

# 特集

## 鍛圧技術とフルードパワー

# 高圧発生技術をコアにした 「FORM」「TEST」

＝ハイドロフォーム・水加圧サイクル  
試験機への応用技術＝

(株)山本水圧工業所 小嶋 正康・福村 卓巳

## 1 はじめに

弊社の、超高圧発生技術は増圧機 (Intensifier) 方式を基軸とし、一次側の高精度油圧制御又はACサーボ制御そして、豊富な経験による高圧水シール技術により確立している。商標「HYPREX」の下での商品群は「FORM」「TEST」「JET」「easy」全て高圧技術をConceptによる製品で有る。本掲載では、「FORM」「TEST」の商品より高水圧技術による「塑性加工&水加圧サイクル試験機」の一部を紹介する。

## 2 FORM

### (1) 液圧成形への取り組み経緯

金型内にセットした金属管に加工液を充満し、液圧を増加して拡管塑性変形せしめ、金型にならった形状の製品を得る液圧成形方法は1960年代初頭にT型管継手の生産技術として日本ではじめて工業化された。両管端からの軸圧縮 (軸押し) と内圧の複合によって管中央部を大きく膨らませる外観的特徴から「液圧バルジ加工」と呼ばれ、当社はすでに保有していた水の超高圧発生技術を活用した液圧バルジ加工機の生産を同時期から開始している。液圧バルジ加工は、それまでの曲げ、管端部のポンチ拡管、ダイス絞りなどに限られていた管の塑性加工法を拡大する革新的な技術であったが、製品は管

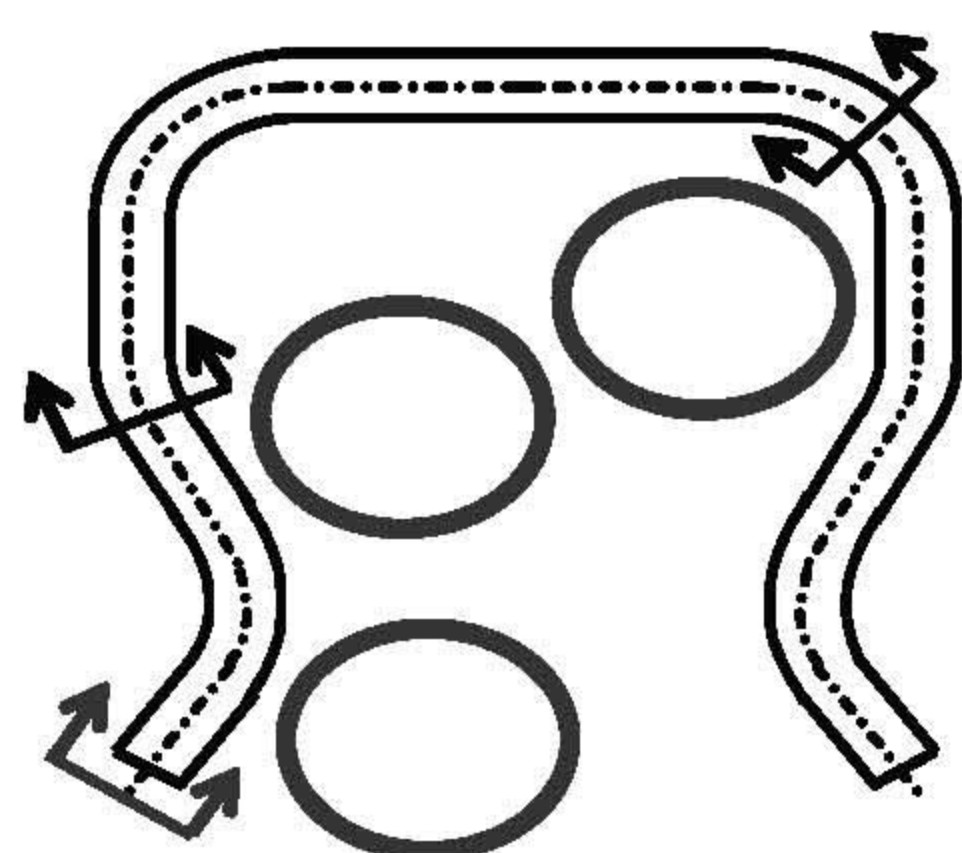
同士の接続部品の範疇にとどまるものが多かった。1990年代に入ると、管の液圧成形は自動車の閉断面構造部材の成形にも適用し得る技術として世界的に注目され、「チューブハイドロフォーミング」と呼ばれるようになった。狙いは車体の衝突安全性向上と燃費改善のための軽量化の両立で、従来の鋼板プレス成形品のモナカ溶接組み立て方式から高剛性の鋼管ハイドロフォーム一体品へ置き換えることによって達成しようとするものである。自動車構造部材は、曲がり形状と断面形状が長手方向に複雑に変化する点に特徴がある。そのため、第1図(a)(b)(c)に示すように、ドロベンダなどによって全体の曲がり形状を与えるプリベンドの後、曲げ品全長の断面寸法をハイドロフォーム型のダイキキャビティに収納できるようにプレス機と金型によって縦方向あるいは横方向につぶすプリフォームを経て、ハイドロフォーム工程に供される。

鋼管ハイドロフォームでは、主に次の4つの理由により、従来の液圧バルジ加工よりも格段に高い加工液圧力を必要とする。

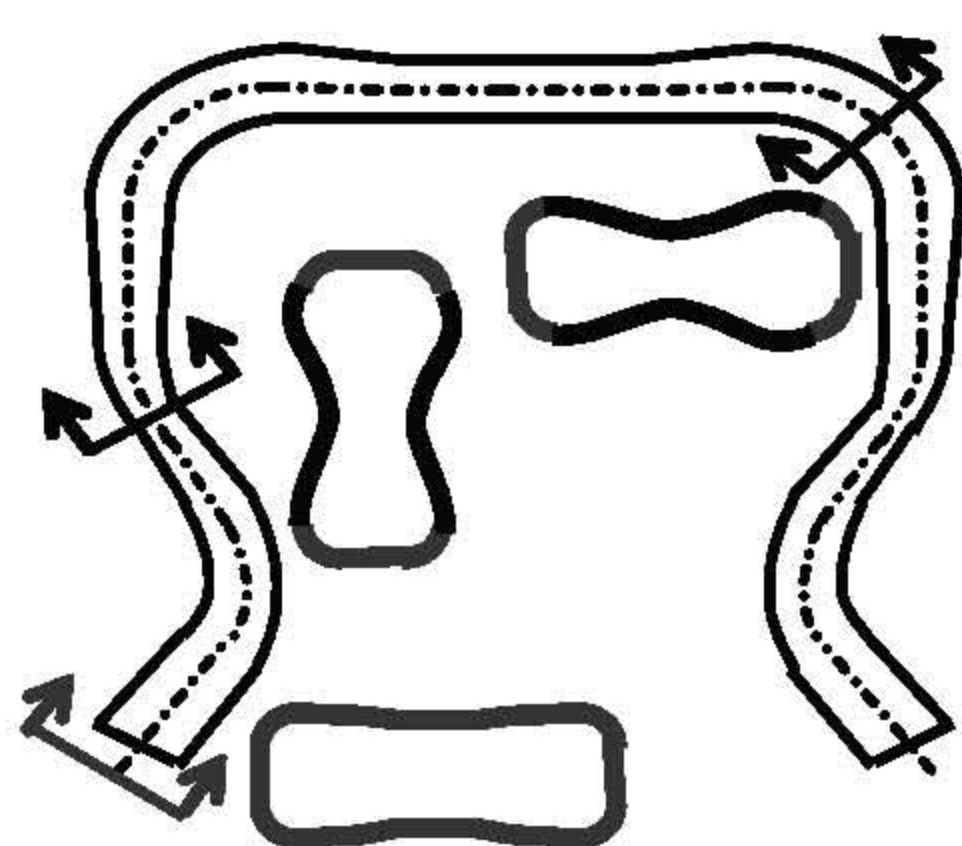
(a) 断面形状は矩形などの異形が基本で、肉厚の5倍程度の小Rコーナ部とこれらをつなぐ平面部のフラットネスを確保する必要がある。

(b) プリベンド、プリフォームによって加工硬化と増肉を生じた素材断面を製品断面形状に仕上げる必要がある。

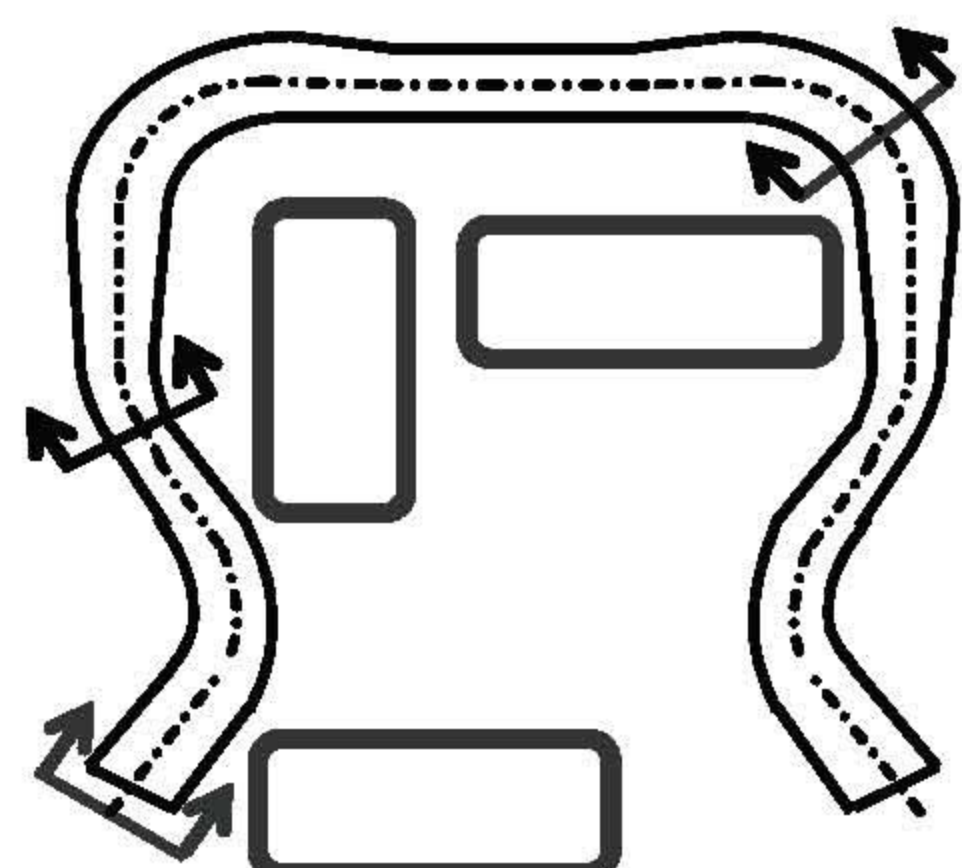




(a) プリベンド



(b) プリフォーム



(c) ハイドロフォーム

第1図 自動車構造部材のハイドロフォーミングプロセス (エンジンクレードルの例)

(c) 製品の強度確保のための高強度のハイテン鋼管にも対応する必要がある。

(d) ハイドロフォーム金型内での孔明け (ハイドロピアシング) などの追加加工にハイドロフォーム以上の内圧を必要とする場合がある。

以上より、自動車構造部材の鋼管ハイドロフォームには一般にMax200~300MPaの加工液圧力が必要とされ、写真1に示す増圧機 (インテンシファイア) を核とする。

当社の水の高圧発生技術が十二分に発揮される環境が整ったといえる。国内自動車産業での鋼管ハイドロフォーム部品の実用化は1999年に開始した。当初は外国製ハイドロフォーム機が

導入されたが、すぐに国産機が採用されるようになり、当社は2001年から専用機、汎用機を自動車部品メーカー各社に相次いで納入してきた。写真2は海外に納入したドロベнда、プリフォーム機、ハイドロフォーム機で構成されるハイドロフォーミングラインである。

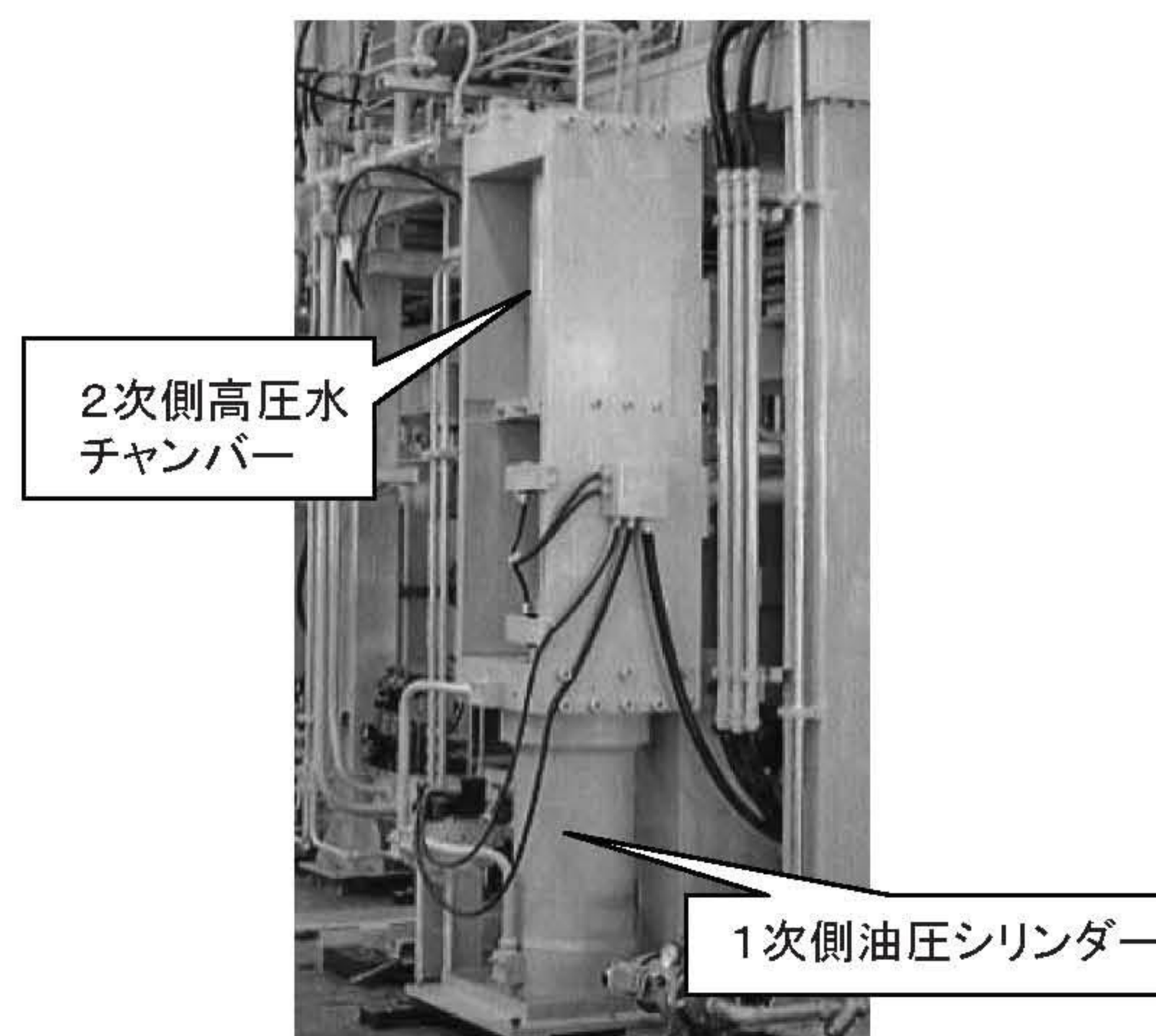


写真1 増圧機



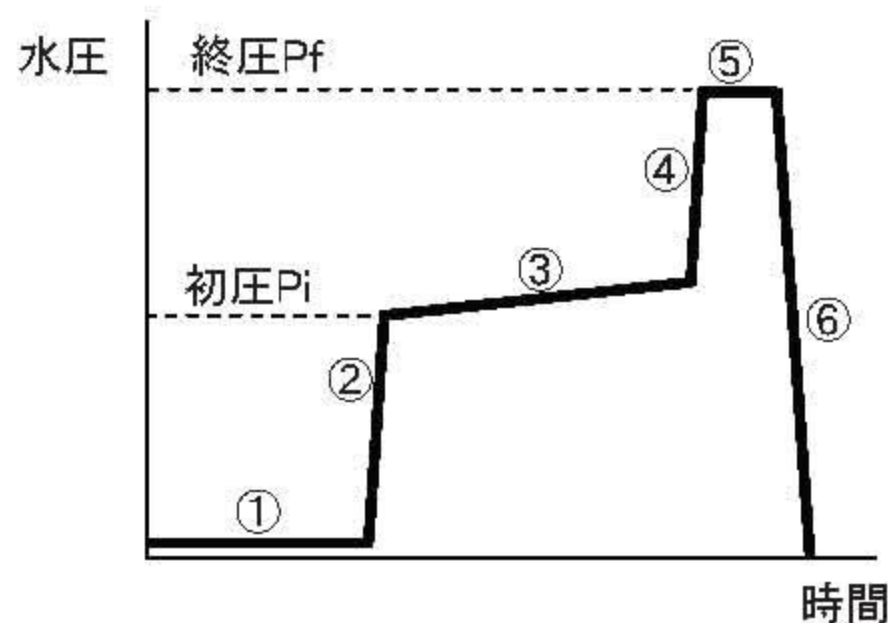
写真2 ハイドロフォーミングライン (例)

## (2) 鋼管ハイドロフォーム機における水のハンドリング技術とそれを支える周辺技術

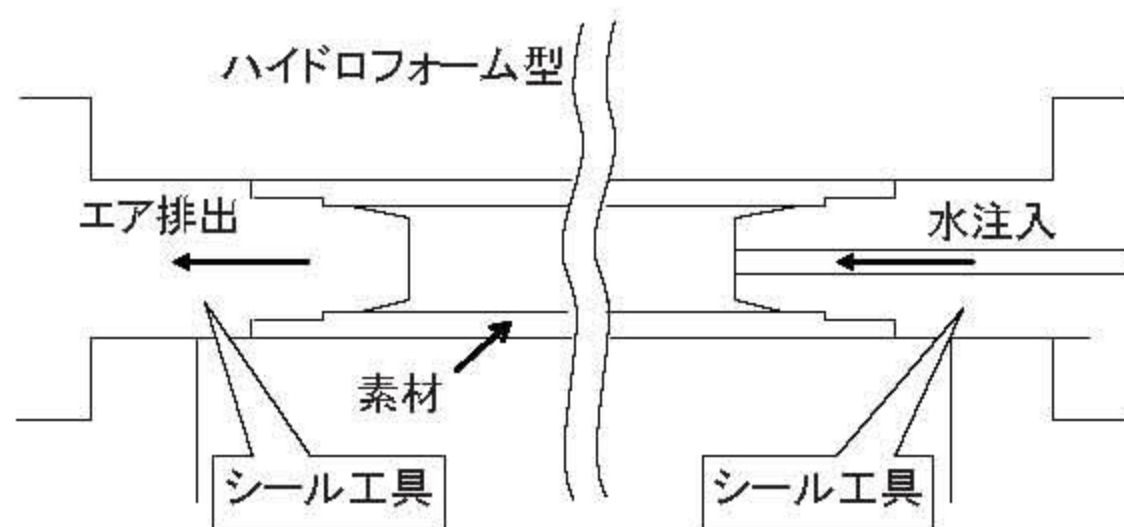
鋼管ハイドロフォーム機の能力は、上下分割構造のハイドロフォーム型を油圧プレスで保持する力 (型締め力) と増圧機の最高水圧で代表されるが、加工の準備段階から終了後までを含むトータルでの水のハンドリング技術が重要



である。第2図は素材を hidroフォーム金型にセットしてから製品取り出しまでの各段階における水（防錆油分1~2%懸濁）の状態を水圧の変化で示す。①は第3図に示すように管端シール工具（軸押し工具を兼ねる）を通して素材内を水で充満すると同時にエア抜きを行う低圧送水段階、②は軸押し直前の設定圧（初圧Pi）まで増圧し、軸押し初期の挫屈などの形状トラブルを防止する準備段階、③は軸押し工具の前進とともにワークの加工硬化に応じて内圧を漸増させ、製品に近い断面形状まで周長を増加させる段階、④は最高水圧（終圧Pf）まで急増して金型の小R断面コーナ部にワークを接触させる段階、⑤は成形形状を安定させるとともに、必要に応じて hidroピアシングなどの追加加工を行う段階、⑥は軸押し工具を抜き取るための減圧段階である。その後、管端から排出された水はフィルタを通して回収し、次ぎの hidroフォーミングに循環使用される。生産性が要求される自動車部品の hidroフォーミングでは、素材セットから製品取り出しまでのタクトタイムは製品寸法によって20~40秒が要求



第2図 hidroフォーミングにおける水圧制御 (例)



第3図 hidroフォーム素材への水注入

されるのが一般的で、段階①~⑥（第2図）を10~15秒の短時間内に終える必要がある。

鋼管 hidroフォーミングの成否を左右するのは段階②~④の水圧制御であり、管内水圧を確実に増加させる管端シール技術と必要な昇圧パターンを定量化するためのFEM（有限要素法）による塑性変形解析が周辺技術として特に重要である。管端シールに関しては、材料歩留の点から管端まで製品として使用するために管端も異形断面となるケースが一般的で、第3図に示すように管内面にシール工具を圧入する内面シール方式が採用される。シール工具の全周圧入を実現するため、シール工具形状設計とともにプリフォームで管端をシールし易い形状に整えることが重要である。解析技術に関しては、第1図(a)(b)に示すプリベンド、プリフォームでの変形と加工硬化を織り込んだ hidroフォーム解析により、 hidroフォーム工程における管の挫屈や過大な肉厚減少を防止する昇圧パターンを設定することができる。また、 hidroフォーム条件だけで解決できない場合には、プリベンド、プリフォームの条件修正による効果の確認も行われるので、試作での全工程の条件出しを効率的に行うことができる。FEM解析は、適正な昇圧パターンの決定のほか、軸押し量、軸押し力などの設備仕様の決定、さらには hidroフォーム機の構造設計にも活用されている。

### 3 TEST

#### (1) 水加圧試験機のニーズ

今日の異常気象でCO<sub>2</sub>の増加を実感し、政情不安でガソリンの乱高下で一喜一憂するなか、ハイブリッド車、EV車の売れ行きが好調である。更なる打開を目指しエネルギー効率ガソリン車の2倍、しかもCO<sub>2</sub>を排出しない究極の省エネ車である燃料電池自動車は、2015年一般ユーザーへの普及開始を目標に、いろいろな問題を抱えながら熾烈な競争を行っている。その大きな問題の1つが走行距離を500km以上に伸ば





写真3 加圧試験装置の全景



写真4 小分け油圧ポンプ装置の全景



写真5 ピット内試験容器接続図

すことである。水素1kgで約100km走行可能であるから、5kgの水素を搭載する必要がある。これを常温体積に換算すると56m<sup>3</sup>であり、体積を縮め搭載可能にするためには70MPa以上の高圧水素ガス容器のより高圧化・高容量化が要求される。容器は高圧ガス容器として認証を得る為に安全性が重要となる。当社は得意とする水圧技術で「燃

料電池自動車用高圧水素容器安全性評価試験装置」の一つとして「水加圧試験装置」を多数納入する。その、一例について紹介する。

## (2) 装置概要

本装置は高圧ガスの充填、放出の加減圧に対応した「サイクル疲労試験装置」と設計通りの耐圧・破壊強度を有するか確認するための「水加圧破裂試験装置」の異なる二つの機能を有した複合の水圧試験装置である。写真3はその全景写真である。

二つの機能の圧力発生・駆動源となる油圧装置を共有化することでコンパクトを図った。汎用性と精度を高めるため増圧機の数をも3台とし試験範囲を広く取り、サーボ弁の共振を防ぐため20個のPID（感度）データを保管選択できるようにしてある。又、油圧ポンプは7台に小分け（写真4参照）して圧力と容量を入力すれば、最適な増圧機と動力（ポンプ稼働数）が自動算出され過剰な電力を使用することのないよう省エネ化を図っている。制御盤はデスク式制御盤と可搬式操作盤に分け、データ収集用PCを接続することで試験データの収集・解析が容易に行える構成とした。試験体が破壊しても安全性を損なわないよう試験体はピット内に設置され試験が行われる（写真5）。

## (3) 仕様

### 3-1 サイクル疲労試験装置

国内外のサイクル疲労強度基準は、圧力媒体を封入し最高充填圧力の1.25倍以上の圧力振幅を負荷し、指定寿命内に漏れ、破裂が有ってはならないと規定している。当装置は充填圧力70MPaに十分余裕を持って対応出来るよう最高試験圧力120MPaとなっている。試験圧力波形は正弦波のみならず、台形波、三角波の選択性となっている。同様に省エネと精度を上げるため3-1、3-2項仕様の中間的仕様を備えた270MPaの増圧機が具備され、比較的試験容器内容積の小さい圧力サイクル試験が出来る。又、この増圧機は破裂試験時にも使用され、高速昇圧、圧力保持を受け持っている。夫々の仕様を第1表、第2表にまとめた。



第1表 サイクル疲労試験装置概略仕様

項目	仕様	
試験容器内容積	20~260L	
最高試験圧力	120MPa	
サイクル数	1~10cpm	
圧力波形	正弦波、台形波、三角波	
設定項目	サイクル数、波形、回数	
増 圧 機	形式	縦型シングルアクション
	シリンダ径	520mm
	ロッド径	200mm
	吐出量	37070cc/St.
	増圧比	1:6.8
圧力媒体	水	

第2表 サイクル疲労試験装置概略仕様

項目	仕様	
試験容器内容積	20~130L	
最高試験圧力	270MPa	
サイクル数	1~10cpm	
圧力波形	正弦波、台形波、三角波	
設定項目	サイクル数、波形、回数	
増 圧 機	形式	縦型シングルアクション
	シリンダ径	310mm
	ロッド径	80mm
	吐出量	2010cc/St.
	増圧比	1:15
圧力媒体	水	

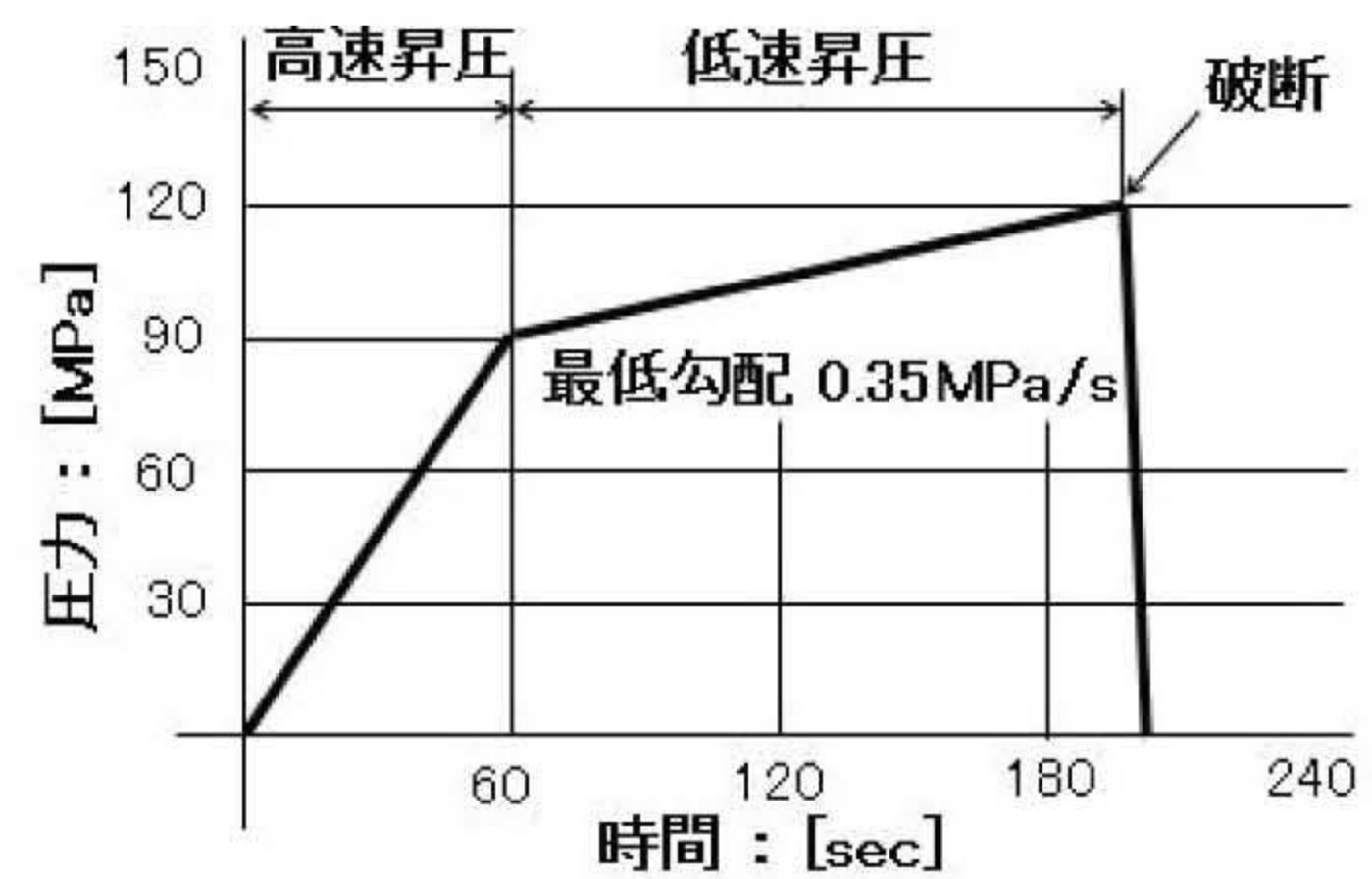
### 3-2 水加圧破裂試験装置

国内外の破裂基準は、最高充填圧力の2.25~3.65倍以上の破裂強度を要求している。当装置は充填圧力70MPaに十分余裕を持って対応出来るよう最高試験圧力300MPaとなっている。破裂までの昇圧波形は2パターン選択性で下記の通りである。

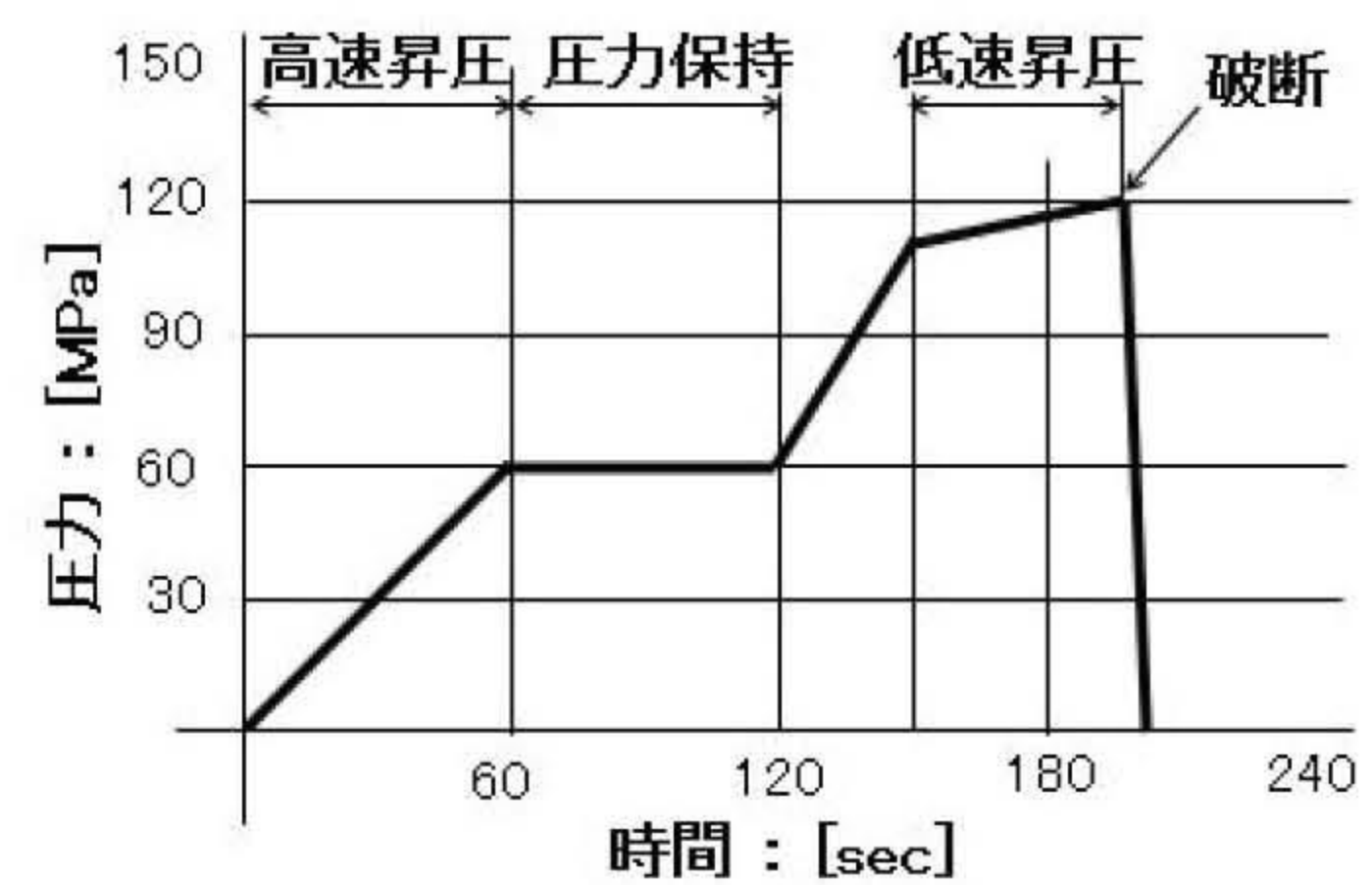
(第4図、5図参照)

1. 正確な破裂圧力掌握のため切替ポイント以降の昇圧速度0.3MPa/secの極低速実現
2. 設定圧力で保持、昇圧再開を繰り返し後破裂

増圧機形式は試験容器容積に制限なく試験が行えるよう、連続吐出出来る横型ダブルアク



第4図 圧力パターン1



第5図 圧力パターン2



写真6 300MPa増圧機

ション式 (写真6参照) として、他の昇圧、破裂試験にも対応出来るよう汎用性を持たせている。第3表に仕様をまとめた。



第3表 加圧破裂試験装置概略仕様

項目	仕様	
試験容器内容積	1~260L	
最高試験圧力	300MPa	
最低昇圧速度	0.3MPa/s	
昇圧波形	2パターン(第3図参照)	
増 圧 機	形式	横型ダブルアクション
	シリンダ径	200mm
	ロッド径	45mm
	吐出量	493cc/St.
	増圧比	1:18.7
	圧力媒体	水

### 3-3 試験温度

通常は常温での試験であるが、オプションとして別装置を追加すれば試験体が極寒、極暑等での使用を想定し-40~+150℃での試験が可能である。

### 3-4 今後の展開

現在、試作燃料電池車 (FCV: Fuel Cell Vehicle) の水素貯蔵タンクのほとんどは、最高充填圧力35MPa、走行航続距離約300km程度である。ガソリン車並に航続距離500km程度まで延すには約70MPaで充填が必要とされている。水素ガス容器は、最低でも25万kmに達するまで壊れないだけの耐久性が求められる。従って、水素ガス圧の2倍の衝撃を受けても破裂してはいけない為に試験圧の高圧化また、水素ステーション用として容器の大型化も避けられない。

## 4 おわりに

“環境にやさしい水を活かした技術”で高圧技術をConceptとする応用装置で弊社が得意とする顧客の問題解決型、提案型により顧客の多様化したニーズを満たし満足を得る装置の設計・製作を行っていることが、「大阪ものづくり優良企業2011」に於いて、高く評価頂き「最優秀企業賞」を受賞しました。今後は、ますます顧客の要望が多様化する事より、さらに、「高圧技術とシーリング技術」の高精度化を高めて各産業の省力化、ハイグレード化、安全性の向上に寄与できれば幸いです。

### 著者紹介

#### 小嶋 正康

(株)山本水圧工業所 専門部長  
〒561-0835 大阪府豊中市庄本町2-8-8  
TEL: 06-6334-4652

#### 福村 卓巳

(株)山本水圧工業所 顧問  
〒561-0835 大阪府豊中市庄本町2-8-8  
TEL: 06-6334-4652