

## TODAY



## 「実学主義」を貫く 教育と研究を信条として 大同大学 理事・副学長 徳納 一成

大同大学は、名古屋市南区に位置する学生総数 3,500 名程度の中規模の大学です。しかし、その歴史は古く、いかに中京地区の学園らしいどっしりとした歴史を有しています。私は、新日本製鐵(株) (現：新日鐵住金(株)) を退社して本学に参ってからまだ 5 年余ですが、本学の歴史は実に魅力的です。

本学の源流は、電力事業の父とも言える風雲児、福沢桃助 (1868～1938 年) に至ります。桃助は、福沢諭吉の娘婿です。数々の事業を手掛けた後、1909 年、名古屋最大の企業である名古屋電燈(株) (現在の中部電力の前身) に入社して社長となり、木曾川水系の水力を利用した電源開発に乗り出しました。1915 年に同社に製鋼部を設け、翌年、(株)電気製鋼所を設立。一方で、1921 年に大同電力(株)を設立し、その名古屋製鉄所を分離して大同製鋼(株)を独立させました。翌年の 1922 年に、この大同製鋼(株)の製鋼部門と(株)電気製鋼所製鋼部門の併合により(株)大同電気製鋼所 (1938 年に大同製鋼(株)と改称) が誕生しました。後の大同特殊鋼(株)です。

この大同製鋼(株)の第 4 代社長となった下出義雄 (1890～1958 年) は、もともと「下出書店」を東京神田に開業していたほど学問・教育に熱心な人で、本業の傍ら、「技術者を養成して社会、国家に貢献したい」という信念から、1939 年 1 月に財団法人大同工業教育財団を設立して初代理事長に就任し、4 月に甲種工業学校を開校しました。そして、組織名の改称などを経て、1964 年 4 月に、機械工学科と電気工学科を有した「大同工業大学」が誕生し、初代学長に、大同製鋼(株)の研究所長を歴任した錦織清治 (1903～1969 年) が就任しました。その後、情報学部を新設して 2009 年には校名を「大同大学」と改名し、現在に至っております。

このような歴史から、大同大学は、産業と社会に貢献する人材を育成することを旨とし、その理念は、「実学主義」であります。現在、学部は、工学部 (機械工学科、総合機械工学科、電気電子工学科、建築学科) と情報学部 (情報システム学科、情報デザイン学科、総合情報学科) の 2 学部、大学院は工学研究科と情報学研究科の 2 研究科からなります。中京地区の特徴ですが、学生は地元志向が強く、学生のほとんどは東海 3 県の子です。本学の学生は、物静かで一見おとなしいのが特徴です。しかし、ひとたび打ち込

むものを見つけたら、それに集中する傾向があるようです。企業に就職してから、現場の皆さんにかわいがられ、その中心となって活躍している卒業生が大勢おり、本学同窓会のパワーと活力には驚かされます。

さて、前置きがたいへん長くなりました。私は、2012 年 4 月に本学の機械工学科に参り、教育・研究では「材料工学」を担当しています。鉄鋼メーカーのサラリーマンだった私が、「実学主義」の旗のもと、材料をどのように教えようかたいへん悩みました。機械工学科学生向けの材料工学の教科書はいくつかありますが、どれも総花的で、あまり面白くありません。実学だからこそ、少ない説明で本質を理解させ、あとは自分で考えさせたいと思い、15 コマの講義のレジメを、「転位増殖とその運動による塑性変形が、材料の強度・延性を支配する」ということと、「実用材料として重要な合金の地図である状態図を読み込む」ことに特化して作成しました。毎年、修正・加筆していますが、まだまだ不十分で、毎回の講義の最後を実施する学生の演習の結果を見ながら、自分の努力不足を痛感させられる毎日です。それでも、次第に学生が「転位」を理解し、「状態図」が読み込めるようになるプロセスを味わうのは痛快なものです。

私は、この 4 月から副学長を拝命し、主に、「研究」と「就職」について責任を負っています。「研究」に関しては、理工系研究においては、産業に資する製品や技術の基礎となる考え方を創出することが本学の研究のあり方と考えています。一方で、本学には情報学部があり、その研究に対する考え方をしっかりとしたものにするのも私に与えられた課題のひとつです。私にとって異分野ですが、メディア向けの製品やデザインなど多種多様なアウトプットがあり、それを探求して究めることもまた研究と言えるでしょう。この分野の教員や関係者とも議論し、活発なアウトプットに繋がりたいと考えています。「就職」に関しては、中小企業を中心とした慢性的な人手不足から、大学側にとっては、今は追い風ではあります。しかし、教育の本質である人間形成をおろそかにすれば、いずれ、しっぺ返しが来ることは間違いありません。心して、全人格的な面から学生教育を考える必要があると思っています。

最後になりますが、昨今、教育・研究行政の在り方について、いろいろな局面で取沙汰されています。会社勤務時代は他人事のように考えていましたが、中京地区のご父母の大切な子女をあずかる身となった今、身を正しつつ、前向きに活力をもって教育・研究に取り組んでいけば必ずや道は開けると信じ、日々努める毎日です。

# 中空式試験法による高圧水素の簡便な影響評価法の 取り組み状況と今後の課題

国立研究開発法人物質・材料研究機構  
構造材料研究拠点 緒形 俊夫

## 1. はじめに

構造材料を使用する際には、実際に使われる環境で特性評価試験を行い、材料の個々の特性に対する環境による影響を把握しておくことが必須である。しかし、極限環境になるほど環境の生成と維持に必要な装置が大型化し、設備の導入・運用・維持の経費や労力が増大し、試験の実施が難しくなる。当機構では、構造材料の極低温を始めとする極限環境における特性及び信頼性を評価するため、試験法を開発するとともに簡便化による試験技術の普及・確立に取り組んでいる。

新エネルギー・産業技術総合開発機構 (New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO) のプロジェクト「水素利用技術研究開発事業」の JRCM グループ ((一財) 金属系材料研究開発センター、新日鐵住金(株)、(株)日本製鋼所、新日鐵住金ステンレス(株)、愛知製鋼(株)、(国研) 物質・材料研究機構) に参画し、水素ステーションにて使用可能な鋼材の拡大に関する研究開発に取り組んでいる。その取り組みの中で当機構は、独自に開発した高圧容器を使わず中空式試験片内を高圧ガス環境にする簡便な高圧水素環境中材料特性評価法<sup>1)</sup>を使い、水素ステーションにて使用される高圧容器等の材料の低温および高温における高圧水素ガス環境下での材料特性を評価している。

さらに、今後の水素ステーションでは、液化水素の使用も計画され、水素の昇圧に使われる液化水素ポンプなどの機器を構成する材料は、極低温の液化水素と高圧水素ガス環境に適合する必要が

あり、本評価法が簡便でありながら、極低温高圧水素ガス環境における材料特性を評価できる唯一の方法であるので、試験片と試験法の最適化について紹介する。

## 2. 中空式試験法による高圧水素の簡便な影響評価法

### 2.1 高圧容器法との比較

中空式試験法の概要は前報<sup>2)</sup>に記したが、従来の試験片及び負荷治具を高圧容器内に置く高圧容器法による高圧水素中の材料試験との比較を表1に示す。

高圧容器法では、肉厚の高圧容器を用いるため、試験片の脱着から取り扱いが容易ではなく、容器ごと温度を変えるため試験片の温度を変え難く、試験片に荷重を負荷するプルロッドと高圧容器との間の摺動部のシールが低温/高温では一層難しい等々の課題が多い。一方、中空式試験法は、極低温高圧水素環境での材料特性の評価ができる唯一の方法であり、高圧容器と付帯設備が不要で設備にかかる経費と維持費が桁違いに

表1 中空式試験法の高圧容器法との比較

	高圧容器法	中空式試験法
得られる絞り比や強度特性	ほとんど同じ (図1、圧力の影響は図2)	
高圧容器と付帯設備	要	不要
高圧ガス設備費と維持費	約1億円+数百万円以上/年	ボンベ圧 (15MPa) まで不要
極低温/高温試験	困難あるいは不可 (シール部)	可 (冷却/加温設備は必要)
伸び計の使用	困難あるいは高価	可 (通常の試験と同じ)
高サイクル疲労試験	数Hz以上は不可 (シール部)	試験機の能力次第
使用する水素量	容積×圧力×(300/温度(K))	圧力によるが約100cc以下
試験片の加工費	約1万円/本	約2万円/本

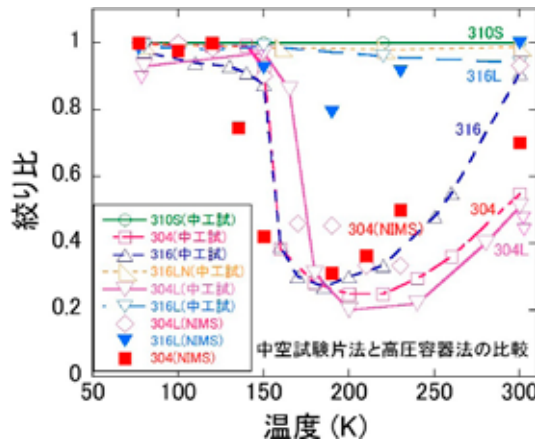


図1 産総研 (中工試) において外圧式の1.1MPa水素中で得られた絞り比と中空式の13MPa水素中で得られた絞り比 (水素ガス中の絞り/ヘリウムガス中の絞り) は殆ど同じ<sup>3)</sup>

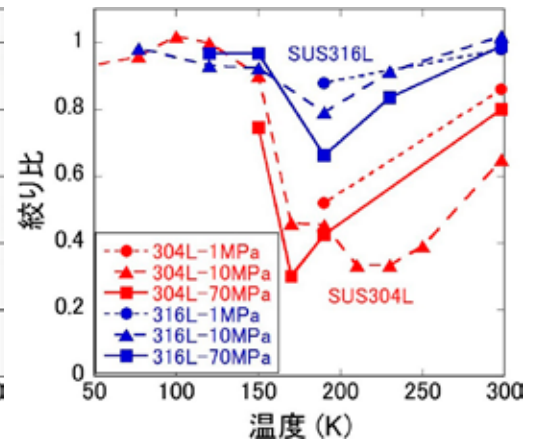


図2 中空式試験法で得た、SUS304LとSUS316Lの1MPa、10MPa及び70MPaにおける絞り比 (水素ガス中の絞り/ヘリウムガス中の絞り) の温度による変化

少ない上に、試験が容易等々の利点があり、今後の普及が期待されている。

## 2.2 中空式試験法による低温高圧水素環境での評価の貢献

SUH660 および XM-19 を極低温の液化水素環境と高圧ガス環境で使用するために、極低温高圧水素環境での材料特性の評価ができる唯一の方法である中空式試験法による低歪み速度引張試験（SSRT 試験）を、90 MPa の水素ガスまたはヘリウムガスを試験片内に封入し、27℃、-80℃、-160℃、および -240℃で行っている。<sup>3)</sup>

## 2.3 中空式試験法の今後の課題

過去に、配管状の試験片を用いた軸荷重試験の例は数多くあり、広く認識されているが、本中空式試験法では、穴の内径を試験片平行部外径より十分に小さくし、断面積にして 10%以下にすることで、強度特性や伸びに加えて絞りの測定が可能になり、絞り比による高圧水素の影響の評価を可能にした。例えば SUS304L の室温大気中の絞りは、穴なしで 82%、1mm 径で 80%、2mm 径で 76%であったが、水素環境中とヘリウムガス環境で得られた絞りの比の%にすると、1ポイント以下の差にすぎない。1mm 径では、試験前後の断面積変化を計算するため穴の径の変化を測定してもしなくても、絞り比の値の差は 1ポイント以下である<sup>1)</sup>。

これまでに丸棒試験片の中心軸が中空の試験片について寄せられた懸念を、中空式試験法の今後の課題として取り纏めて表 2 に示す。

図 1 に示したように、この上なく手軽で安価な中空

式試験方法で得られる結果が、高圧容器を使う方法による結果と殆ど同じであることから、これらの懸念が杞憂であることは明らかであるが、オーステナイト系ステンレス鋼において、水素の圧力の影響は 70MPa 以上では小さいことや、中空式の方が材料が使われる実際の環境に近く、水素の影響が出易い傾向にあることから、表に掲げた課題の検証が進めば、さらに普及することが期待されている。

## 2.4 中空試験片と試験手順

### 2.4.1 試験片加工

丸棒引張試験片あるいは丸棒疲労試験片の中心軸における穴あけは、試験片の長さで切断した丸棒に放電加工で穴をあけ、その後、ワイヤカットで 3 回転加工で、穴の内表面粗さ約 8 μm に揃える。

従来の試験片は、ネジ部の端に市販の配管継手を埋め込むかパイプを溶接し継手で繋いでいたため、加工費が高い（3~5 万円）、溶接部から漏れ易い、使用圧力の制限（82MPa）等の短所があったが、図 3 に示す新試験片の加工費は 22,000 円で溶接を使わず溶接部からの漏れが無く、使用圧力も 100MPa 以上となり、今後の検証試験が捗ると期待している。

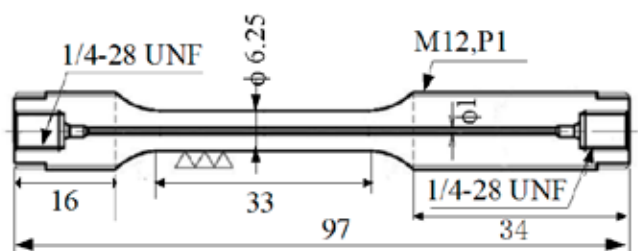


図 3 改良された新中空試験片（単位:mm）

表 2 中空式試験法の今後の課題

項目	内容
高圧容器と中空試験片を用いる方法とで得られる結果	産総研での 1.1MP 水素中の結果と中空式簡便法の 10MPa 水素環境中の引張試験と疲労試験の結果は、ステンレス鋼や他の鋼材でも殆ど同様の結果が得られているが、水素圧が 100MPa 近傍で低温までの検証が求められている。
中空試験片寸法の絞りへの影響	SUS304L の室温の絞りは、穴なしで 82%穴の内径が 1mm で 80%、2mm で 76%と多少変わるが絞り比にすると%以下の差に過ぎない。
空隙内面の性状の影響	粗い放電加工の方が水素の影響が大きく、研磨すると影響が小さくなり、ワイヤカットの 3 回転加工で、粗さ 8 μm に統一している。試験片表面を研磨仕上げする高圧容器法より、加工ままの中空式の方が実用容器や配管の環境に近い。
フープ力の影響 内圧の影響	$\sigma = PD/2t \approx P$ 、内表面にガス圧を受けているが、引張方向の応力ではない穴の断面積が試験片平行部断面積の数%で、殆ど影響ない。外から静水圧をかけて絞りを助長する可能性がある高圧容器法より、内圧をかける方が実際の環境そのものである。

長いネジ部を治具に通し、その下で 1/16 インチの配管を繋ぎガスを送り込み、短いネジ部の方はプラグで封じ切るが、ここにも配管を繋げば、気体あるいは液体を流すことができ、高圧水素に限らず、様々なガスや溶液（硫化水素、二酸化炭素、酸やアルカリ・腐食の液体）の高温/低温の高圧試験も可能である。圧力が 1MPa 以下で、封じ切って配管を外してしまえば、高圧ガス保安法の規制に掛からず、材料試験機がある施設で通常の試験片と同様に引張試験や疲労試験が可能となる。封じ切る場合は、関連特許（4817253 号と 4696272 号）があるが、簡便さの利点の方が桁違いに大きい。

さらに簡素化を図り、試験法の普及と検証試験を容易にする予定である。

### 2.4.2 試験手順

- 1) 試験片を試験治具に装着し、平行部に伸び計を 2 個マウントする。
- 2) 加圧用の配管を長いネジ部端に接続する。

- 3) 使用ガス（水素ガスあるいはヘリウム等の不活性ガス）を充填しガス漏れチェック。
- 4) ガスを放出し試験片内と配管内を真空引き（再びガスを入れ真空引きを2回行う）。
- 5) 試験片内に使用ガスを充填し、冷媒槽や温調機で試験温度にする。
- 6) 試験片温度が試験温度に達したら、ガス圧を試験圧力に調整する。
- 7) 不活性ガスは試験温度とガス圧力が安定したら直ちに、水素ガスは充てん後、1時間経過し、試験温度とガス圧力が安定したら試験を開始する。
- 8) 試験は、ストローク制御で試験開始時の変位速度は毎分0.6mmで、荷重が耐力未満の1kNに到達後、変位速度を毎分0.06mm（初期歪み速度：約 $3 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ ）にする。
- 9) 試験中は、ガス圧の変化や荷重の挙動に異常がないかを監視する。
- 10) 引張試験のみの所要時間は、3時間～7時間。

### 3. 中空式試験法による高圧水素の簡便な影響評価の例

これまで、燃料電池車用の候補構造材料として市販のSUS304、304L、316L、430、630、SUH660、INCO718等の高圧水素環境中の特性評価のスクリーニングテストとしての引張試験と疲労試験はほぼ済ませた。

図1と図2にSUS304LとSUS316Lの絞り比の温度による変化を示したが、図4に数種のSUS304Lの0.2%耐力と引張強さの温度と水素圧の影響を示す。絞り比と同様に、190K付近で水素の影響が最も大きく、また水素の圧力が高くなると、引張強さが低くなる。

水素の影響を受ける材料は、1MPaでも絞り比や強度が小さくなるが、破断時の材料状態の破面には、図5のように、より顕著に表れる。

大気中では、全面ディンプルの延性破面が、1MPaの水素環境中では、煎餅を割ったような脆性的な破面になるのは衝撃的である。多くの方が、水素の影響について興味を持ち、水素圧は1MPaで十分影響が評価できるので、この簡便な評価法を用いて自ら評価し、データを蓄積するとともに、考察して頂けることを期待する。

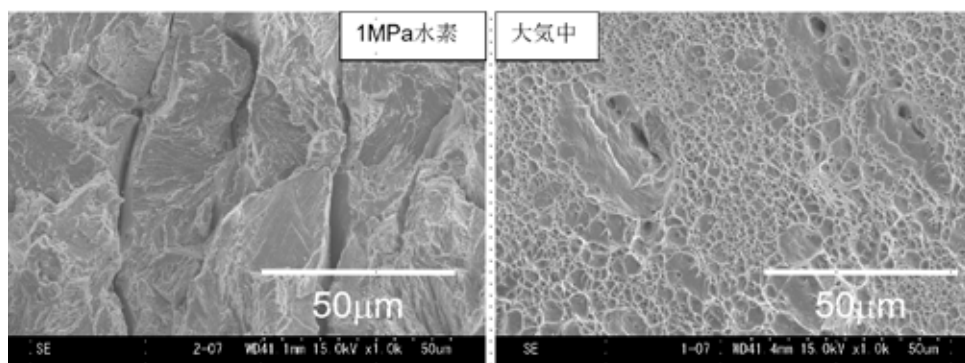


図5 SUS304の室温における1MPa水素中と大気中の破面

### 4. おわりに

前報<sup>2)</sup>にも書いたが、オーステナイト系ステンレス鋼の引張試験においてfccのオーステナイト相に高圧水素の影響は殆ど無い。多少のbcc相があっても実機での使用中に所定の力が加わらなければ或いはbcc相が新たに生じなければ水素の影響は無い。高強度材料を高圧水素環境で使用する際には、低温で水素の影響が顕在化する場合もあるので、温度とガス環境や設計応力に表面性状を考慮した実環境での疲労試験のデータも確認する必要がある。

今後、中空式試験法による高圧水素の簡便な影響評価法が普及し、水素環境下の材料特性のデータと知見が蓄積し、材料の信頼性がより高まることを期待している。

#### 文献

- 1) 緒形俊夫：日本金属学会誌、72(2008) 125-131
- 2) 緒形俊夫：JRCM NEWS、第346号(2015) 2-4
- 3) 辻上博司 他：圧力技術、印刷中

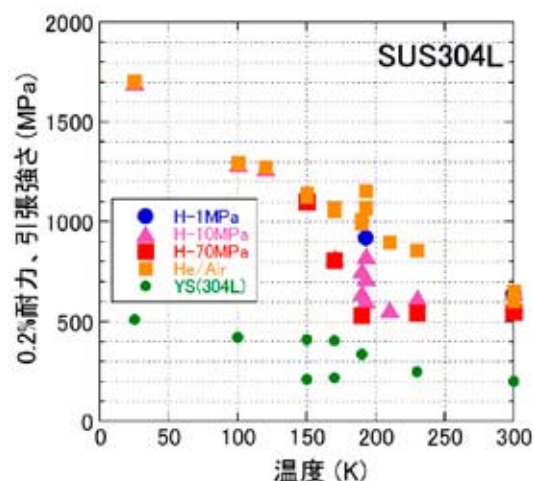


図4 SUS304Lの水素ガスとヘリウムガス中の0.2%耐力と引張強さの水素圧と温度の影響

The Japan Research and Development Center for Metals  
JRCM NEWS / 第369号

内容に関するご意見、ご質問はJRCM 総務企画部までお寄せください。  
本書の内容を無断で複写・複製・転載することを禁じます。

発行 2017年7月1日  
発行人 小紫正樹  
発行所 一般財団法人 金属系材料研究開発センター  
〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目5番11号 第11東洋海事ビル6階  
TEL (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285  
ホームページ URL <http://www.jrcm.or.jp/>  
E-mail [jrcm@oak.ocn.ne.jp](mailto:jrcm@oak.ocn.ne.jp)