

平成 28 年度採択

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「耐水素脆性金属材料による水素ステーションの  
ディスペンサー用フレキシブルホースの開発」

研究開発成果等報告書

令和元年 5月

担当局 北海道経済産業局

補助事業者 公益財団法人 室蘭テクノセンター

## 目 次

### 第1章 研究開発の概要

1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1-2	研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	4
1-3	成果概要	4
1-4	当該研究開発の連絡窓口	5

### 第2章 本論

2-1	「HRX19®」の成型に向けた最適形状の追求	5
2-2	「HRX19®」を用いたフレキシブルチューブ成型加工技術の開発	10
2-3	ディスペンサー用フレキシブルホースの安全性の検証	17

### 第3章 全体総括

3-1	研究開発成果	18
3-2	研究開発後の課題	18
3-3	事業化展開	18

## 第1章 研究開発の概要

### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

#### (1) 研究開発の背景

国は、水素が将来の二次エネルギーの中心的役割を担うとして、水素利用の着実な取り組みを進めるため、平成26年6月に「水素・燃料電池戦略ロードマップ」を示している。その中で、燃料電池自動車（FCV）に水素を供給するための水素ステーションについては、今後、石油供給を担っている既存のインフラ（ガソリンスタンド）を水素供給も担うインフラとして活用していくことも検討しつつ、移動式や小型のステーションの利用も含めた戦略的な展開を進めている。

水素ステーションの最大の課題は「安全性の確保」と「低コスト化」の両立であり、量産FCVへの供給条件である70MPaフル充電の水素ステーションは、1基4～5億円（300N m<sup>3</sup>/h、定置式）とも言われている。

現在、水素ステーション関連事業には、高圧水素ガス使用に伴う規制への対応などもあり、解決すべき課題が依然として多く残っているが、その中の一つに水素を充填するディスペンサー用フレキシブルホースの高圧化対応や寿命延長、コスト低減に関する課題がある。

#### (2) 研究目的及び目標

これまで、フレキシブルホースに加工することが可能な耐水素脆性の高いステンレス材料は存在しなかったため、他社の研究では水素の浸透に強い樹脂を用いたフレキシブルホースの開発が進められている。

しかし近年、耐水素脆性に優れているステンレス材料「HRX19®」が新たに開発され、その薄肉シームレス鋼管の入手が可能となったことから、本研究開発では、樹脂に比べ「ブリスタ破壊」などの懸念がない、同材料によるフレキシブルホースの開発を目指す。

具体的には、円周方向の均質性に優れるシームレス鋼管（外形12.7mm、肉厚0.5mm）からフレキシブルチューブを成形し、加圧による伸びを防止するブレードや捩じれ防止継手などからなるディスペンサー用長寿命フレキシブルホースを開発する。

なお、本事業では、早期事業化の可能性を高めるため、耐水素脆性金属材料として最も多く使用される「HRX19®」より安価な、「SUS316 Ni 当量材」（ステンレス鋼）を用いた開発も、並行して実施する。

#### 【開発目標】

- 耐圧385MPa（国際規格の設計圧力修正に合わせ、当初計画360.9MPaより上方修正）を満たす、「HRX19®」または「SUS316 Ni 当量材」シームレス鋼管を用いたフレキシブルホースの成型技術の確立。
- 海外展開を視野に入れ、米国国家規格協会 ANSI CSA HGV4.2 の許容値を満足する、「使用年数に制限のない、充填回数100,000回」を目標とする。
- また、コストについては、現状の樹脂製ホースと同等（100万円/本）以下に抑えることを目標とする。

## 1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

### ① 事業管理機関

名 称：	公益財団法人 室蘭テクノセンター
代表者名及び役職名：	栗林 和徳 理事長
担当者名及び役職名：	小笠原 光敏 統括コーディネーター

### ② 研究等実施機関

名 称：	トーフレ株式会社
代表者名及び役職名：	中野 勝利 代表取締役社長
担当者名及び役職名：	清水 茂夫 常務取締役

名 称：	国立大学法人 室蘭工業大学
代表者名及び役職名：	空閑 良壽 学長
担当者名及び役職名：	藤木 裕行 教授

### ③ アドバイザー

- ・臺丸谷 政志（国立大学法人室蘭工業大学 名誉教授）
- ・安澤 典男（個人）

## 1-3 成果概要

研究開発実施内容	成果概要
【1】「HRX19®」の成型に向けた最適形状の追求	<p>(1) 「HRX19®」の物性値の解明 シームレスパイプ（中空試験片）および中実棒試験片を用いて-40～+70℃の温度域で引張試験を実施し、応力-ひずみ曲線を取得した。 また、中実棒試験片の引張試験結果より疲労寿命予測曲線を求めるとともに、より精度の高い疲労特性把握のため疲労試験を実施した。</p> <p>(2) シミュレーション精度の向上 外装補強のないペローズのみの破壊試験データを取得したことにより、シミュレーションの精度向上を図ることができた。 また、中実丸棒を用いた「HRX19®」の応力-ひずみ曲線を取得したことにより、疲労曲線の推定ならびに内圧に応じた繰返し使用限度を見積ることが可能となった。さらに、耐圧向上策の一つとして、ペローズ肉厚の増加ならびに内外径変更の効果が明らかとなり、その程度の推定もできるようになった。</p>

<p>【2】「HRX19®」を用いたフレキシブルチューブ成型加工技術の開発</p>	<p>高強度が故の難加工性が懸念された「HRX19®」材料のシームレスパイプを用いてチューブを成型するにあたり、最適な成型方法を検討し、5段階成型のダイス成型機を開発し導入した。また、最終成形工程の圧密工程において、微小クラックや波打ちの発生を抑制する水圧式チューブ圧密装置を開発・導入した。</p> <p>外装補強については、ステンレスワイヤーロープ及び「ケブラー®」を編組し、直接チューブに編みつけることに成功した。10mのシームレスパイプを入手し、3mのフレキシブルチューブを製作することができた。</p>
<p>【3】ディスペンサー用フレキシブルホースの安全性の検証</p>	<p>シミュレーションによる最適形状のチューブと外装のワイヤーロープ、「ケブラー®」を様々な組み合わせで製作し破壊試験を実施した結果、目標とする破壊試験圧力 385MPa に対し、84%にあたる 322MPa の結果を得た。国内市場における破壊圧力 280MPa はクリアできたが、国際規格である破壊圧力 385MPa を達成すべく研究開発を継続する。</p>

#### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

企業・団体名	公益財団法人 室蘭テクノセンター
役職および氏名	企業支援課係長 堀井 剛志
所在地	〒050-0083 北海道室蘭市東町4丁目28番1号
電話番号	0143-45-1188
FAX番号	0143-45-6636
E-mail	horii@murotech.or.jp

## 第2章 本論

### 2-1 「HRX19®」の成型に向けた最適形状の追求

多岐にわたるサイズに対応するため、金属製フレキシブルチューブは、ロール成型機で薄板から端面を溶接してパイプに成型した後、波状（ペローズ状）に加工される。しかし、本研究開発で使用する「HRX19®」はシームレス管であり、これをフレキシブルチューブ状に加工する技術はない。さらに、高強度材料が故の難加工性が懸念され、また一口にフレキシブルチューブと言っても、その形状には多くのペローズ形状の種類と特徴がある。当事業では、トーフ株式会社と国立大学法人室蘭工業大学とともに培ってきたFEM解析技術を用いて、新たに挑戦する「HRX19®」のペローズ加工について最適な成形条件および形状を追求した。

#### (1) 「HRX19®」の物性値の解明

「HRX19®」のペローズ加工について最適な成形条件および形状を追求するため、メーカーより入手が困難な「HRX19®」の物性値を解明した。

① 「HRX19®」の応力-ひずみ曲線取得

「HRX19®」の温度依存性応力を解析するため、パイプ状試験片（図1）および中実丸棒試験片（図2）を用い-40℃～70℃の温度域で応力-ひずみ曲線を取得した。

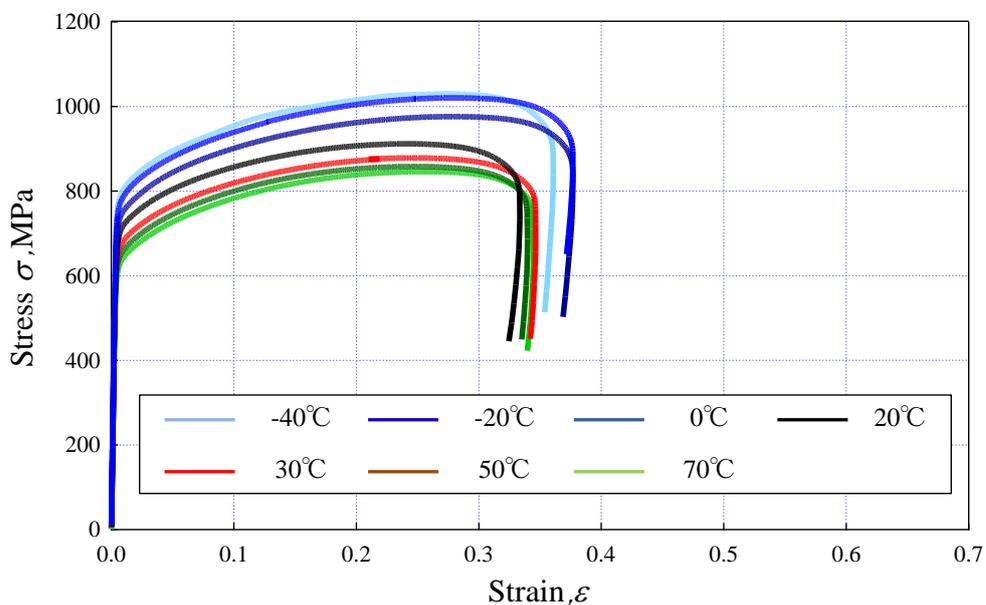


図1 HRX19®パイプ状試験片による応力-ひずみ曲線

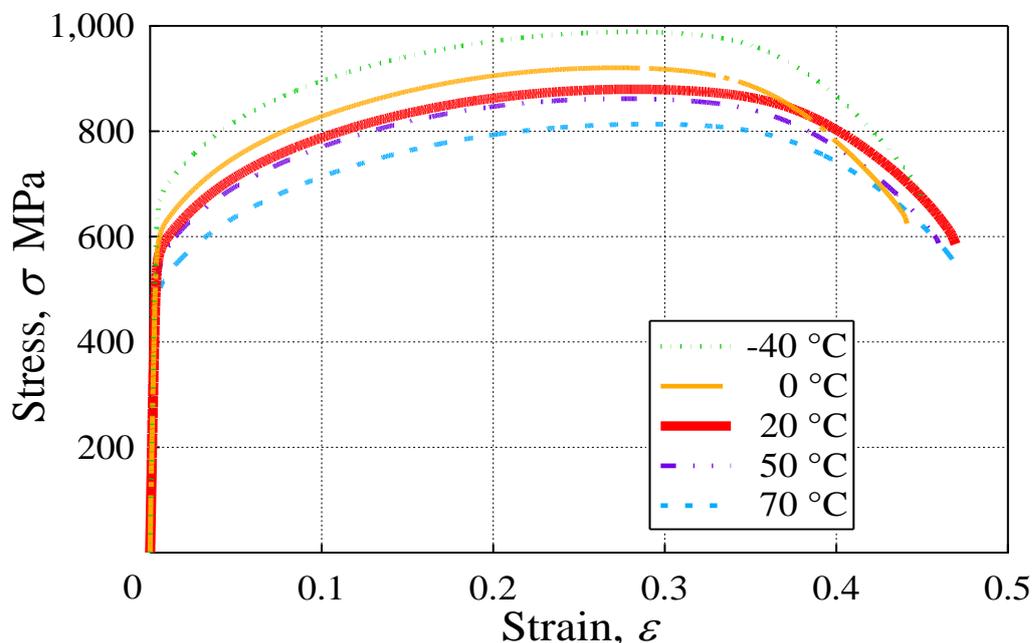


図2 HRX19®中実丸棒状試験片による応力-ひずみ曲線

両試験片ともに温度変化に対する応力-ひずみ曲線の変化は同一で、温度が低下するほど強度ならびに伸びが大きくなっており、液体水素が流れて低温となる実際の使用条件の方が力学的には強くなる（安全側）ことがわかった。ただし、パイプ状試験片と中実丸棒試験片の結果にはそれなりの差異があり、この原因が形状によるものなのかロットによるものなのかは現状ではわかっておらず、今後の検討

事項である。また、以下のシミュレーション解析にはこの応力-ひずみ曲線が必要になるが、当初からの解析結果との整合性を重んじて、シミュレーション解析にはパイプ状試験片の結果を用いた。

## ②疲労試験によるS-N 曲線の取得

繰返し負荷のかかる部材には疲労破壊現象が生じ、その限界繰返し負荷回数は部材にかかっている応力値と密接な関係があり、この相関を求めることでその部材に要求される最大使用繰返し数 (N, Number) に応じた最大応力値 (S, Stress) を推定することができる。

本ベローズも繰返し負荷を受ける部材であるため、そのS-N 曲線の取得が必要であり、当初入手できた中空試験片で検討を進めたが、中空試験片では試験片形状の問題により適切な試験が行えない可能性が示唆された。

S-N 曲線は中実棒試験片の引張試験結果よりCoffin-Manson 則などを用いて推定することが可能であるため、まずは中実棒試験片引張試験の結果を用いて疲労寿命予測曲線を求めた。ただし、より精度の高い疲労特性把握のためには疲労解析用 S-N 曲線を実験で直接得ることが望ましく、技術指導を依頼している防衛大学校工学群機械工学科 山田 浩之 准教授の協力を得て実験を実施し、予測曲線との比較を行った (図 3)。

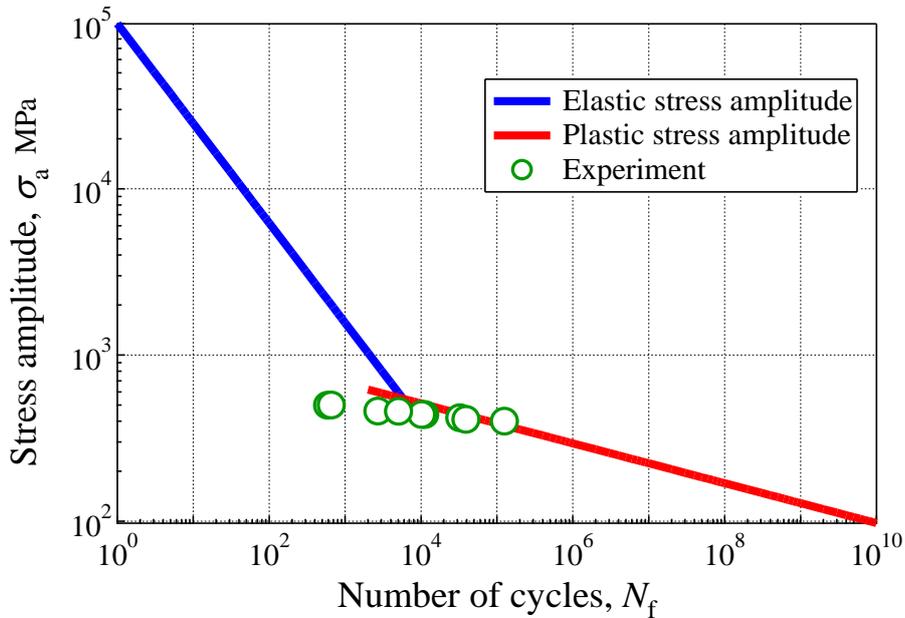


図 3 HRX19®のS-N 曲線

中実棒試験片の引張試験結果より推定されたS-N 曲線 (青線と赤線) と実際の疲労試験結果 (緑○) にはそれなりの相違があり、これらの原因・改善については今後の検討が望まれる。ただし、いずれの結果もS-N 曲線は右下がりの直線となっていて、定性的には問題ない結果となっている。

現状における疲労実験の実施条件 (応力振幅) 範囲は狭く、より広範囲の条件にて実験を行いS-N 推定曲線の修正が望まれるが、少なくとも本ベローズの繰返し使用目標回数である 100,000 回前後の実験は実施できており、実験結果ならびに推定S-N 曲線より 100,000 回の繰返し回数となる応力振幅は約 400MPa となっていて、これが疲労破壊を考慮した実使用時の目標最大応力値になると考えられる。

## (2) シミュレーション精度の向上

### ①内圧試験のシミュレーション

内圧 385MPa に耐え得るベローズ形状として、従来のベローズ管に軸圧を与えて加工した密着型ベローズを想定しており、内圧による変形挙動の違いをシミュレーションし、従来製品（圧密化していないもの）と比較して有意性を検討した（図 4）。

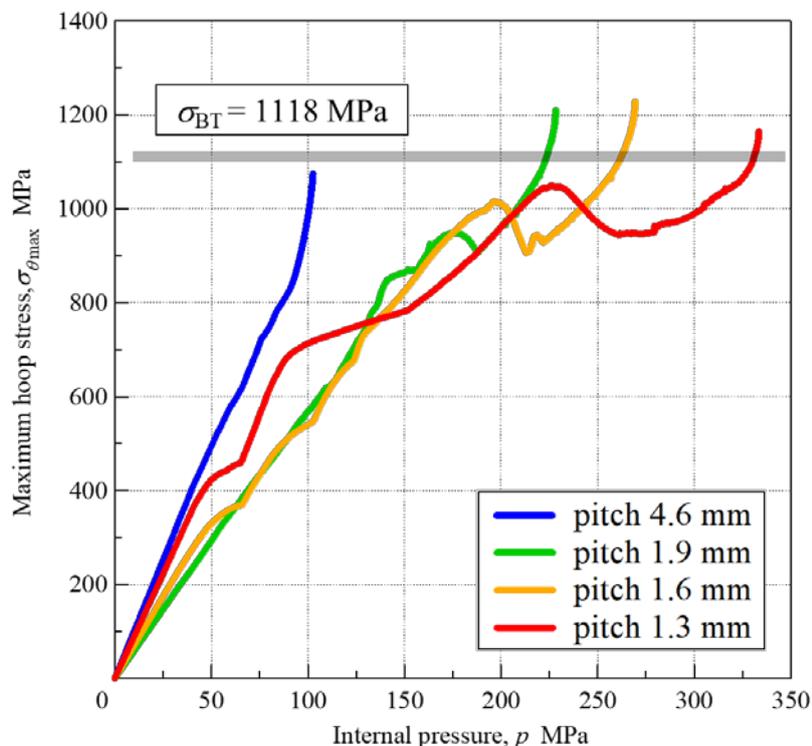


図 4 ベローズ管内圧によるベローズ管内の最大円周方向応力の変化

ピッチ 4.6mm は従来製品の U 型ベローズ、それ以外は圧密度を変えた 3 種類の圧密ベローズの結果である。また、グレーの線で示す限界基準値 (1,118MPa) は HRX19® の応力-ひずみ曲線における引張強度 (最大応力値) をシミュレーション上での応力である真応力に変換した値であり、本解析ではベローズ内の最大円周方向応力がこの値に達すると破壊が起きると仮定した。

図より U 型ベローズでは内圧約 100MPa で破壊が起きるが、ベローズの圧密化により最大内圧は上昇し、ピッチ 1.9mm の粗めの圧密ベローズでも最大内圧は 225MPa (U 型ベローズの 2.25 倍) 程度となった。さらに、圧密化を進めると最大内圧は上昇していき、ピッチ 1.3mm では U 型ベローズの約 3.3 倍 (最大内圧 330MPa) となり、圧密化による耐内圧性向上の顕著な効果が確認された。

その他にもベローズの肉厚や圧密ベローズの内外径比等を変更した解析も行いその効果・設計方針を確認したが、目標である破壊圧力 385MPa をクリアできる形状はまだ見いだされておらず、今後の更なる検討が望まれる。

### ②15 種類のチューブ形状に対するシミュレーション

シミュレーション解析については、「HRX19®」を用いたベローズの圧密化工程を再現でき、それに内圧をかけることにより加圧下における圧密化ベローズの応力解析が可能になった。

これによりベローズ内の応力分布等が明らかになり、耐圧性の高いベローズ形状等の検討ができるようになった。

また、ベローズの破壊起点になると考えられるベローズ内の最大応力が、ベローズ形状（ベローズ部の曲率半径）に応じて変化すること、ならびにその発生位置も形状に応じて移動することがわかり、各種形状のベローズ内応力の推定できるだけでなく、逆にこれらを利用してより強度の高いベローズの設計に繋げていける可能性を見いだした。

これらシミュレーション精度の向上を受け、内径や外径、山高、ピッチ、板厚を微調整しながら15種類のチューブ形状に対してシミュレーションを行い、入手可能な材料形状等を勘案し表1のNo.7が最適形状と判断した。No.7については、表2のとおり寸法公差を設け9パターンの解析を行い寸法の妥当性を確認した。さらに、解析により得た最適寸法のチューブを実際に試作し破壊試験を行い、評価を行った。

表1 応力解析によるチューブ最適形状のシミュレーション結果

ケース	チューブ寸法 単位: mm						内圧 MPa	結果 応力単位:MPa		
	内径	外径	山高	ピッチ	板厚			ブレード 膨らみmm	チューブ	
									相当応力	円周応力
No 1	7.8	14.3	2.75	1.60	0.5	密着後 現状	361	0.44	1170	625
No 2	8.6	13.7	2.05	4.60	0.5	密着前チューブ	361	0.79	1570	1100
No 3	7.8	13.8	2.50	1.65	0.5	破壊後チューブ	300	0.35	1140	662
No 4	6.0	14.3	3.65	1.60	0.5	内径6.0mm	361	0.34	1230	635
No 5	7.0	14.3	3.15	1.60	0.5	内径7.0mm	361	0.40	1190	620
No 6	8.0	14.3	2.75	1.60	0.4	板厚0.40mm	361	0.50	1200	660
No 7	8.5	14.3	2.40	1.60	0.5	内径8.5mm	385	0.53	1120	601
No 8	7.8	14.3	2.75	2.00	0.5	ピッチ2.0mm	385	0.53	1230	674
No 9	6.0	13.0	3.00	1.60	0.5	内径6.0mm	385	0.35	1260	626
No 10	6.0	11.8	2.40	1.60	0.5	内径6.0mm	385	0.33	1140	601
No 11	8.0	13.8	2.40	1.60	0.5	内径8.0mm	385	0.48	1120	601
No 12	6.0	12.0	2.50	1.60	0.5	山,谷内R0.2mm	385	0.32	1240	596
No 13	6.0	12.6	2.80	1.60	0.5	山,谷内R0.2mm	385	0.33	1230	598
No 14	6.0	12.0	2.50	1.40	0.5	山,谷内R0.2mm	385	0.30	1180	579
No 15	6.0	12.5	2.75	1.40	0.5	山,谷内R0.2mm	385	0.31	1190	580

表2 寸法公差を設け実施したシミュレーション評価の結果

ケース	チューブ寸法 単位: mm						内圧 MPa	結果 応力単位:MPa		
	内径	外径	山高	ピッチ	板厚			ブレード 膨らみmm	チューブ	
									相当応力	円周応力
No 7	8.5	14.3	2.40	1.60	0.5	実測値	385	0.53	1120	601
①	8.5	14.3	2.40	1.60	0.5	基準寸法、理想形状	385	0.51	1220	607
②	8.5	14.3	2.40	1.70	0.5	ピッチ+0.1	385	0.53	1250	615
③	8.5	14.3	2.40	1.50	0.5	ピッチ-0.1	385	0.50	1180	593
④	8.5	14.1	2.30	1.60	0.5	山高-0.1	385	0.51	1220	606
⑤	8.5	14.1	2.30	1.70	0.5	山高-0.1、ピッチ+0.1	385	0.52	1250	622
⑥	8.5	14.1	2.30	1.50	0.5	山高-0.1、ピッチ-0.1	385	0.50	1180	592
⑦	8.5	14.5	2.50	1.60	0.5	山高+0.1	385	0.52	1220	596
⑧	8.5	14.5	2.50	1.70	0.5	山高+0.1、ピッチ+0.1	385	0.54	1250	617
⑨	8.5	14.5	2.50	1.50	0.5	山高+0.1、ピッチ-0.1	385	0.51	1180	595

### ③チューブのみの破壊試験

シミュレーション精度向上を目的として、外装補強のないチューブのみの破壊試験を図5のとおり実施した。破壊圧力は292MPa（サンプル①）および300MPa（サンプル②）を示し、再現性のあるデータを得ることができた。

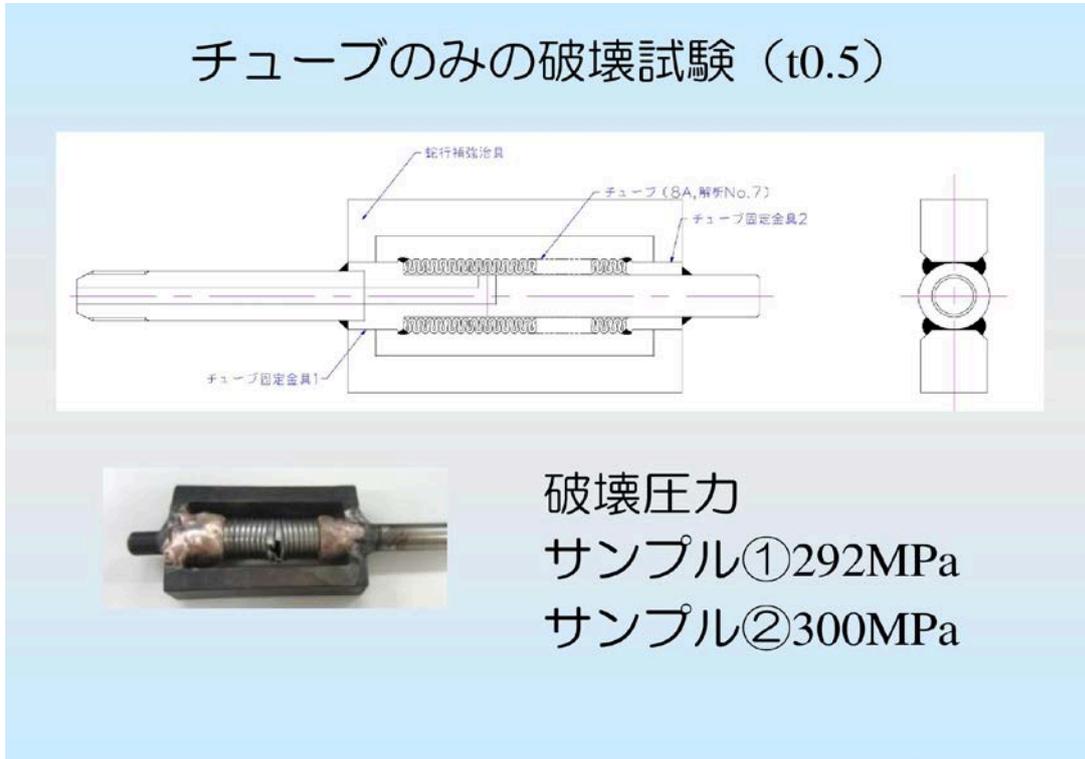


図5 チューブのみの破壊試験結果

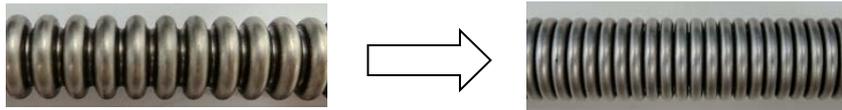
### 2-2 「HRX19®」を用いたフレキシブルチューブ成型加工技術の開発

トーフレ株式会社では、これまで70MPa程度の中圧に対応したフレキシブルホースの開発実績があるが、87.5MPaという高圧に対応したフレキシブルホースを手掛けた実績はないため、新たな成型機の開発が必要となる。「HRX19®」が高強度なため生産性が高いダイス成型機による加工は困難と考え、当初計画では液圧成型機による加工の方が優位であろうと予想していたが、実験的にトーフレ株式会社の既設ダイス成型機を使用して「HRX19®」を用いた試作を実施したところ、成型方法の工夫により想定外の良好な結果を得ることができたことから、ダイス成型機によるトライにシフトし、複数回の試作トライにより多段絞りによる成型方法が最適と判断、5段階成型のダイス成型機を考案した。

シミュレーションにより得られた最適形状を実現するとともに、圧密工程にて発生する微小クラックを防止するため「水圧式チューブ圧密装置」を開発し、導入した。また、東レ株式会社より外装材「ケブラー®」に関する情報提供を受け、ブレード編組実験を実施し、チューブと密着性の良い状態に編組できるようになった。

#### (1) 成型テスト [1]

「HRX19®」、「SUS316Ni 当量材」共に5段階の成型工程と密着工程で、図6に示す形状に加工することができた。チューブ寸法は表3のとおり。



成型チューブ

圧密チューブ

図6 チューブ外観

表3 試作チューブ寸法表

材質	パイプ			成型チューブ寸法			圧密チューブ寸法			
	内径	外径	板厚	工数	内径	外径	ピッチ	内径	外径	ピッチ
HRX19®	φ11.7	φ12.7	0.5	5	φ8.7	φ13.7	4.7	φ8.3	φ14.3	2.4
SUS316 Ni 当量材	φ11.7	φ12.7	0.5	5	φ8.7	φ13.7	4.6	φ8.3	φ14.3	2.5

(1) -1 チューブ断面観察、硬度測定

① チューブ断面観察（微小クラック確認）

「HRX19®」、 「SUS316 Ni 当量材」 共に右図7のようにチューブ谷部に微小クラックが発生した。

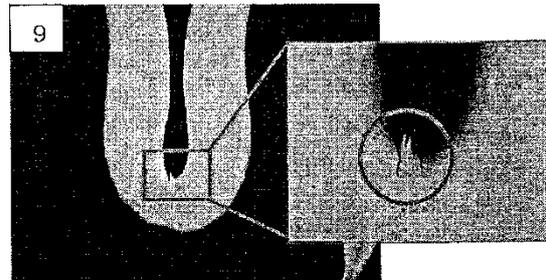


図7 圧密チューブ断面

② 硬度測定（圧密チューブ）

図8に示す測定ポイントでは表4の測定結果に示すように、「HRX19®」、 「SUS316 Ni 当量材」 共に硬度が上昇しているが、チューブ谷部に顕著な硬度上昇が見られた。

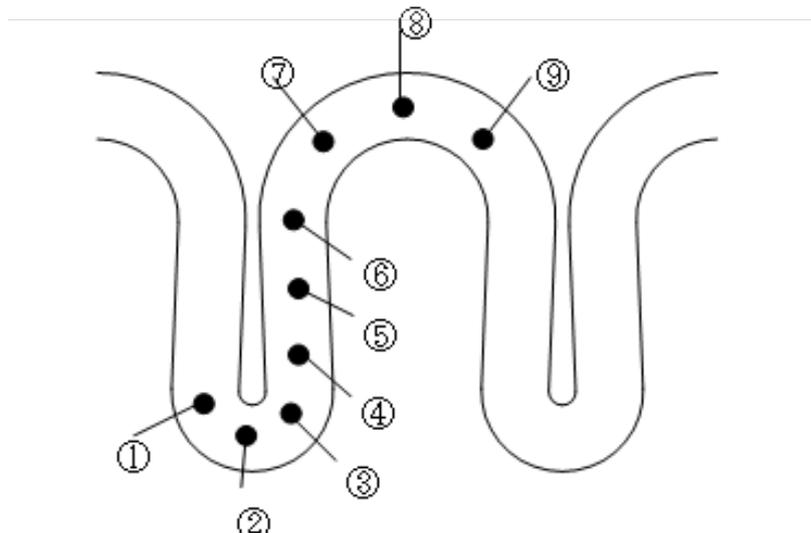


図8 測定ポイント

表4 硬度測定結果

		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
硬 度	HRX19®	421	455	403	388	361	326	312	330	320
	SUS316 Ni 当量材	355	328	344	255	288	255	272	282	246

(1) - 2 破壊試験

目標値 387.5MPa に対し、表5のように目標値をクリアできなかった。

表5 破壊試験結果

材質	破壊圧力, MPa	
	サンプル1	サンプル2
SUS316 Ni 当量材	283	267
HRX19®	213	203

(2) 成型テスト [2]

成型テスト [1] の結果を基に下記①~③の対策を実施し、表6に示すサンプルを作成した。  
試作を行ったパイプ材質はSUS316 Ni 当量材。

- ① 成型ダイスの歯厚 UP により、チューブ谷部 R を大きくする。
- ② 1 工程あたりの加工量と成型回数を減らし、加工率を下げる。
- ③ 3 工程後に焼鈍を行い、残留応力を除去する。

表6 成型テスト結果

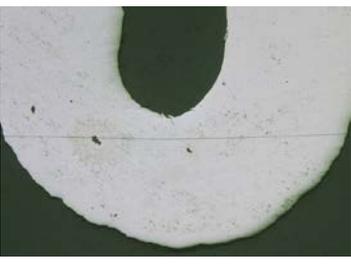
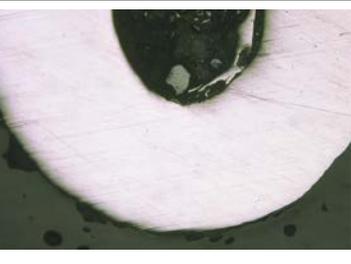
材質	成型チューブ寸法					密着チューブ寸法			
	工数	内径	外径	ピッチ	加工率	内径	外径	ピッチ	加工率
サンプル①	5	φ8.7	φ13.7	4.6	26.5%	φ8.3	φ14.3	2.5	29.1%
サンプル②	5	φ9.2	φ14.0	3.5	21.4%	φ8.3	φ14.4	1.6	24.8%
サンプル③	5	φ8.7	φ13.7	4.6	26.5%	φ8.3	φ14.3	2.2	29.1%

(2) - 1 チューブ断面観察、硬度測定

① チューブ断面観察 (微小クラック確認)

「HRX19®」、「SUS316 Ni 当量材」共に、下図5のようにチューブ谷部に微小クラックが発生した。

表7 チューブ断面写真

	チューブ断面	チューブ谷部拡大
サンプル①		
サンプル②		
サンプル③		

② 硬度測定（密着チューブ）

硬度測定の結果、対策を行ったサンプル②、③において初回試作サンプルよりも硬度が低下していた。

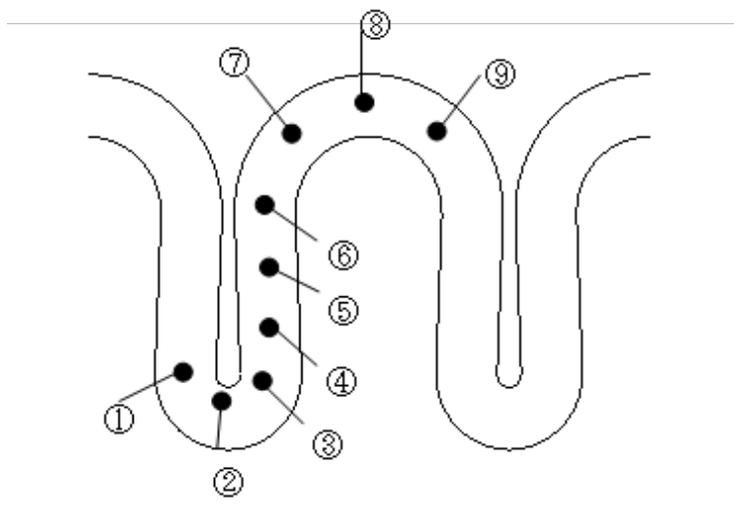


図9 測定ポイント

表 8 硬度測定結果

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
サンプル①	321	365	355	291	245	245	287	232	265
サンプル②	263	319	258	233	233	224	228	227	215
サンプル③	243	304	269	246	234	209	248	205	242
初回試作	355	328	344	288	288	272	282	246	288

(3) 水圧式チューブ圧密装置の導入

成型最終工程の圧密工程において発生する微小クラックと波打ちを防止するため、「水圧式チューブ圧密装置」(図 10)を開発し導入した。機械式圧密装置と水圧式圧密装置で加工したチューブの外観を図 11 に示す。



図 10 水圧式チューブ圧密装置



図.11 機械式(上図:波打ちあり)と水圧式(下図:波打ちなし)で圧密したチューブの比較

機械式の圧密装置を用い圧密したチューブ(上段)に比べ、新たに開発した「水圧式チューブ圧密装置」を用い圧密したチューブ(下段)の方が波打ちもなく、一様に圧密化することができた。

#### (4) 外装材の検証

外装材については東レ株式会社に相談し、「ケブラー®」の帯状・組紐状など素材に関する情報を得た。実験の結果、帯状の「ケブラー®」は巻きつけのテンションを得ることが困難であったが、組紐状の素材φ0.35mm「ケブラー®」を入手し、金属ブレード編組用の従来設備を利用してチューブに直接編みつけることで、テンションを得ることに成功した（図 12）。

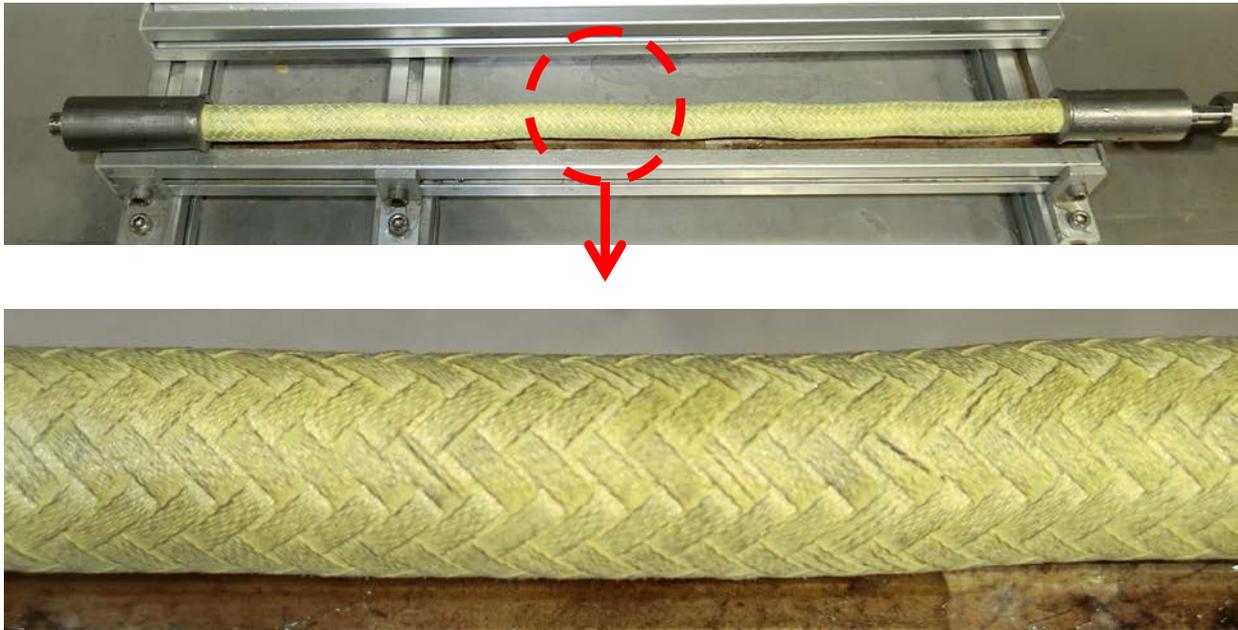


図 12 組紐状の素材φ0.35mm「ケブラー®」を編みつけたフレキシブルホース

「SUS316 Ni当量材」のチューブに、表9のとおり組み合わせパターンを変えてステンレスワイヤロープと「ケブラー®」編組ブレードを編みつけ、破壊試験を行った。

表 9 ステンレスワイヤロープ及び「ケブラー®」編組試作サンプル構成

No.	破壊圧力	サンプル構成				
		1 層目	2 層目	3 層目	4 層目	5 層目
1	225MPa	ケブラー編組 φ0.3×8×24	ケブラー編組 φ0.3×8×24	ケブラー編組 φ0.3×8×24	—	—
2	222MPa	ケブラー編組 φ0.3×8×24	ワイヤロープ φ0.41×8×24	ワイヤロープ φ0.41×8×24	—	—
3	188MPa	ワイヤロープ φ0.41×8×24	ケブラー編組 φ0.3×8×24	ワイヤロープ φ0.41×8×24	—	—
4	230MPa	ケブラー編組 φ0.3×8×24	ワイヤロープ φ0.41×8×24	ケブラー編組 φ0.3×8×24	ワイヤロープ φ0.41×8×24	—
5	213MPa	ケブラー編組 φ0.3×8×24	ワイヤロープ φ0.41×8×24	ケブラー編組 φ0.3×8×24	ワイヤロープ φ0.41×8×24	ワイヤロープ φ0.41×8×24

破壊試験を実施したところ、チューブに接する（1層目）外装が「ケブラー®」のサンプルの方が良い結果を得られたが、385MPaには到達しなかった。

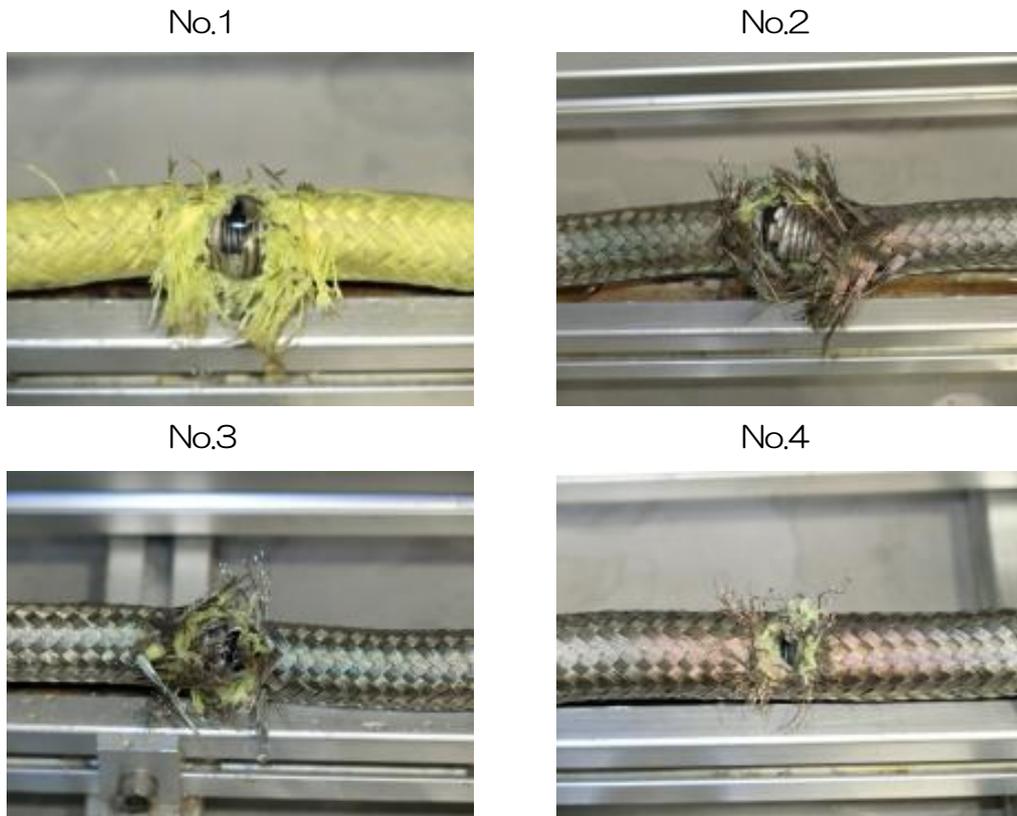


図13 破壊試験後の試作製品（No.1～No.4）

「ステンレスワイヤーロープ」、「ケブラー®」を個別に評価し、問題点の抽出と優位性を評価した。加圧による伸びによりチューブが変形し破壊につながる傾向が見えてきた。円周方向の補強を「ケブラー®」で、長手方向の伸び抑制を「ステンレスワイヤーロープ」で補い、複合することで耐圧性能の向上が期待できる。

構造図	外装材構成	破壊試験					外観
		チューブ 割れ	ブレイド 破断	チューブ 膨らみ	滑り部	緩滑部	
	1×ワイヤーロープ+ 電線保護管 1×ワイヤーロープ ワイヤーロープ構成 線径: φ0.65 径数: 3 打数: 24 電線保護管 ヘランシステム組型 TS-11F-W(ナイロン)	-	-	-	-	○	
	ケブラー®層 ケブラー®構成 線径: φ0.55 径数: 3 打数: 24 強度計算値: なし	-	-	-	-	○	

図14 破壊試験実施状況（一例）

### (5) 事業化に向けた長尺チューブの製作

長尺化への対応としては溶接継手で継ぎ足す方法を検討していたが、10mのシームレスパイプを入手することが可能となり、溶接で継ぎ足す必要のない一本物のチューブを製作することができるようになった。長尺化に対応するため、水圧式チューブ圧密装置を2連から6連に容器を増設し(図15左)、一本物のチューブを圧密化することが可能となり、3mのチューブを製作することに成功した(図15右)。



図15 増設した水圧式チューブ圧密装置(左)と3mのチューブ(右)

### 2-3 ディスペンサー用フレキシブルホースの安全性の検証

これまでの研究成果では、目標破壊圧力385MPaに対し、84%にあたる322 MPaの結果を得た。国内水素ステーションの使用圧力70MPaの4倍である破壊圧280MPaはクリアできたが、継続して国際規格の破壊圧力385MPaを目指す。今後の展望としては、t0.5シームレスパイプの厚みを20%UPさせた、t0.6シームレスパイプの入手ができたので、目標破壊圧力385MPaを達成すべく、研究を継続する。国際規格の破壊圧力385MPaをクリアした後に、曲げ・疲労関係の検証を進める。曲げ・疲労試験装置は社内設備を流用し高圧対応可能な改造を検討する。



図16 曲げ・疲労試験装置

## 第3章 全体総括

### 3-1 研究開発成果

フレキシブルチューブ成型加工技術の開発（平成 28 年度）→外装ワイヤーロープ及び「ケブラー®」での組合せ破壊試験（平成 29 年度）→国内対応 280MPa での長尺 3m チューブの製作（平成 30 年度）と効率よく開発を進めることができた。しかし、国際規格 385MPa の破壊圧力には到達できなかったため、今後も継続して開発を進める。

### 3-2 研究開発後の課題

本研究開発案件については、サポイン事業終了後も室蘭工業大学と協力し事業化に向けて開発を継続する。具体的には、シームレスパイプの板厚増加（t 0.5→t 0.6）やチューブ内径を小さくすることにより国際規格である 385MPa を目指し破壊圧力の向上を図ることに加え、ホースのつかむ箇所を樹脂で被覆し充填しやすくするなど商品化に必要となる事項についても検討していく。なお、製品化の目途がついた際には、室蘭市に設置されている移動式水素ステーションにて実証実験を行い、実用化に向けての問題点を検証することも計画している。

### 3-3 事業化展開

現在、約 100 箇所の水素ステーションが整備されており、水素・燃料電池戦略ロードマップでは、2020 年に 160 箇所、2025 年には 320 箇所の普及目標が示されている。

東京オリンピック後の燃料電池自動車普及を見据え、2020 年には国内向けに水素ステーションディスプレイ用フレキシブルホースを市場投入する計画である。コストについては、現状の樹脂製ホースと同等（100 万円/本）以下に抑え、不燃性で経年劣化しない金属の強みを前面に押し出して拡販し、30~50%のシェア獲得を目指す。