

油井管用特殊ねじ継ぎ手「JFEBEAR」

Premium Joint, “JFEBEAR” for OCTG

1. 緒言

近年、開発の容易な油井、ガス井が減少するとともに、より高深度でかつ高温高压の井戸が増加している。また、**Fig. 1** は、北米における水平井戸掘削用やぐら数の推移例であるが、掘削技術の進歩にともない、傾斜井戸、水平井戸など、より複雑な形状の井戸が増加している。これにともない、油井管のねじ継ぎ手に対する要求、たとえば、引張り、圧縮、内外圧、曲げなどの複合荷重下における気密性などの要求も、ますます高度化している。JFE スチールでは、これらの環境へ適用可能な油井管用ねじ継ぎ手、JFEBEARを開発した。その概要については、前報¹⁾にて報告を行っている。

一方、ねじ継ぎ手の一般的な評価方法についても、従来、アメリカ石油協会 (American Petroleum Institute, API) によって規定された API RP5C5²⁾ が広く用いられてきたが、

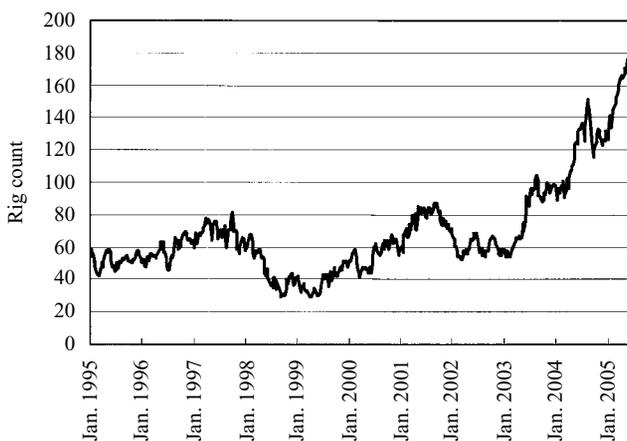


Fig. 1 Horizontal well rig count in North America

2002年に新しいねじ継ぎ手評価要領として ISO 13679³⁾ が正式発行されるなど、ますます高度化している。

本報告では、JFEBEARの特徴、ISO 13679に基づくねじ承認テスト状況、および、生産概要について述べる。

2. JFEBEARの特徴

JFEBEARの特徴および設計の考え方をを以下にまとめて述べる。

ねじ継ぎ手として要求される特性には、(1)引張り強度、(2)引張り、圧縮、内圧、外圧あるいは曲げなどの複合荷重下における気密(シール)性、(3)ねじの締め付け、または、締め戻しにおける耐焼き付き(耐ゴーリング)性、(4)ねじを繋ぐ際の耐噛み違い(スタビング)性、(5)ねじ締め付け時の潤滑剤(コンパウンド)排出圧力(ドープ圧)にとも

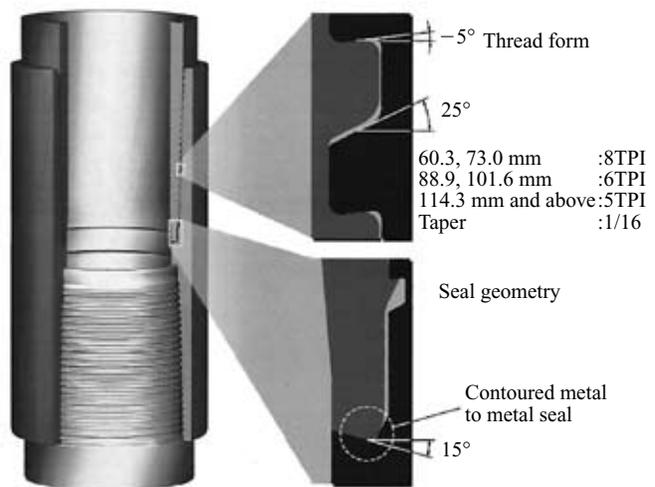


Fig. 2 JFEBEAR design features

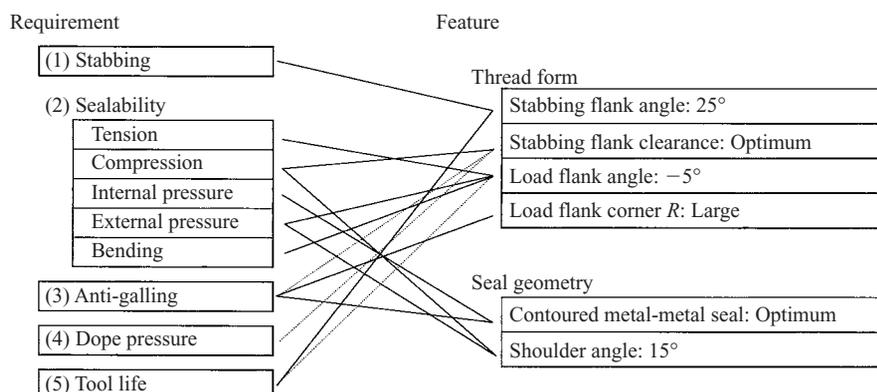


Fig. 3 JFEBEAR design concept

なうねじ変形防止，(6)ねじ切削時のツール寿命および寸法精度があげられる。**Fig. 2**にJFEBEARの概要を，**Fig. 3**にJFEBEARの特徴をねじ継ぎ手の要求特性との関連で示す。

2.1 ねじ形状

JFEBEARは，ねじを締め付けた状態のねじ山接触面（ロードフランク）の角度が -5° と負の値のいわゆるフックねじを採用している。フックねじは，APIバットレスねじに代表される台形ねじに比べ，引張り強度，および，引張り，曲げ時のシール性に対しては有利となる。しかしながら，耐ゴロリング性，切削ツールの寿命については，一般的に不利とされる。これに対し，JFEBEARでは，ロードフランクのコーナー円弧の最適化により耐ゴロリング性向上を図った。また，パイプ側ねじのカップリングへの挿入（スタビング）性の向上のため，スタビング面の角度を 25° と大きくしている。コーナー円弧，および，スタビング面角度を大きくすることは，切削ツール寿命の向上にも寄与している。

パイプおよびカップリングのスタビング面の間隔は，耐圧縮性能を向上させるためには，小さくすることが望ましい。しかし，小さくしすぎると，ねじピッチがばらついた場合，ねじ山の干渉によるゴロリングが発生する危険性が高くなる。JFEBEARは，この両方を考慮し，スタビング面間隔を最適範囲に設定している。

また，締め付け時の潤滑剤の排出性を確保するため，ねじ山と谷の間隔を広くし，ドープ圧によるねじ変形を防止している。

2.2 シール形状

特殊ねじの最大の特徴は，メタル-メタル接触によるシール部を有することにある。このシール部に要求される特性としては，シール性そのものに加え，耐ゴロリング性も重要である。

JFEBEARのシール面は，円弧状のパイプ側と円錐状のカップリング側で構成されている。**Fig. 4**にFEA（有限要素法）にて求めたシール部のフォンミーゼス応力分布を，**Fig. 5**には，シール接触面圧の分布の例を示す。接触面圧がシール部の中央付近で最大となる凸状の分布となっていることが分かる。一方，パイプ，カップリング共円錐状のシールでは，凹状の接触面圧分布となることが知られている⁴⁾。JFEスチールでは，局所寸法あるいは表面状態のばらつきがある場合，凸状の高いシール面圧を持つ方がシール性への影響を小さく抑さえ，設計通りのシール性を得る効果が期待できると推定している。また，ゴロリング生成の要因としては，接触面圧に加え，接触しゅう動距離が考えられるが，接触長が短い場合，接触位置が締め付けの進行に従い変化する効果が期待でき，実際の接触距離が小さ

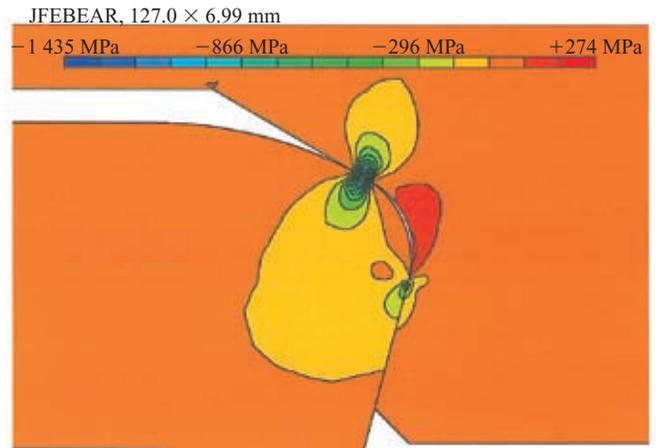


Fig.4 Stress distribution of JFEBEAR seal

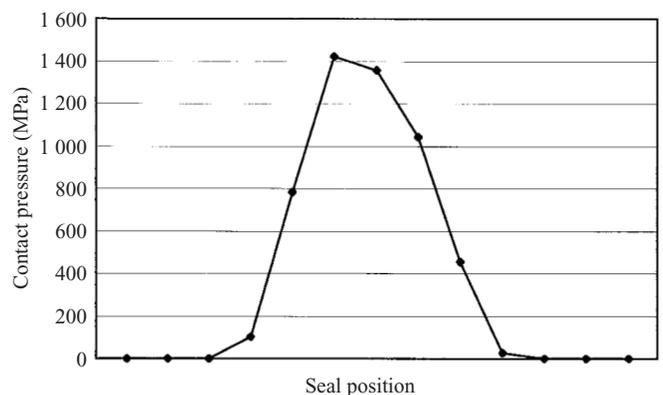


Fig.5 Contact pressure distribution on JFEBEAR seal surface

くなるという利点がある。この円弧状シールは，FOXねじ⁵⁾においても採用されており，耐ゴロリング性に関し優れた実績をあげている。

ショルダー面の角度については，締め付け時のシール性向上に関してはより大きい角度が望ましいが，外圧，圧縮負荷時の変形抑止の観点からは小さい方がよい。JFEBEARでは 15° を採用している。

3. JFEBEARの性能評価

3.1 ねじ評価試験要領

ねじ継ぎ手の評価方法としては，従来，API RP5C5が用いられていたが，現在は，ISO 13679が世界のメジャーオイルなどで広く認知されている。以下にISO 13679の特徴を示す。

3.1.1 サンプル数

テストの難易度はCAL（connection application level）1～4までの4段階に分かれるが，最高のCAL4の場合，8組（1組はパイプねじ2端とカップリング1個）のサンプルが用いられる。

3.1.2 ねじ寸法

8組のサンプルそれぞれに，ねじ干渉量 / シール干渉量

につき大/小, 小/大, 大/大, 小/小と種々の組み合わせが割り付けられる。また, 従来の評価要領になかった条件として, パイプとカップリングねじのテーパにも大/小, 小/大, 標準/標準の組み合わせを与え, 実際のねじ, シール干渉変化を助長する影響を考慮している。

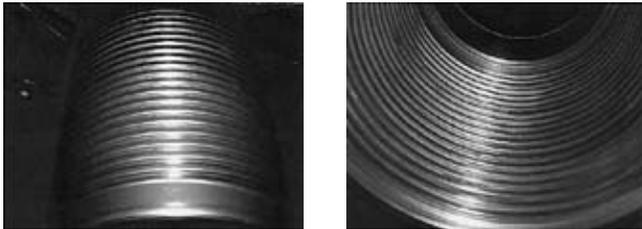
3.1.3 締め付け

パイプとカップリングの締め付け条件としては, 片端 (A 端) は 1 回の締め付けのまま, 反対端 (B 端) は, 耐ゴロリング性の評価のため, 複数回の締め付け, 締め戻しを行った後, 最終の締め付けを行う。

Photo 1 は, HP2-13CR-110 の 13 回の締め付け, 締め戻し実施後のパイプおよびカップリングねじ表面状況の例である。クロム系材料では, 耐ゴロリング性向上のため, パイプねじ表面にはブラスト処理を, カップリング表面には銅メッキ処理を実施している。締め付け時の潤滑剤としては, API 規定の複合潤滑剤 (API modified thread compound) を用いた。

3.1.4 ベーキング

締め付け時に使用した潤滑剤 (コンパウンド) のシール性への影響を除く目的で継ぎ手のベーキングを行う。



Specimen #3B make and break test (HP2-13CR-110)
Photo 1 Make and break test result

3.1.5 シール性テスト

シール性のテストには, シリーズ A, B, C の 3 種が規定されている。

シリーズ A は, 引張り, 圧縮, 内圧, 外圧の複合荷重下でのシール性評価である。**Fig. 6** に荷重条件の例を示す³⁾。油井管は, 基本的に最小降伏応力を基準に設計され, 内圧条件の負荷は, フォンミーゼスの降伏条件の 95% まで試験される。また, 外圧条件の負荷は, API で規定される圧潰 (コラプス) 限界まで要求される。一方, 圧縮側に関しては, 基本的に試験実施者が決定した性能限界までテストすることとなっているが, 現在, 80% 降伏強度を要求される場合が多い。

JFEBEAR の試験においても, 80% 圧縮を基本試験条件としている。ISO 13679 の複合荷重試験の特徴として, 1 から 4 象限の負荷を繰り返し与えてシール性を評価することがある。この目的は, 複合荷重, 特に圧縮によりシール部に若干の変形が発生する可能性があるため, 負荷を受けた後のシール性を評価することにある。なお, 内圧試験はガスにより, 外圧試験は液体により実施される。

次に, HP1-13CR-110 の FEA 評価の事例を紹介する。現状の FEA は 2 次元軸対称モデルで, ねじの螺旋などの 3 次元的な寸法分布が反映されていないこと, また, 摩擦係数などの境界条件設定が不十分といった問題があるが, 接触荷重分布やその変化についての定性的な現象は表現されていると考えている。**Fig. 7** は, 今回計算を行った複合荷重点を示している。その各荷重点における接触面圧積 (Fig. 5 に示した面積に相当) の変化を **Fig. 8** に示す。締め付けによりシール面に接触面圧積が発生しているが, 引張り荷重を受けることにより減少する。その後, 内圧を受

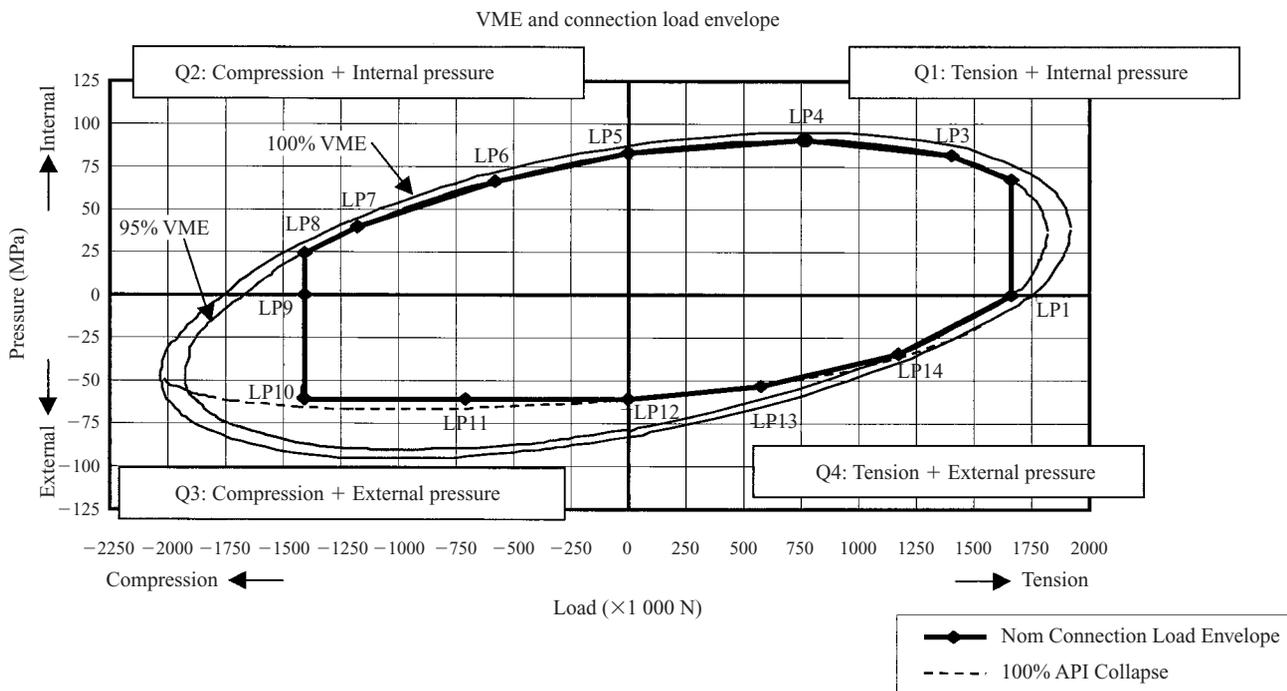


Fig.6 Test series A load path

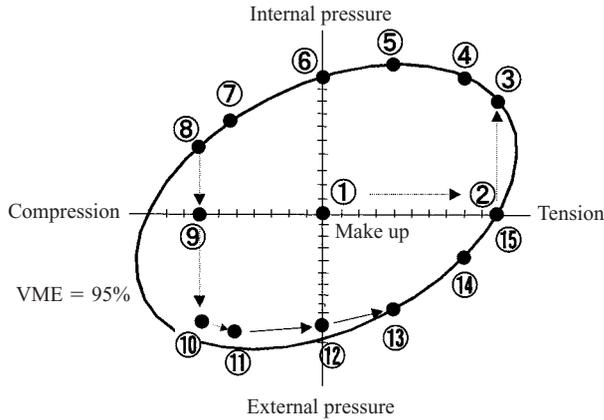


Fig. 7 Load step for FEA

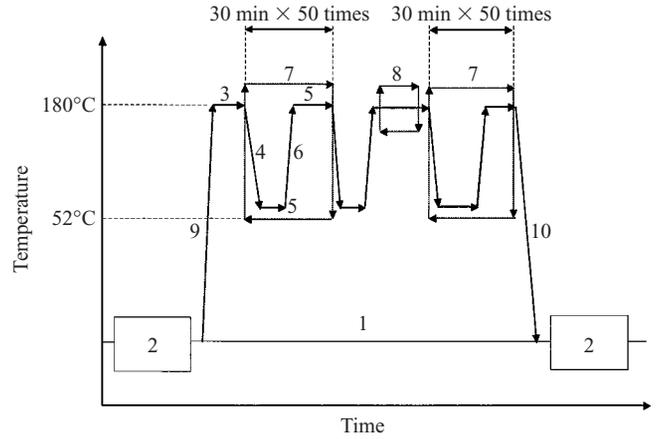


Fig. 9 Thermal cycle test condition

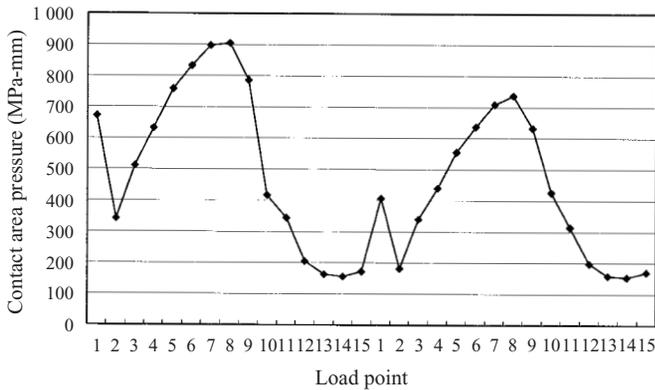


Fig. 8 Contact area pressure change

を受けた時、最低となる。この後引き続き、同じ負荷点を通すと、引張り状態での接触面積圧は1回目に比べさらに低下することが分かる。しかし、1回目で最小値となった外圧、引張り点での値は、ほぼ同等の値となっている。

シリーズBは、引張り、圧縮、内圧に曲げが加わった複合荷重試験である。

シリーズCは、熱サイクルテストと呼ばれ、継ぎ手を52°Cから180°Cまで昇降温を計100回繰り返しかつ内圧、引張りを加えてもシール性が保たれることを確認するテストである (Fig. 9)。井戸上部の温度は、生産中は生産流体の影響で高くなり、生産を休止すると下がる。この影響を評価することが、シリーズCの目的である。

けることにより上昇、さらに圧縮荷重を受けることにより、いったん、最大値を取る。しかし、その後、外圧、引張り

サンプル1, 4, 5, 7はシリーズAを2, 3, 6, 8はシリーズBを実施した後、1~4はシリーズCのテストを引き

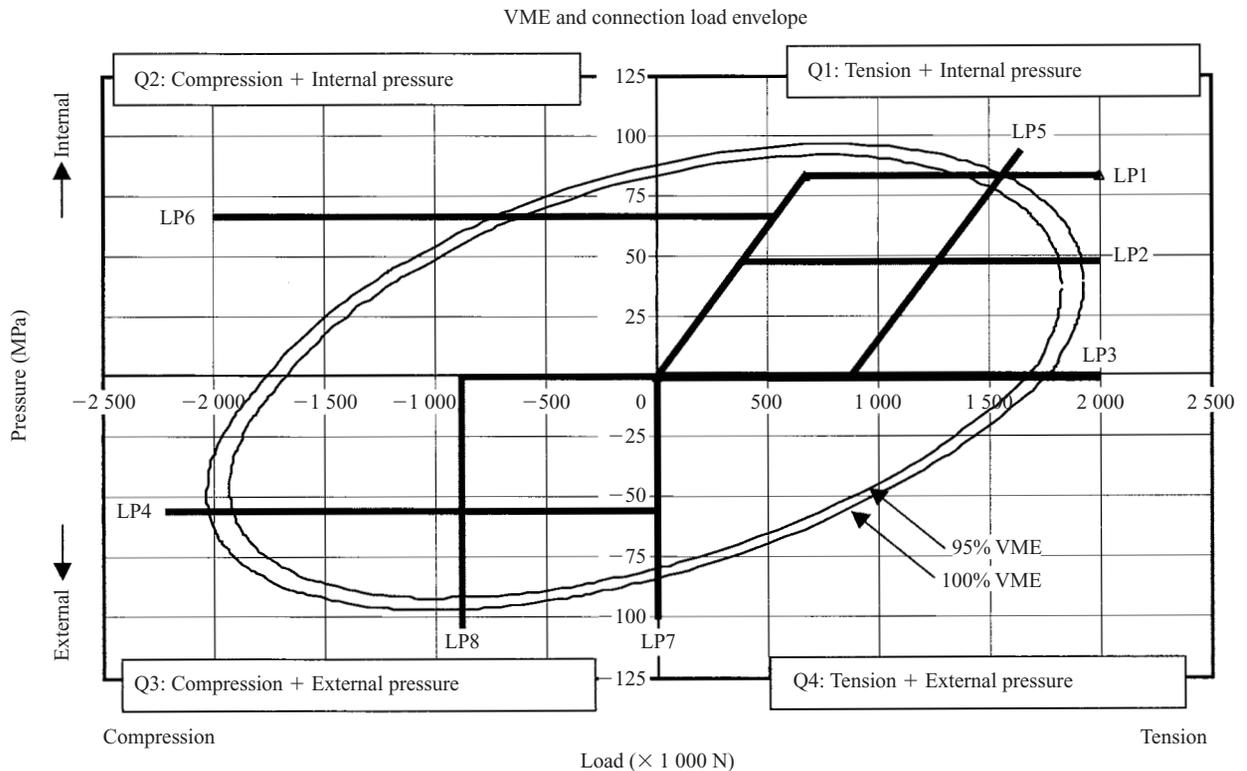


Fig. 10 Limit load test path

続き実施する。

3.1.6 破壊テスト

シール性テスト終了後、参考データとして、フォンミーゼス降伏応力あるいはAPI コラプス力を超える負荷を与え、どこで継ぎ手の破壊あるいは漏れが発生するかを評価する (Fig. 10)³⁾。

3.2 ねじ評価試験状況

ISO 13679 に基づく、JFEBEAR の評価試験を実施中である。すでに、数サイズのテストが終了し、さらに継続実施している。

4. JFEBEAR 生産概要

JFEBEAR は 1999 年に基本設計、開発が完了し、各種承認試験を進めてきた。そのシール性能に加え、井戸での締め付け作業のしやすさなどが高く評価され、順調に生産量を伸ばしている。2004 年には、メキシコ湾の深海プロジェクトへ採用され好評を得た。また、生産量も順調に増加している。

今後、JFE スチールの標準ねじとしての基盤を強化すべく、生産および技術サービス体制の拡充を図っていく予定である。

5. 結言

- (1) 高深度かつ高温高圧の井戸、また、傾斜井戸あるいは水平井戸などの過酷な環境へ適用な油井管用特殊ねじ継ぎ手、JFEBEAR を開発した。
- (2) JFEBEAR は、フックねじと円弧状のメタル-メタルシール部により構成されるが、その独自の設計により、高いシール性、耐ゴースリング性、ねじの締め付け作業性などを兼ね備えている。
- (3) ISO 13679 の CAL4 に基づく評価テストを実施中であり、すでに、数サイズのテストが完了している。
- (4) 今後、ねじ承認を進めるとともに、ねじ生産および技術サービスの拡充など、お客様要求の改善を図っていく予定である。

参考文献

- 1) 高野順, 山口正男, 國重秀範. 川崎製鉄技報, vol. 34, no. 1, 2002, p. 21-28.
- 2) API Recommended Practice 5C5 (RP5C5). 1st ed. 1990-01.
- 3) ISO 13679. 1st ed. 2002-12.
- 4) 成田昱, 前田惇, 永作重夫. 住友金属. vol. 46, no. 1, 1994, p. 65.
- 5) 山本健一, 小林邦彦, 間口龍郎, 上野雄夫. 川崎製鉄技報. vol. 21, no. 3, 1989, p. 202-207.