

**特集：プラント圧力設備の基礎****第3部：圧力設備の関連規格**T&T テクノロジー  
田原 隆康**1. 圧力設備関連規格・基準**

産業分野に広く使われている圧力設備は潜在的な破裂危険性を持つために、その安全性、信頼性を充分確保できるものとして製作され、又、プラント設備として長い間安心して供用できるよう法律や技術基準で、詳細な規定が設けられ、製作者や、事業者はその基準を満足するよう義務付けられています。

**1.1 ISO 16528 圧力容器の共通性能規定**

2006年に各国圧力容器規格の国際統合化を目的に発行された ISO 16528-1 Boilers and Pressure Vessels- Part1:Performance requirements には圧力容器の健全性を確保するための性能要求規定が示されています。ここでは圧力容器規格として、対応すべき破壊モードが、短期、長期、繰り返しタイプの破壊及びこれらの組み合わせとして分類されています。

これらの破壊モードのうち、少なくともぜい性破壊、延性破壊、継手漏洩や他の機能喪失に至る過度の変形、弾性又は弾塑性座屈については、圧力容器の設計基準及び方法に考慮しなければならないとしています。又、設計基準として必要な規定項目を設けて安全性を確保することも要求しています。

ISO 16528-2 Boilers and Pressure Vessels- Part2: Procedures for fulfilling the requirements of ISO 16528-1 では、標準発行団体の発行する基準が ISO 16528-1 に示す性能規定を満足することを表明するための手順と標準様式が与えられています。日本からは強制法規である圧力容器関連4法（高圧ガス保安法、労働衛生安全法、電気事業法、ガス事業法）の各技術基準の共通事項を一般事項として規格化した JIS B 8265 (2017)「圧力容器の構造 — 一般事項」が登録されています。

参考に JIS B 8265 (2017)「圧力容器の構造 — 一般事項」の目次を表1に示します。

表 1 JIS B 8265 (2017) 圧力容器の構造— 一般事項

JIS B 8265 (2017) 圧力容器の構造 — 一般事項 目次	
目次	6. 溶接
序文	6.1 一般
1. 適用範囲	6.2 溶接継手効率
1.1 適用する圧力容器	6.3 突合せ溶接
1.2 圧力容器の範囲	6.4 プラグ溶接
2. 引用規格	6.5 胴と管板又は平鏡板の溶接
3. 用語及び定義	6.6 溶接後熱処理
4. 材料	7. 製作
4.1 一般	7.1 一般
4.2 鉄鋼材料	7.2 胴の直径法真円度
4.3 材料の許容応力	7.3 鏡板の製作公差
4.4 材料の諸特性	8. 試験及び検査
5. 設計	8.1 突合せ溶接継手の機械試験
5.1 一般	8.2 溶接継手の非破壊試験
5.2 胴及び鏡板	8.3 非破壊試験の方法及び結果の判定
5.3 ふた板	8.4 非破壊試験の再試験
5.4 ボルト締めフランジ	8.5 耐圧試験
5.5 穴	8.6 漏れ試験
5.6 管板	9. 安全装置
5.7 ステーによって支える平鏡板	10. 表示及び適合性評価
5.8 伸縮継手	附属書 A～T (省略)

## 1.2 ASME Boiler and Pressure Vessel Code

現在圧力容器の規格として、世界で最も広く使用され、日本の JIS 圧力容器規格類にも参照されている ASME Codes and Standards (以下 ASME C&S) の活動は、米国での蒸気ボイラの爆発事故を防止するために 1884 年に発行された最初の標準 Code for the Conduct of Trials of Steam Boilers 以来、2019 年で 135 年目となります。圧力容器関連規格は、ASME Boiler and Pressure Vessel Code として現在、表 2 に示すように、ボイラ、原子力設備、一般圧力容器などの圧力設備規格及びそれらの関連規格としての材料、溶接、非破壊検査の規格類が充実しています。

表 2 ASME Boiler and Pressure Vessel Codes

SECTIONS	
I	Rules for Construction of Power Boilers
II	Materials <ul style="list-style-type: none"> <li>Part A — Ferrous Material Specifications</li> <li>Part B — Nonferrous Material Specifications</li> <li>Part C — Specifications for Welding Rods, Electrodes, and Filler Metals</li> <li>Part D — Properties (Customary)</li> <li>Part D — Properties (Metric)</li> </ul>
III	Rules for Construction of Nuclear Facility Components <ul style="list-style-type: none"> <li>Subsection NCA — General Requirements for Division 1 and Division 2</li> <li>Division 1               <ul style="list-style-type: none"> <li>Subsection NB — Class 1 Components</li> <li>Subsection NC — Class 2 Components</li> <li>Subsection ND — Class 3 Components</li> <li>Subsection NE — Class MC Components</li> <li>Subsection NF — Supports</li> <li>Subsection NG — Core Support Structures</li> <li>Subsection NH — Class 1 Components in Elevated Temperature Service</li> </ul> </li> <li>Appendices</li> <li>Division 2 — Code for Concrete Containments</li> <li>Division 3 — Containments for Transportation and Storage of Spent Nuclear Fuel and High Level Radioactive Material and Waste</li> </ul>
IV	Rules for Construction of Heating Boilers
V	Nondestructive Examination
VI	Recommended Rules for the Care and Operation of Heating Boilers
VII	Recommended Guidelines for the Care of Power Boilers
VIII	Rules for Construction of Pressure Vessels <ul style="list-style-type: none"> <li>Division 1</li> <li>Division 2 — Alternative Rules</li> <li>Division 3 — Alternative Rules for Construction of High Pressure Vessels</li> </ul>
IX	Welding and Brazing Qualifications
X	Fiber-Reinforced Plastic Pressure Vessels
XI	Rules for Inservice Inspection of Nuclear Power Plant Components
XII	Rules for Construction and Continued Service of Transport Tanks

これらのうち、一般圧力容器に最も広く採用されているのが Section VIII Rules for Construction of Pressure Vessels Division 1 及び Division 2 です。これらの設計方法、許容応力設定基準及び特徴の比較を表 3 に示します。Sec. VIII, Div.2 には、2017 年度版からコンピュータの利用を促す使いやすい構成の規格として二つの Class が設定されています。

**表 3 Section VIII Rules for Construction of Pressure Vessels Division 1 及び Division 2**

ASME規格	設計方法	使用材料の 許容応力設定基準	特徴
Sec. VIII, Div.1	DBR(公式による設計)	Min. (TS/3.5, YS/1.5)	一般圧力容器の設計に簡便
Sec. VIII, Div.2			
Class 1	DBR及びDBA	Min. (TS/3, YS/1.5)	FEMなどの解析が必要だが大型、
Class 2	DBA(解析による設計)	Min. (TS/2.4, YS/1.5)	高压容器に経済的な設計が可能

TS :材料の引張強さ YS :材料の降伏強さ Min.:どちらか小さい方の意

### 1.3 圧力容器設計の考え方

圧力容器の設計には、公式による設計 (Design by Rule, DBR) と解析による設計 (Design by Analysis, DBA) があります。

公式による設計 (以下 DBR) は、「簡便さ」を最大のねらいとしているために計算式は極く単純なものだけを規定し、詳細な解析は要求せず不確定要素を十分カバーするように圧力容器各部の形状・寸法を制限することで、これまでの経験に基づいて定められています。従って、単純な形状の圧力容器部分に対して、最大主応力が許容値内におさまるように決定するだけで、不連続部の影響、各種外荷重条件、雰囲気条件、材料欠陥などは解析評価することなく、これらは大きな安全率の中に含めて安全なレベルに設計することにあります。ほとんどの圧力容器はほぼ静的な圧力荷重に対して設計すればよいので DBR による設計基準を採用しています。

一方、解析による設計 (以下 DBA) は、圧力容器に加わる外荷重とその荷重条件に対して圧力容器の応力・変形を解析によって求め、それらに関連して予想される破損の様式のすべてに対して強度を評価し、それぞれに対して安全レベルに設計する方法です。材料強度、応力解析法 (有限要素法、FEM など) における研究とデータの蓄積、材料・製作技術面の進歩などを圧力容器の設計に活用しています。DBR よりも高い許容応力を採用し、更に設計の一層の安全性、信頼性を確保することができます。従って、繰り返し荷重がかかるような厳しい運転条件や、特殊形状の容器、原子力発電用圧力容器など特に安全が要求される圧力容器に採用されることが多いです。又、詳細解析による評価を行うために、許容応力を高めることが可能なことから、石油精製反応塔など大型の高温高压容器にも多く採用されています。

### 1.4 許容応力と安全率

安全率とは、本来、対象機器に発生すると予想される各種の破損の様式を考え、各々に対する基準強度 (限界強度) と使用強度 (許容圧力) との間におく余裕として定義できます。

$$\text{許容応力 (使用強度)} = \text{基準強度 (限界強度)} / \text{安全率}$$

その場合、機器に影響を与える多くの因子、例えば、使用材料の強度特性、使用時の荷重・荷重条件など外的条件だけでなく、運転に対する安全性、信頼性、耐久寿命の要求を満足しなければなりません。この余裕因子は、荷重の見積、応力計算の不確かさ、使用条件判定の不確実性、材料の不均一性などを補うものですが、これらはすべての機器に対して、又すべての構成材料に対して一定したものではありません。

DBA では、許容応力決定のための材料の強さに対する基準を使用条件、各種破壊現象に対する破損限度ないし破壊強さにおくという合理的な考え方を採用しています。

一方、DBR では、設計の簡便さを考慮して、材料の引張特性に一定の余裕を見込んだ許容応力値を一律に適用しています。

許容応力を設定する基準値として、使用材料の降伏強さ、引張強さなどがあります。

JIS B 8265 の許容応力  $\sigma_B$  の設定基準（鉄鋼材料及び非鉄金属材料に対して）は、設計温度が常温以上クリープ温度未満では、以下のうちの最小値としています。

- ① 常温における規定最小引張強さの 1/4
- ② 各温度に対する引張強さの 1/4
- ③ 常温における規定最小降伏点又は、0.2%耐力の 1/1.5 又は 0.9
- ④ 各温度における規定最小降伏点又は、0.2%耐力の 1/1.5 又は 0.9

使用状態において、いかなる場合も降伏や塑性変形を起こさないようにするという弾性設計方式の建前から許容応力は、材料の降伏強さを基準に定めるべきものです。しかし、実際に構造の破壊に直結する降伏強さよりも引張強さであることから、降伏強さだけを基準にとるのは片手落ちであるともいえます。降伏比（＝降伏強さ／引張強さ）が低く延性の大きい材料を使う場合には、降伏後破壊に至るまで十分な余裕があるのに対して、降伏比が高く延性が小さい材料を使う場合には、降伏後すぐに破壊を生ずる可能性があるため、降伏強さだけを基準として一定値の安全率を用いて許容応力を定めると、設計されたものの安全性、信頼性には、材料により大きな差が生ずる。そこで、許容応力には、材料の降伏強さと引張強さの両方を同時に考慮して適切な値に定めています。

## 1.5 日本の圧力容器関連 4 法と技術基準

プラントには、強制法規である圧力容器関連 4 法（高压ガス保安法、労働衛生安全法、電気事業法、ガス事業法）の省令告示に示された技術基準をもとに設計・製作され審査に合格した圧力設備が運転に供されます。圧力容器関連 4 法の概要を表 4 に示します。

表 4 圧力容器関連 4 法の概要

強制法規	概 要	関連省令
<p>高圧ガス保安法 (高圧ガス：常用の温度又は温度35℃において圧力が0.2MPa以上となる圧縮ガスなど)</p>	<p>高圧ガスによる災害を防止し、公共の安全確保することを目的とし、高圧ガスの製造、販売、貯蔵、輸入、消費、破棄及び容器の製造と取扱いなどについて規定すると共に危害予防の見地から高圧ガスなどの許可・届出などの義務を規定しています。</p>	<p>① 一般高圧ガス保安規則 ② 液化石油ガス保安規則 ③ コンビナート等保安規則 ④ 特定設備検査規則 ⑤ 冷凍保安規則 ⑥ 容器保安規則</p>
<p>労働安全衛生法 (政令第1条で機械等の用語を規定している。 ボイラ 第1種圧力容器 小型ボイラ 小型圧力容器 第2種圧力容器)</p>	<p>労働基準法と相まって労働災害の防止のための危害防止基準、責任体制の明確化及び自主的活動の促進の措置を講ずるなど、その防止に関する総合的・計画的な対策を推進することによって職場における労働者の安全と健康を確保するとともに、快適な職場環境の形成を促進することを目的としています。</p> <p>(法第5章(機器等ならびに危険物及び有害物に関する規則)第37条(製造の許可)で、「ボイラその他特に危険な作業を必要とする機械等で別表第Iに掲げる政令で定めるもの(以下、“特定機械”という)を製造する者は、厚生労働省令で定めるところによって、あらかじめ都道府県労働局長の許可を受けなければならない。」と規定している。又、政令で規定された特定機械(ボイラと圧力容器をいう)は、検査、検査証の交付、使用などの制限、検査証の有効期限などが法律で規制されます。)</p>	<p>労働安全衛生法施行令</p>
<p>電気事業法</p>	<p>電気事業の運営を適正かつ合理的に行うことによって電気利用者の利益を保護し、電気事業の健全な発達を計ると共に、電気工作物の工事、維持及び運用を規制することによって公共の安全を確保し、併せて公害の防止を図ることを目的としています。</p>	<p>① 発電用火力設備に関する技術基準を定める省令 ② 発電用火力設備に関する技術基準の細目を定める告示 ③ 発電用火力設備の技術基準の解釈</p>
<p>ガス事業法</p>	<p>ガス事業の運営を調整することによって、ガスの使用者の利益を保護し、ガス事業の健全な発達を計るとともに、ガス工作物の工事、維持及び運用、ならびにガス用品の製造と販売を規制することによって、公共の安全を確保し、併せて公害の防止を図ることを目的としています。</p>	<p>① ガス工作物の技術上の基準を定める省令 ② ガス工作物の技術上の基準の細目を定める告示 ③ ガス工作物の技術基準の解釈例</p>

これら圧力容器関連 4 法の技術基準に関して、それらの共通事項を規格化した JIS B 8265 「圧力容器の構造 — 一般事項」及び JIS B 8267 「圧力容器の設計」との関連、さらに特定規格としての JIS B 8266 「圧力容器の構造— 特定規格」との関連を、表 5 に示します。

表 5 強制法規（圧力容器関連 4 法）における技術基準と、任意規格としての JIS との関係

強制法規 圧力容器関連4法	技術基準の例	任意規格 JIS 圧力容器規格
高压ガス保安法	特定設備検査規則	<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> <p>(共通一般規格)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">                     JIS B 8265 「圧力容器の構造—一般事項」                      (30MPa 未満の圧力, 安全率 4.0)                 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 2px;">                     JIS B 8267 「圧力容器の設計」                      (30MPa 未満の圧力, 安全率 3.5)                 </div> <p style="text-align: center;"> </p> <p>(特定規格)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">                     JIS B 8266 「圧力容器の構造—特定規格」                      (100MPa 未満の圧力, 安全率 3.0)                 </div> </div>
電気事業法	発電火力設備に関する技術基準 原子力設備に関する技術基準	
ガス事業法	ガス工作物の技術の基準	
労働安全衛生法	第一種圧力容器構造規格 第二種圧力容器構造規格 ボイラ構造規格	
	小形ボイラ及び小型圧力容器構造規格 簡易ボイラ構造規格	

### 1.6 圧力設備の維持基準 ASME Post Construction Code

国内のみならず世界で供用中の石油精製装置などの圧力設備は、既に建設後 50 年以上を経過しているものが多く、これらの設備の経年劣化・損傷に対して健全性を検査・評価して長期連続運転を行うことは、継続可能な社会を維持していく上で必要となってきました。このための供用中圧力設備の維持基準として、ASME は、1995 年に Post Construction Committee を結成して以来、数々の Post Construction Codes、PCC を作成し、現在、ASME PCC はいずれも American National Standard（アメリカ国家規格）として承認されています。これら PCC の現在発行されている最新版を表 6 に示します。

表 6 ASME Post Construction Code

規格番号	規格名	最新版発行年
PCC-1	Guideline for Pressure Boundary Bolted Flange Joint Assembly ボルトフランジ継手の組立てガイドライン	2013
PCC-2	Repair of Pressure Equipment and Piping 圧力機器及び配管の補修	2015
PCC-3	Inspection Planning Using Risk Risk-Based Methods Standards リスクベース法による検査計画	2007
API 579-1/ASME FFS-1	Fitness-For-Service Assessment 供用適性評価	2016
API 579-2/ASME FFS-2	Fitness-For-Service Example Problem Manual 供用適性評価例題集	2009
PTB-2	Guideline to Life Cycle Management of Pressure Equipment Integrity 圧力機器の健全性のライフサイクルマネジメント	2009

これらのうち、PCC-1 は、2010 年度版から多くの修正が行われていますが、中でも圧力設備ボルト締めフランジ継手の締付け手順については、HPI-STOP 委員会が開発し、現在 JIS B 2251 として規格化された周回締付け方法を参考にして、これまでの対角締付け法に改良を加えています。一方、フランジ組立て要員訓練と格付け規定に対しては、Appendix A ”Training and Qualification of Bolted Joint Assembly Personnel” が新たに追加されたが、HPI STOP 委員会でも、フランジ締結作業トレーニング指針（HPI Z 110:2018）が HPI TR として 2018 年 9 月に発行されました。

溶接施工に最も関連が深いのが PCC-2 Repair of Pressure Equipment and Piping, 圧力機器及び配管の補修規格です。この規格は次のように 4 部で構成されていますが、Part 2 Welded Repairs は表 7 のように 15 種類の溶接補修方法が示されています。

Part 1 Scope, Organization, and Intent 適用範囲、構成及び意図

Part 2 Welded Repairs 溶接補修

Part 3 Mechanical Repairs 機械的補修

Part 4 Nonmetallic and Bonded Repairs 非金属・接着補修

Welded Repair 関連については、日本溶接協会化学機械溶接研究委員会として、筆者が Corresponding Member となって Ballot 審議にあたっています。

Article 2.15 は、筆者らが日本での Cr-Mo 鋼リアクタの補修経験を主体に原案を作成して規格化したもので Supplement to ASME PCC-2-2015 として発行されています。

**表 7 Part 2 Welded Repairs 溶接補修**

Article	溶接補修方法	Article	溶接補修方法
2.1	はめ板の突合わせ溶接	2.11	溶接肉盛、オーバレイ及びクラッドによる修復
2.2	内面減肉の外表面肉盛溶接	2.12	すみ肉溶接パッチ
2.3	ねじ継手のシール溶接及びシール溶接補修	2.13	ねじ又は溶接プラグ補修
2.4	溶接リークボックス補修	2.14	圧力容器の現地熱処理
2.5	溶接リップシール（作成中）	2.14 APP.2	代表的なホットボックスの設計
2.6	配管の全周鋼製補強スリーブ	2.15	Cr-Mo鋼圧力容器の補修溶接検討
2.7	補強プラグ溶接付きすみ肉溶接パッチ		
2.8	従来の溶接予熱に代わる方法		
2.9	溶接後熱処理に代わる方法		
2.10	炭素鋼圧力部材又はパイプラインへの許容中溶接		
2.10 App.1	供用中溶接手順/溶接作業員格付け方法		



供用中の圧力設備で検査によって発見された欠陥、損傷のその後の継続運転の適否を評価する供用適性評価規格 API 579-1/ASME FFS-1 Fitness-For-Service は、2000 年に API 579 規格として発行されましたが、API/ASME の共同規格として 2007 年発行され、2016 年に内容を一新して 3 度目の改正が行われました。図 15 に API 579-1/ASME FFS-1 Fitness-For-Service, 2016 供用適性 (FFS) 評価法の構成を示します。

## API 579-1 / ASME FFS-1 , 2016

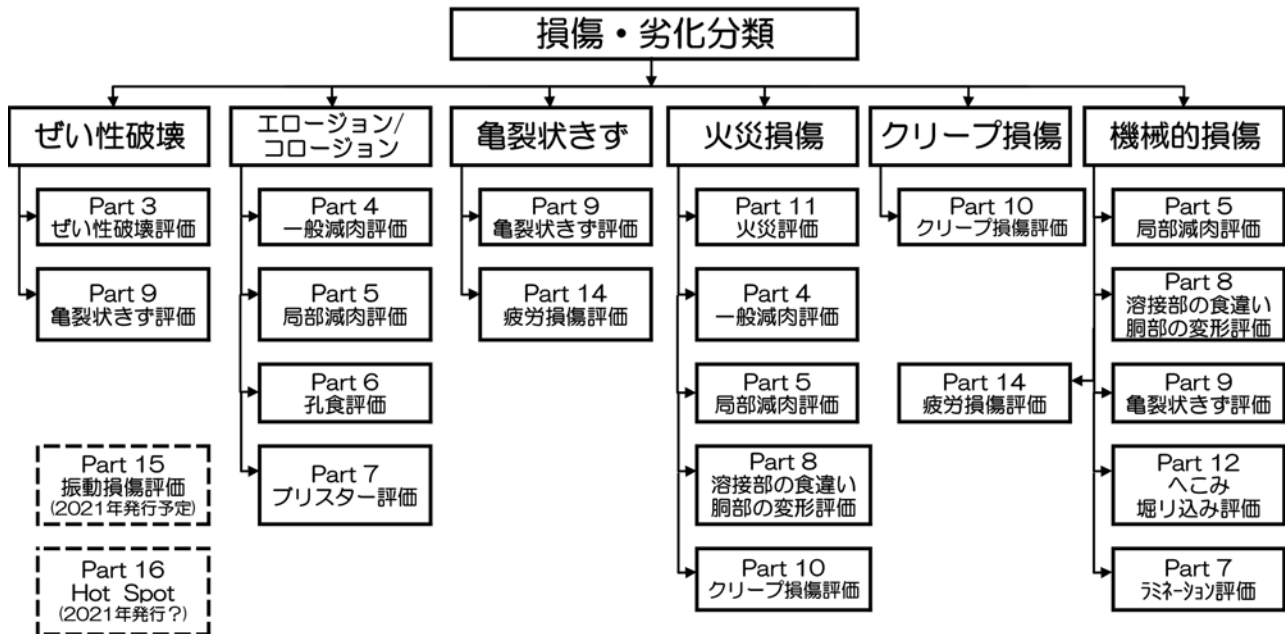


図 15 API 579-1/ASME FFS-1 Fitness-For-Service, 2016 供用適性 (FFS) 評価法の構成

この規格の作成には、筆者は 1999 年の原案審議の段階から現在まで 18 年間委員として継続して規格作成に参画してきています。その間 HPI 及び石油連盟において、供用適性評価研究会（後の供用適性評価基準委員会）を石油連盟・石油化学工業協会委託のもと 2013 年まで継続し、FFS 評価ハンドブック、評価ソフト、評価基準の作成と FFS 評価研修会を通じて、1,300 名以上の教育・訓練を行ってきました。供用適性評価基準委員会終了後、それらの成果は、HPI HPIS Z 109 原案作成委員会（委員長 酒井信介氏）と日本溶接協会化学機械溶接研究委員会・WES 2820 原案作成委員会/FFS 小委員会（委員長：南 二三吉氏）に引き継がれ、それぞれ HPIS Z 109 TR:2016 「信頼性に基づく圧力設備の減肉評価方法」と WES 2820:2015 「圧力設備の供用適性評価方法-減肉評価」として発行されました。

又、2018 年 10 月には API 579-1/ASME FFS-1,2016 の HPI 技術セミナーが元石連・石化協 FFS 評価研究会メンバー及び API/ASME FFS 規格作成の中核をなした米国 Equity Engineering からの講師によって開催されました。

なお、その例題集である API 579-2/ASME FFS-2 Fitness-For-Service Example Problem Manual の改正が現在進められていますが、例題の作成にも日本から多くの委員が協力しています。

## 2. まとめ

日本溶接協会化学機械溶接研究委員会では、若手溶接技術者の育成及び圧力設備製作技術の伝承を目的に圧力設備の溶接設計施工テキストを作成中です。さらに詳細については、圧力設備の溶接設計施工テキストが完成された時に、シンポジウムなどで説明される予定ですのでご参照ください。

<略歴>

### 田原 隆康 (たはら たかやす)

---

1964年 芝浦工業大学 機械工学科 卒業  
1964年 株式会社日本製鋼所 入社 室蘭製作所 配属  
1990年 同 東京本社  
1998年 博士(工学) 取得  
1999年 (社)日本高圧力技術協会 特別研究員  
2003年 石油連盟 技術環境安全部技術アドバイザー  
2009年 ASME Fellow 取得  
2013年 株式会社セイコーウェーブ 圧力設備技術顧問  
2018年 API 30 Years Service Award 授与  
現在に至る