潮堤横断のための立ちあがり部と溶接接合し、全線の水圧試験が行われた。・・・

（以上。2020 年 5 月 30 日、記）