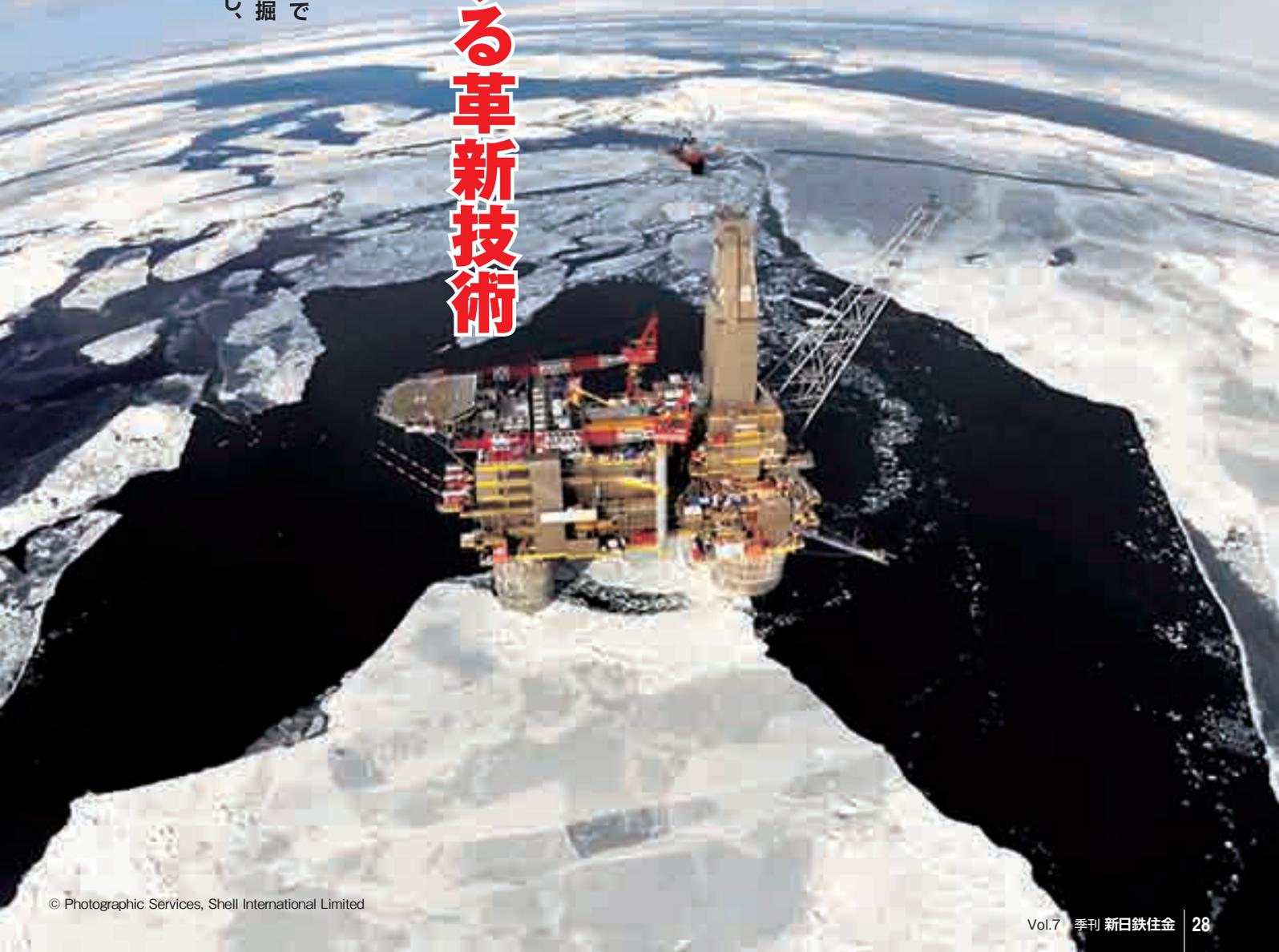


高合金油井管

高合金油井管 天然ガス開発に貢献する革新技術

火力発電や都市ガスなどの燃料として利用される天然ガスは、ガス田で地下4000〜1万メートルに達するまで特殊なパイプで掘り進め、採掘されている。新日鉄住金は過酷な採掘条件に耐える高合金油井管を開発し、エネルギーの安定供給に貢献している。



増え続ける 天然ガスの可採埋蔵量

天然ガスは燃焼時の環境負荷が小さいクリーンエネルギーと言われる、使用量が増えている。燃焼時にSO_x(硫黄酸化物)や煤塵を発生することがない。さらにCO₂やNO_x(窒素酸化物)の排出量も、石油や石炭に比べ少ない。

天然ガスは、数千万〜数億年前の動物や植物の死がい海底で積み重なり、砂や泥の中に留まり長い年月を経て熱や圧力を受けながら気化して、地層のある部分に溜まることでつくられる。2012年現在、世界で確認されている天然ガスの可採埋蔵量は208・4兆m³、可採年数は64年だが、各地で新しいガス田が発見されており、生産量は年々増加している。埋蔵地域も中東をはじめロシア、アジア、アメリカなどに分散し、安定的な生産・供給が見込める。

また採掘・生産技術の進化は、かつて回収が難しいと考えられていたシェールガスの商業生産を可能とし、アメリカを中心にカナダ、中国、オーストラリア、東欧などで開発機運が高まっている。このほかメタンハイドレート※1も注目されるなど、環境負荷が他の化石燃料と比較して小さく、埋蔵量が豊富な天然ガスは、エネルギー資源の柱として期待を集めている。

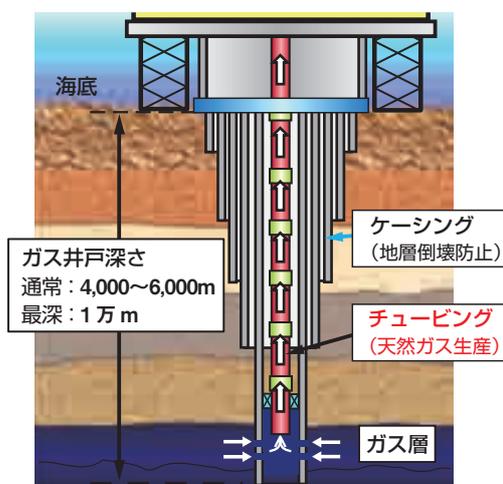
過酷な大深度ガス田の開発

天然ガスは多くの場合、地下4000〜6000メートルの硫化水素や炭酸ガスを大量に含んだ高圧高温の地層にある。そこで採掘には、クロム、ニッケル、モリブデンなどの高価な合金を多く含む二相ステンレス鋼やニッケル合金(25〜60%ニッケル)など耐食性に優れた高合金油井管が使用される。

一般的な採掘方法(図1)は、まず目的の天然ガス層の深さまでケーシングと呼ばれる鋼管で井戸をつくる。ケーシングは地層が崩れるのを防ぐ壁となる。次にチュービングという、内面に天然ガスが通る油井管をセットし、ケーシングの内側から目的のガス層の部分に向け火薬で孔を開け、チュービングを通して地上に天然ガスを汲み上げている。

「近年、天然ガスを増産するため、大深度のガス田が開発されています。そこで生産の効率化と開発費用削減のため、できるだけ口径が大きく長い鋼管が求められるようになりました。これまで以上に非常に厳しい腐食環境に耐えるとともに、採掘される天然ガスによる高い内圧や、地層からの外圧に耐える超高強度も必要とされます。こうしたニーズにいち早く応え、2000年代前半から、超高強度化と大径長尺の高合金油井管の研究開発に乗り出しました」(鉄鋼研究所・相良雅之主幹研究員)

図1 天然ガス掘削の概要



技術開発本部 鉄鋼研究所 鋼管研究部
相良 雅之主幹研究員

※1 メタンハイドレート: 低温高圧の海底下などに固体で存在するメタン

全く新しい技術発想で ブレイクスルー

天然ガス田開発は、最も深いもので1万メートルに達する。その世界は地層圧力2万psi(※2)(138メガパスカル、1379気圧)以上、地層温度200℃以上。良く知られているように、水圧は深さ10メートルで14・5psi(1気圧)であることから、いかに超高压高温環境であることがわかる。さらに硫化水素や炭酸ガスを大量に含むため、鉄にとって最悪の腐食環境となる。

この過酷な環境に耐え得る高強度油井管を開発するため、新日鉄住金の研究開発チームが着目したのは窒素だった。窒素には2種類以上の元素が互いに溶け合い材料を強化させる「固溶強化」という特性があり、加工により変形が進むほど硬さを増していく。そのため窒素を添加することで高合金油井管の強度を向上させることができる。さらに窒素は安価に利用できるという特長も持っている。

しかしそのアイデアを進めるには大きな障害があった。窒素を添加したニッケル合金油井管には亀裂が発生し、その亀裂が時間と共に進展する応力腐食割れという現象が起きることがわかったのだ。一般的に応力腐食割れ対策としてクロムやニッケル、モリブデンなどの高価な合金元素を添加して、腐食の進行を抑え耐食性を強化する。

「高価な合金元素を使うと、当然コストがアップします。そこで、材料組織の構造を制御することによって、応力腐食割れに耐えるという全く新しい発想で新材料開発に

挑みました。そのブレイクスルーとなったのは希土類元素(※3)でした(和歌山製鉄所・乙咩陽平主査)

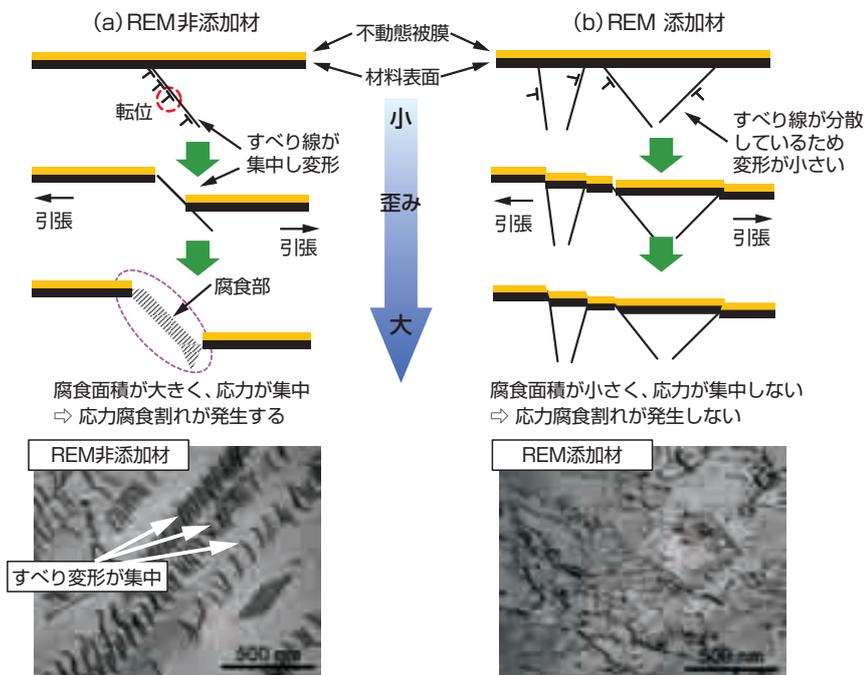
窒素を加えることで強度を高めたニッケル合金に、希土類元素を添加したのだ。ニッケル合金は、耐食性を備えた皮膜が腐食環境で初期破壊されても修復し腐食を防ぐ。しかし窒素を加えたニッケル合金は、材料組織のすべり変形が一部のすべり面に集中して発生し、腐食が大きく修復が間に合わなくなる。そこへ希土類元素を添加することで、すべり変形が分散し、修復が容易になる。この現象はナノレベルの観察でも明らかにした(図2)。これにより、強度を従来の最高125ksi(862メガパスカル)級から140ksi(965メガパスカル)級に高めるとともに、耐食性と加工性も改善することに成功した。

量産技術を確立

超高強度と高耐食性を両立できたが、続いて第二の関門が待ち構えていた。大径長尺鋼管を安定して製造する技術の確立だ。従来、高合金油井管の外径は7インチ(※4)以下が主流で、それ以上は量産品としてはつくられていなかった。7インチから9・6インチに外径を広げること、天然ガス田開発費を約30%削減できるという試算がある。そこで外径7インチ超えと、長さ10メートル超えの両立を目指した。

そこで和歌山製鉄所のシームレスパイプ製造に適用している穿孔圧延製管法(写真

図2 希土類元素(REM※3)添加が耐応力腐食割れに及ぼす効果



和歌山製鉄所 カスタマー技術部
乙咩 陽平主査

※2 psi (pound per square inch) : パスカルは国際標準で、アメリカでよく使われるのが psi という単位。1,000psi を 1ksi (kilopound of force per square inch) と呼ぶ
 ※3 希土類元素 : REM (Rare Earth Metal)、レア・アース。蓄電池や磁石などのエレクトロニクス製品に不可欠な元素
 ※4 インチ : 1インチは 25.4ミリメートル

1)で、量産する技術の開発に取り組んだ。課題となったのは、圧延による品質不良の発生だ。高ニッケル合金は炭素鋼やステンレス鋼に比べて硬く、圧延中に内面にキズがきたり、引き抜きがうまくいかないなど製造が非常に難しい。現場では、圧延時にどのように変形するのか三次元数値解析で予測し、圧延条件を変えて数限りなく試作した。その結果、キズと引き抜き不良を防ぎ、口径7インチ・長さ10メートルを超える高合金油井管を量産する技術の確立に成功した。

グローバル市場で実用化

こうして開発した新製品の最後のハードルは実用化だった。大径長尺の高合金油井管に対するニーズがあることは確信していたし、お客様の反応もよかった。しかし実際にそこまで高いスペックが求められる大深度ガス田開発がなかなか進まず、採用されることがないまま2年経過した。それでもあきらめずにPRを続けたところ、大径長尺の高合金油井管は2011年、中東のオイルカンパニーに採用され、中東沖合の大深度天然ガス田開発で適用されることとなった。

そしてエネルギー産業への貢献が認められ、2013年には高合金油井管とその製造技術開発が大河内記念生産賞を受賞した。さらに、140ksi級の超高強度高合金油井管についてはアメリカ腐食学会で

2014年技術革新賞を受賞(写真2)。腐食・防食に関連する先進的革新的な開発により、現行の技術を大きく超える躍進を遂げたソリューションに与えられる賞で、国際的に高い評価を得た。

数々の難題をクリアした新製品は、グローバル市場で着実に足場を築き始めている。

「超高強度高合金油井管で見せた革新的な研究開発力に加え、他社に比べてデリバリーが安定している点もお客様から評価いただいています。また、この製品開発によって、業界トップレベルの多様な油井管ラインナップを取りそろえることができ、お客様のさまざまな要求に応えることができるようになりました。シエールガス田開発への適用も可能で、幅広い製品ラインナップを通じて世界の天然ガス生産と安定供給に貢献していきたいと考えています」(和歌山製鉄所・天谷尚上席主幹)



写真2 アメリカ腐食学会 (NACE International) 2014年技術革新賞受賞トロフィー

写真1 穿孔圧延製管法ライン



高級鋼管の製造拠点である和歌山製鉄所に設置。加熱した棒状の材料を交叉穿孔機で中空の管にし、その後延伸圧延する。



和歌山製鉄所 カスタマー技術部
天谷 尚上席主幹