

# FRP 耐食油井管市場の到来

○西野 義則<sup>1)</sup> 鈴木 照明<sup>2)</sup> 鵜原 正己<sup>1)</sup> 中井 邦彦<sup>3)</sup> 田村 進一<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>株式会社 NBL 研究所 <sup>2)</sup>株式会社メタルワン <sup>3)</sup>社団法人強化プラスチック協会

## Arrival of FRP corrosion-resistant OCTG market

Yoshinori NISHINO, Teruaki SUZUKI, Masaki UHARA, Kunihiko NAKAI, Shinichi TAMURA

New markets that cannot be applied with conventional API steel pipe which requires a high temperature and high pressure corrosion resistance of deep wells and new oil well pipe in excess of 5000m and EOR reservoir by heating or chemical injection have come. FRP tube according to GPI technology standard centrifugal forming method consisting of glass fibers and basic corrosion resistant resin is suitable for new oil country tubular goods.

### 1 はじめに

油井管には API (アメリカ石油採掘技術標準) 鋼管が使用され、石油採掘がおこなわれていたが、注水など行って延命策を加えても埋蔵量の 40%程度で採掘限界となり枯渇油田とされていた。しかし、最近枯渇油田の油層加熱や酸化流体・炭酸ガスなどのケミカルを加えた再生掘削法による EOR (再生油井) 技術が開発され、埋蔵量の 80%に至るまで採掘が可能となった。これには図 1 に示す既存の API 技術標準による油井管は高温高压下の耐食性が要求される EOR には適さず、新たな EOR 新市場の技術標準である GPI 技術標準管が必要となった。



Fig. 1 International standards of oil country tubular goods, including GPI.

しかし、何れも品質・安全などに関する試験・検査に関する ISO 基準は共通に適用される。

すなわち、GPI は高温高压耐食性能を必要とする EOR (再生油田) や高深度油井などに適合する FRP 材を主とする複合材料管の新技術標準である。

<http://www.gpi-pipe.org/>

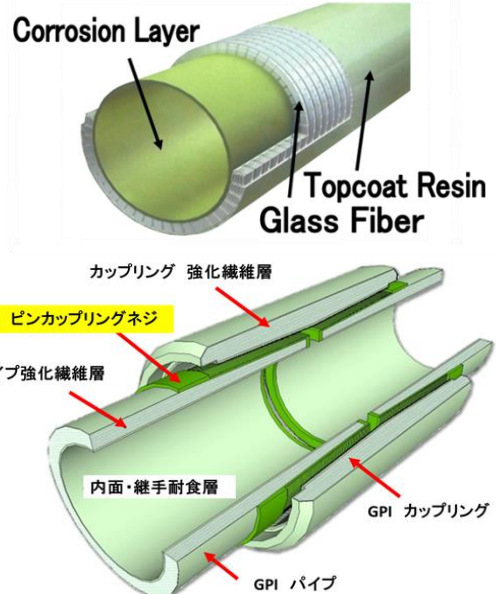


Fig. 2 GPI standard coupling joint structure.

図 2 は代表的な GPI 管の内部構造・継手構造を示す。素材はガラス繊維と樹脂からなり、パイプとカップリングとピンカップネジの 3 部材から構成される。シール形式はねじ間の締め付け面圧力によるシール理論を適用、鋼管のメタルシートリングなどと異なる。特徴は、腐食劣化しないこと、軽くて強く、熱膨張による管路の破壊など発生しない高圧・高温・耐食性に強い管である。さらに GPI 標準は信頼性向上のためにインターネットと製品埋め込み IC チップによるトレサビリティ

テムを構築する。

ここでは、GPI 標準が必要とされる新油井管市場のニーズとその要求仕様について、耐食金属材料では適合が困難となった EOR に必要な仕様と、FRP 材料による遠心成形法で作られる GPI 標準が適合可能である報告を述べる。また新市場には耐食樹脂を基本とする無機・金属材料との複合材料による管体構成が適合することを報告する。

## 2 新用途の油井管

深層地下 1000~10000m の岩石中に含有する資源、その生成は図 3 に示す地球と月の運動による地球内部・表

仮説：石油・ガスの地下資源の存在（地下封入資源は自然に地表に出ない）と、1万メートル以下の深層では石油・ガスの存在はない（地殻の対流で地下封入物は同じ状態では地表に戻らない）

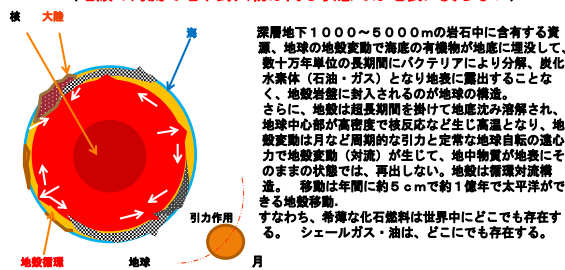


Fig. 3 Earth's internal structure.

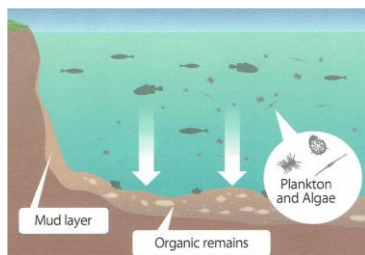


Fig. 4 Carcasses of organisms that accumulate in the bottom of the sea.

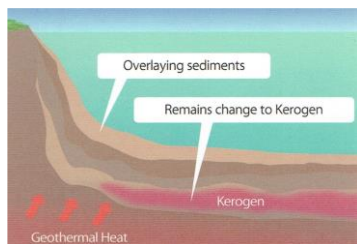


Fig. 5 Sediment to be deposited.

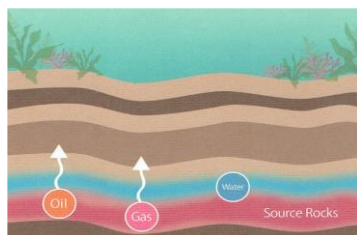


Fig. 6 Bacteria decompose methane gas.

面の地殻変動で図 4 に示す海底の有機物が海底に堆積して、図 5 に示す堆積物に覆われて地底に埋没して、図 6 に示す数十年単位の長期間に地熱と堆積物の圧力下で有機物がバクテリアにより分解、炭化水素体（石油・ガス）となり地表に露出することなく、地殻岩盤に封入され、メタンガスや石油となって、図 7 に示す長期間を掛けて、移動、分離して密閉岩盤の地殻変動で時間を掛けて、移動分離して密閉岩盤の地

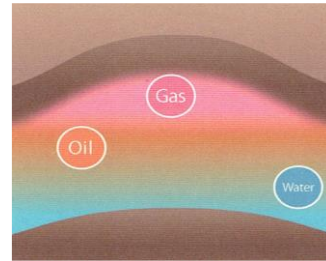


Fig. 7 Methane gas and oil separation.

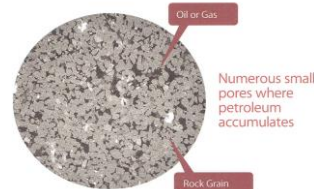


Fig. 8 Gas and oil-containing rock.

含有する層の岩石は、図 8 に示すポアラス状に穴を持つ。油田の掘削は図 9 に示す埋蔵する凸部に①初期にボーリングすることで約 10~20%埋蔵量の石油ガスが採取できる。自噴が終わると周囲に②注水のための掘削を行い注水により石油を押し出し約 30%の採掘、さらに増粘剤の混入で、石油の絞り出し効果を加えて③約 25~50%採掘ができ、初期掘削から約 30 年で油井は枯渇する。ここで、掘削初期はガスが主体で産出するが、その後石油の産出が主体と変化、②の注水することで採掘石油に水が混入して、その水を循環して使用することから、注水に用いられる水質は、硫化水素  $H_2S$  濃度が上昇して鋼管腐食が激しくなる。

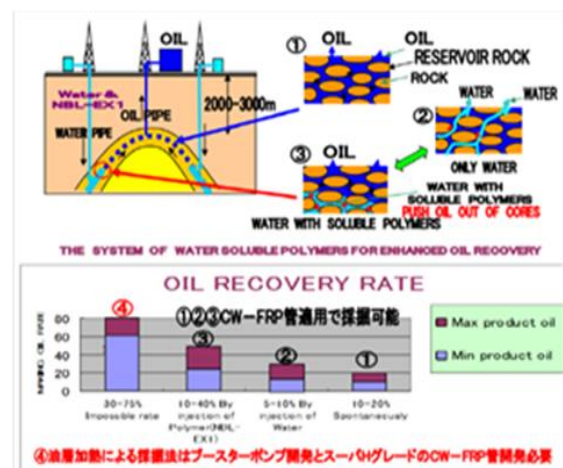


Fig. 9 Mining of oilfield: the improvement of recovery rate of ①-④.

図 10 は、中国勝利油田の最も激しい腐食油井で約 1 年使用後の鋼管腐食状態である。通常の油井に混入する腐食環境は pH3-4 程度であるが、ここで示した勝利油田の例や中東、ベトナムの海洋石油などは pH2 程度となる油井もある。こ

これらの油井には図 10 に示す FRP 油井管の使用が効果的であることが知られている。すなわち、注水を伴う油井には、枯渇末期に採油含有率が 8% を下回り、排出される H<sub>2</sub>S 汚染水の処理を行う費用負担が困難なことなどから急速に枯渇化する。



Fig. 10 The steel pipe corrosion due to water injection into the oil layer.

すなわち、管の腐食に対するコスト負担により、採掘限界が定まる。

図 11 は、耐食金属管の 15Cr と一般の VE 樹脂 FRP 管の材料を H<sub>2</sub>S 腐食ガスと CO<sub>2</sub> ガス封入環境下による pH2-3、95℃ 条件下のクリープ強度劣化特性比較である。

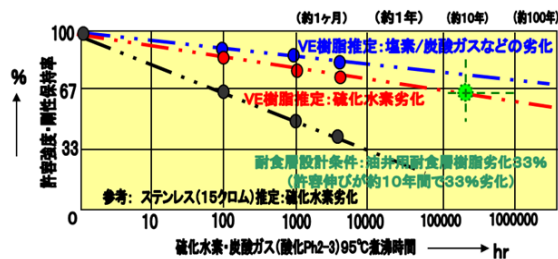


Fig. 11 Comparison of G grade resin with chromium metal about creep degradation characteristics.

図より、耐食鋼管の材料劣化特性に比べて、FRP 耐食樹脂材は約 5 倍以上の耐久性があることが判る。すなわち、図から 100 年たっても劣化は約 40% である FRP に対して、約 1 年未満で 1/3 まで強度が劣化するのが耐食金属管の材料である。これは実際上、FRP 管は pH2 程度の酸性溶液では劣化がないことを意味し、酸性腐食は考えなくても良いことを示している。

### 3 EOR 用油井管

図 12 は EOR 採掘原理を解説した図である。3 層からなる油層を 140℃ スチーム加熱する仕組みを示している。このケースは地上ボイラー加熱の油層加熱ではなく、深層地下熱利用の加熱法を採用した場合を示す。加熱スチームを得るために深層地下(約 1 万 m)まで掘削した井戸に注水してケーシング中心から断熱管で加熱するスチーム(約 200℃ 以上の高温水)を取り出し、注水管より油層に注入することで、油層を高压高温スチーム加熱する。

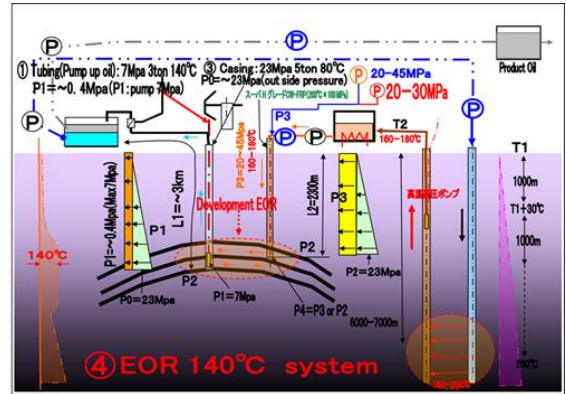


Fig. 12 Oil layer heating EOR mining: the request of high temperature and corrosion resistance for OCTG.

さらに、注入スチームには強酸化液などを混入させて、岩盤に含有する石油を岩盤を溶解して抽出加速を行うなどし、回収水と同時に採掘石油を回収、油水分離して、水を再び深層地下に注水することで生産する。

すなわち図 12 は、枯渇油井を油層 140℃ 加熱による EOR を行うことで生産復活を成し遂げる方法を示す。この方法を採用すれば、枯渇井戸から、さらに埋蔵量の約 40%、約 30 年の採掘が可能となる。

これには、油層加熱のための約 200℃ スチームの注水管と深層地熱利用の場合は約 10000m 井戸掘削が必要であり、高温高压スチーム製造には さらに深井戸仕様となる管の軽量化が必要となる。なぜなら鋼管の比重が 8 であることから、吊り下げ管に作用する引張力の限界から約 5000m 程度が限界であるためである。すなわち、管を軽量化するか、更なる高張力材の開発を必要とする。

さらに管の継手ねじは、耐食金属管の限界は応力腐食

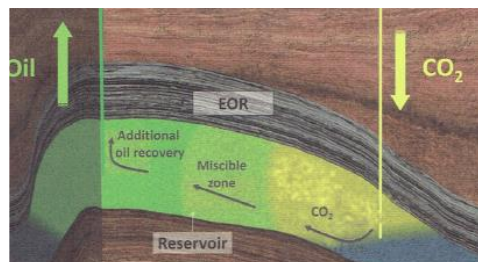


Fig. 13 CO<sub>2</sub> injection EOR: the request of high temperature and corrosion resistance for OCTG.

割れ共用限界から耐熱 200℃であり、耐圧も高温・耐食条件では著しく低下する。すなわち、2 層ステンレス金属管をもってしても適用できない。

さらに、図 13 は EOR に強酸液や炭酸ガスを併用すれば、さらに腐食環境が悪化することを示す。結果として図 14 に示す金属管の種類と油井管適用範囲である H<sub>2</sub>S 濃度、CO<sub>2</sub> 濃度や温度など性能表示と適用範囲から、EOR 適用管の必要仕様は図右上に示す赤色領域 EOR 適用領域を満足する必要がある。この領域は Ni-Cr の最高級と言われる耐食金属管をもってしてもカバーできない。さらに、耐食性以外の軸引張り強度の面でも 5000m 深井戸が限界であり、新油井管市場に適する金属管は見当たらない。また、高温耐食金属材料は、希少金属のクロム鋼 Cr、ニッケル鋼 Ni、モリブデン Mo が多量に必要とされるため、非常に高価で、9 インチ管 1 本 (約 1 トン) の価格が乗用車と同等とも言われている。

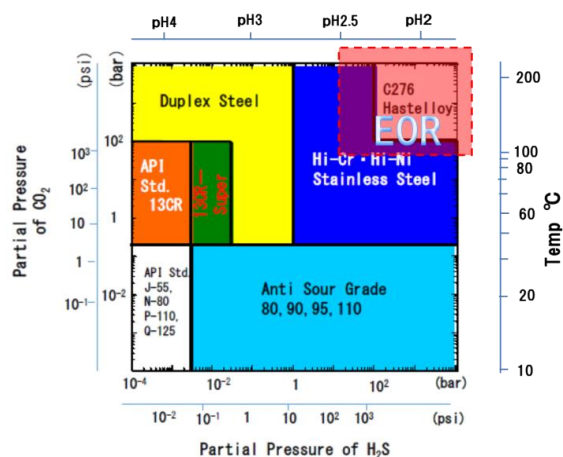


Fig. 14 Required specifications of the new oil well pipes associated with EOR spread.

一方で、金属管は強度があり安価であることが最大のメリットである。この特徴は FRP 管の強度材料がガラス繊維であることを考えると、FRP の強度材に金属材を用いるなど複合化をさらに発展させれば、より実用性 (ユーザ要請の安価) を求めることにつながるが考えられる。また、NBL 社では高温適用樹脂が 200℃までは通常の樹脂と大差がない価格で既に開発されている。100MPa 内圧管に使用するガラス繊維は 0.45N/tex のコマーシャルベースの普及品が適用できる。さらに、開発された遠心成形法を用いると従来 FW 成形法の約 100 倍の生産速度で均一テンション成形が可能であるため同一素材で製品性能が約 2 倍以上得られることが公表されている。

また、鋼管のメタルシートリングのシール構造継手は金属腐食割れによるリーク対策を必要とされる問題に対しては、柔軟なポリイミド系や特殊エポキシ系樹脂の使

用で 350℃程度までの FRP 製パッキンが提供できる。すなわち、新市場には樹脂材、無機強化材、金属鋼管など特性を生かした複合化が最適品質コストの原点となると思われる。ここで、従来鋼管と GPI 標準 FRP 管の特徴比較を図 15 で行う。従来耐食金属材料は 2 種の管、FRP 製は遠心成形 (GPI 標準) 管とを性能比較する。そして 5 つの比較項目の性能を FRP 管性能を 100 とし、耐食金属材料のそれぞれの比較性能を示す。

#### 耐食金属管とFRP製CW管の特徴比較

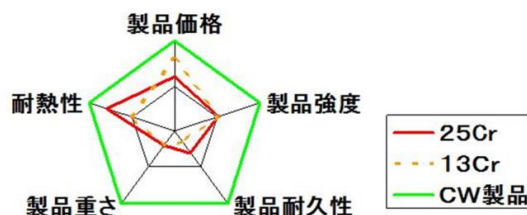


Fig. 15 In the high-pressure corrosion resistant OCTG field, FRP pipe is superior to metal tube.

図より、金属材料は最も得意とされる耐熱性が FRP の 80%程度の性能評価で、他は全て著しく優位性がないことが判る。すなわち、新油井管市場では GPI 標準の FRP 管が圧倒的に優位であることを示している。

#### 4 結論

EOR など高压・高温・耐食性が必要でさらに軽量で深井戸対応が必要な新油井管分野には、金属管の弱点である耐食性能が極めて不利であることから、GPI 標準の FRP 管がすべてに関して圧倒的に優勢となる。すなわち、設計耐圧 100MPa、耐熱 200℃、pH2 耐食、10000m 深井戸、熱膨張による自己破壊が生じないなど要求仕様を全て満足し、さらに耐食金属管に比べて十分に安価な管が提供できることから、通常の FW 管が鋼管代替可能ことから、NOV 社など巨大な油井管メーカーが存在するに至る。

さらに、新市場の管材には、低級品においても、金属管表面を全て FRP 積層することで、耐食性能を向上させ、金属管の弱点である継手を樹脂ネジと樹脂パッキンなどのコラボレーションを行うことで、低温低压の耐食管が提供でき、耐久性が著しく改善できることから、石油・ガス採掘管には低級品から高級品まで、複合材料による製品化が大きな成果が期待できる。

完