

平成 28 年度

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

**「世界最高性能を生み出すジェットエンジンダクト
の開発」**

研究開発成果等報告書

平成 29 年 5 月

担当局 近畿経済産業局

補助事業者 公立大学法人大阪府立大学

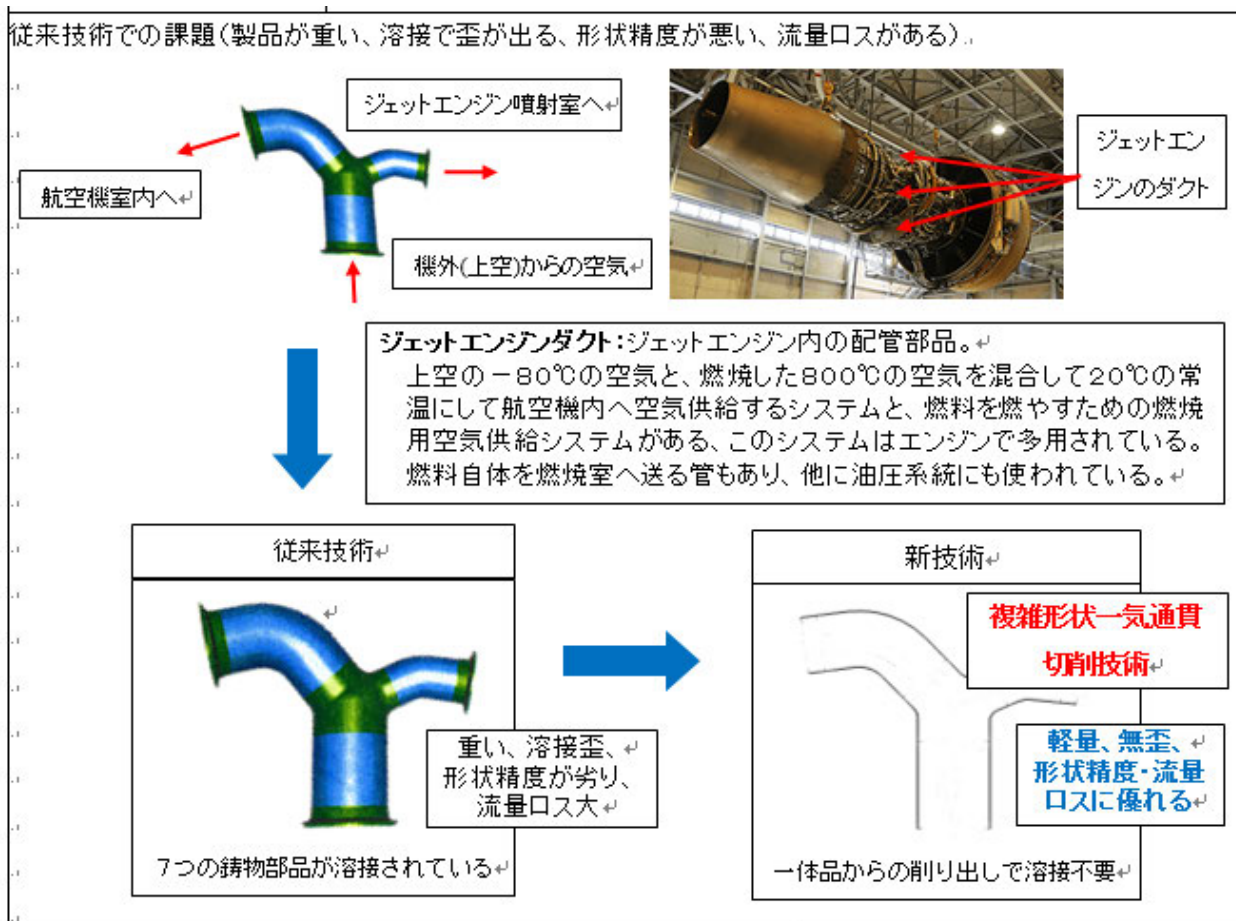
目 次

第1章 研究開発の概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2 研究体制	
(1) 研究組織及び管理体制	4
(2) 研究員	4
(3) 研究協力者（アドバイザー）	5
1-3 成果概要	6
1-4 当該研究開発の連絡窓口	6
第2章 本論	
2-1 一体品複雑形状製品加工	7
(1) 2部品を合体させた製品製作への対応	7
1) 2部品を一体化した部品：小エルボ1個とYピース1個の一体化	
2) 2部品を一体化した部品：大エルボ1個とYピース1個の一体化	
(2) 3部品を合体させた製品製作への対応	8
(3) 7部品を合体させたロケットエンジン部品への対応	10
2-2 流量効率の検証評価実験	11
(1) 流圧差・振動・加速度測定への対応	11
(2) コンピューターシミュレーションによる考察	18
2-3 プロジェクトの管理・運営	22
最終章 全体総括	
3-1 複数年の研究開発成果	23
(1) ジェット・ロケットエンジン部品（エルボ・ダクトなど）での成果	23
(2) 展示会出展等での効果	24
3-2 研究開発後の課題・事業化展開	25
(1) 市場環境	25
(2) 課題	25
(3) 事業化展開	26

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

航空機産業のジェットエンジン部門において高機能化・信頼性の向上・軽量化燃費向上が求められている、この対策として複雑形状にはなるが部品の一体化をし、しかも薄肉軽量高機能材である難削材等に対応した加工技術の開発が求められている。



これらの製品製作に適した加工技術を開発することにより世界最高性能を生むジェットエンジンダクトを製作、日本の国際競争力のみならず世界シェアを獲得することを目的としている。

航空機産業では機体の大型化や航続距離延長、LCCの出現で低価格競争を余儀なくされており、高品質で尚且つランニングコスト削減等が求められている

その対策としてエンジンの重量軽減は勿論のこと、エンジン効率を上げる為に高温化などに対応できる材料選択や、部品の一体化への対応による溶接箇所を減らすことで溶接歪などをなくした高精度な部品製作が求められている。

従来のダクトの問題点であった鋳物製品から削り出しにすることで重量軽減を図るだけでなく、精度向上により流量効率を上げることが求められている。

前回のサポイン（22352713011）で確立した高温に耐えるチタンなどの難加工材加工技術を応用して、一体品・複雑形状にしたダクトを削り出して製作し歪が出る溶接をなくして高性能を発揮する製品加工技術を確立することが求められている。2部品一体から3部品一体そして7部品一体化することにより高機能部品として今後の航空機重要部品のみならず広く製造業全体に普及しうるニーズがある。

我々は東京航空宇宙産業展、上海国際航空博に出展し様々な情報や問題を収集した結果、国内大手メーカーでもジェットエンジンダクトは製作していないことが判明。現状は全て海外からの購入であり、ダクト部品としてエルボ・Yピース・直管に分類されそれぞれ以下の問題があることが判明した。

1：エルボは流量ロス・圧力低下
（内径精度不良による乱流・逆流による流量ロス・圧力損失）

2：Yピースは鋳物製で厚肉になっており、尚且つ精度不良があり重量オーバーである。
【航空機の業界では1g重量が減れば1ドルの価値がプラスされるほど軽量化は重要である】

我々は前回のサポインでこの問題を解決できる加工技術を開発しこれらの問題解決の目処を付けた。

しかしながら、精度の良い製品が製作されても接合された時に大きな溶接歪が発生する。この為、組み立てられた部品の末端には発生した歪を吸収・調節する為に「ツバ」を付けていることが判明した。メーカーと直接取引するジェットエンジンメンテナンス会社が無い日本国内では全く見過ごされていた問題であり、技術力の無い海外メーカーでは今までこの問題を解決するすべがないとされていた。

本研究では研究開発目標値を下記に置いている

ア、一体部品・複雑形状部品加工対応

従来は各部品を溶接し組み立ててきたが、複雑形状の一体品を削り出して加工することで従来の溶接箇所を極力減らし、同時に溶接で発生する歪み・硬化も解消させる。圧力損失比較実験を実施して減圧の有無を検証する

溶接箇所を極力減らす⇒溶接レス（溶接箇所：0）にする

摩擦係数・振動の測定⇒圧力差・振動20%以上改善（減圧・減振動）

【シミュレーションによる優位性の確認、実験による流圧差・振動・加速度の測定を実施し優位性を実証する】

イ、薄肉形状・中空形状加工対応

従来の部品は鋳物でしか出来なかったため肉厚で重量も重い。

従来品を極限にまで薄くすることにより、製品重量も軽減し性能を落とさず薄肉化を図り、尚且つ精度向上により面合わせの精度向上を目指す。

薄肉化による重量軽減⇒従来品より肉厚を 1/3 にする。

面合せ精度を、従来品の±0.5mm以上から±0.1mm以下に向上させる。

ウ、難加工材に対応した加工技術の向上

難加工材での製作のため高剛性な製品加工技術の向上を図る。

(鍛造品での削り出しにした場合鋳物品の5倍の強度が確保できる)

難削材での製品製作⇒SUS321L

(航空宇宙材認定：CRES321相当)

TITAN、INCONEL材でのサンプル製作

エ、海外展示会出展・情報収集、知的財産の海外状況調査の実施

販売実績を予測するために海外市場の需要調査、研究成果サンプル製作を実施
技術説明などでメーカーの需要を収集する

海外での知的財産状況の調査を実施して知的財産の内容確認と取得可否を確認

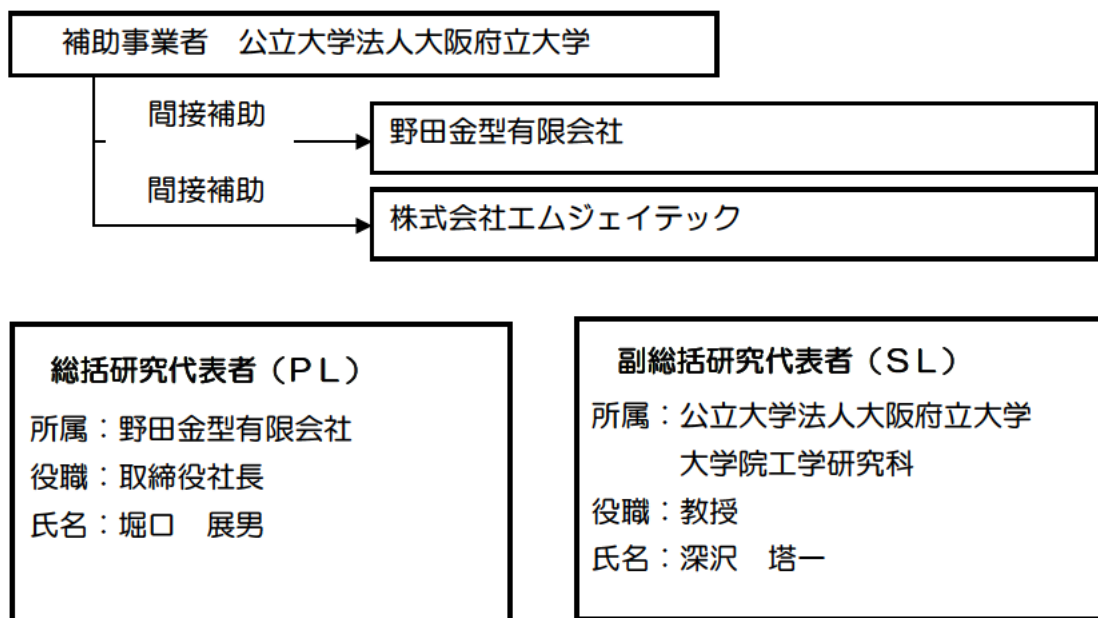
海外展示会出展⇒パリエアショー、ファンボローエアショー等への出展

知的財産状況調査⇒米国・欧州における知的財産状況調査を実施

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

研究組織



管理体制

【補助事業者】

公立大学法人大阪府立大学

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
角谷 佳則	地域連携研究機構 研究支援課 課長	事業管理
日高 伴紀	地域連携研究機構 研究支援課 主査	事業管理

(2) 研究員

【補助事業者】

公立大学法人大阪府立大学

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
深沢 塔一	大学院工学研究科 教授	【3】【4】【5】
柴原 正和	大学院工学研究科 准教授	【3】【4】【5】

【間接補助事業者】

野田金型有限会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
堀口 展男	取締役社長	【1】【2】【3】【4】【5】
泉並 敏信	開発・生産管理室 工場長	【1】【2】【3】【4】【5】
田中 順一	CAD・CAM室 CAD主任	【1】【2】【3】【4】【5】
石田 正仁	CAD・CAM室 CAM主任	【1】【2】【3】【4】【5】
武田 普草	製造管理部 ISO管理	【1】【2】【3】【4】【5】
田中 拓也	製造管理部 5軸機械主任	【1】【2】【3】【4】【5】
堀口 進	製造管理部 3軸機械主任	【1】【2】【3】【4】【5】
堀口 圭子	製造管理部	【1】【2】【3】【4】【5】
奥村 智子	製造管理部	【1】【2】【3】【4】【5】

株式会社エムジェイテック

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
田頭 伸彦	代表取締役会長	【2】【3】【4】【5】
中村 義美	製造課 課長代理	【2】【3】【4】【5】
松本 賢二	技術営業課 課長代理	【2】【3】【4】【5】

(3) 研究協力者（アドバイザー）

川重商事株式会社

神戸本部専門職 小田富由紀

シモダフランチ株式会社

代表取締役社長 下田信治

株式会社ノダ精工

代表取締役 白井宏卓

1-3 成果概要

本研究開発は日本企業がほとんど受注していないジェットエンジンにおける最重要部品のダクトについて、従来の製作方法である鋳造品に対して強度及び重量軽減・効率の効果を出す為の一体品の削り出し製品加工技術の開発を達成した。

従来の製品から重量で最大66%軽減が可能であると目標を定めた。また、強度においても鋳物に対して鍛造品を使うことで5倍以上の強度が得られることから、前述の重量軽減が達成できることを実証した。

また従来の製品における精度が著しく悪く、尚且つダクト（エルボ）の内径を削る方法が見つからなかったのを、すでに野田金型有限会社が日本国内で取得している「削り出しエルボの製造方法」(特許第4491538号)が有ることから、それらを応用し更に高効率の製品開発を実施するだけでなく、その技術的優位性を確認するためシミュレーション・実証実験等によって高性能であることの裏付けを取った。

また、実際に測定した数値データを求めることで「感覚的に良い」という評価だけでなく実験数値による裏付けを示し、日本におけるジェットエンジン部品製作などの航空宇宙産業における優位性を確立した。計算値と実験値の一致、摩擦係数0の測定値などが得られ、これは今後のさらなる研究開発が必要だが従来の理論からは得られないものであり、この結果により宇宙産業へのアプローチが可能になった。

本研究開発の成果品であるサンプル製品、シミュレーション・実験・実測データなどの紹介により、宇宙産業である次世代のロケットを開発する宇宙航空研究開発機構（JAXA）の次世代ロケットエンジンでの噴射実験（QT-2）においてダクト部品・噴射ポンプ部品（ALLOY718）への採用を獲得した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

【プロジェクト全体に対すること】

公立大学法人 大阪府立大学

研究推進本部 研究推進課

課長補佐 日高 伴紀

電話番号：072-254-9686

E-mail：thidaka@ao.osakafu-u.ac.jp

【技術的なこと】

野田金型有限会社

取締役社長 野口 展男

電話番号：0472-268-1006

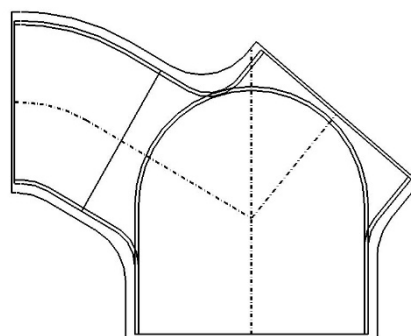
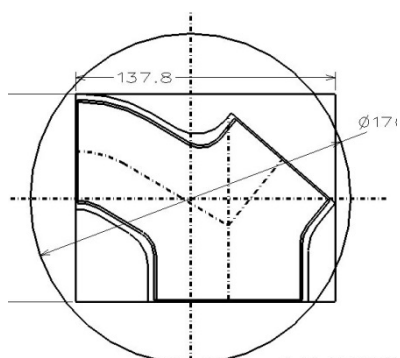
E-mail：nodacam@gmail.com

第2章 本論一

2-1 一体品複雑形状製品加工

(1) 2部品を合体させた製品製作への対応

- 1) 2部品を一体化した部品：小エルボ 1 個とYピース 1 個の一体化
3D・CAD/CAMによる一体化設計製作を実施

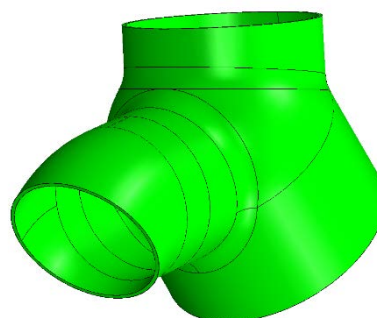


CADによる2部品一体化設計材料取

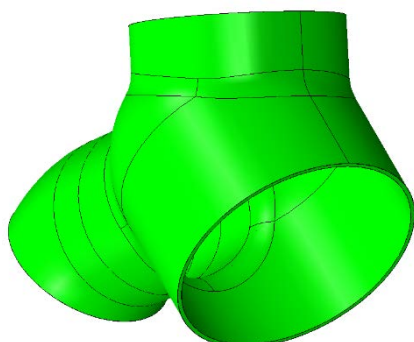
製品製作時の荒加工検討図面
(アルミ・チタン・インコネル材で製作)



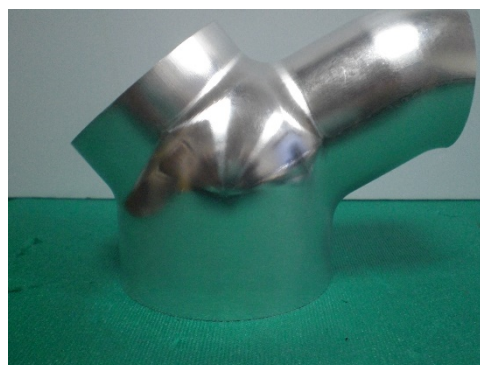
CADでの立体モデル製作



斜め上からの形状確認

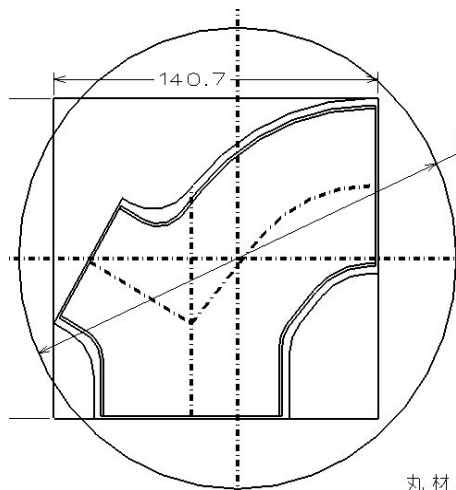


底面斜め方向からの形状確認

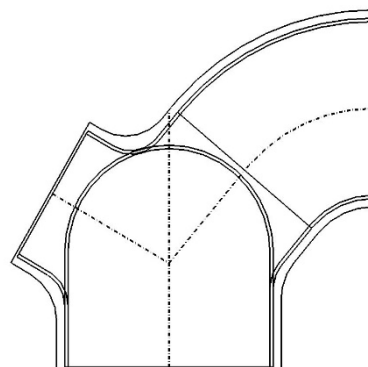


Yピースと小エルボ一体加工品の写真

2) 2 部品を一体化した部品：大エルボ 1 個と Y ピース 1 個の一体化
3D・CAD/CAMによる一体化設計、製品製作を実施



丸材



CADによる2部品一体化設計材料取

製品製作時の荒加工検討図面

(アルミ・チタン・インコネル材で製作)



CADでの立体モデル製作



完成した一体加工製品

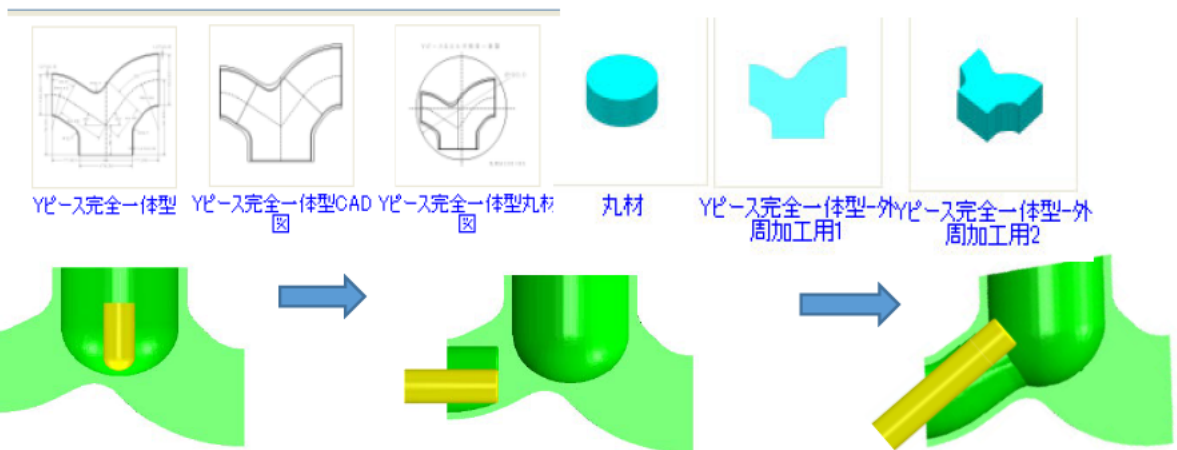
(大エルボと Y ピースの一体化)

(2) 3 部品を合体させた製品製作への対応

3 部品を一体化する部品設計：エルボ 2 個と Y ピース 1 個の一体化

3D・CAD/CAMによる一体化設計、製品製作を実施

CADでの加工図面製作と材料取、加工工程のシミュレーションを実施



CADによる加工シミュレーション：工具長、加工角度などを確認しながら、工具干渉を確認し最適加工方法を開発した。



最適工具の選択、加工スピードや冷却水の効果的散布などを、コンピューター上で確認し加工方案を確立した。



製品加工時固定治具、加工角度工具長さ、加工冷却液角度油糧などの開発で成果品（ステンレス、チタン、インコネル）を作製した。

海外展示会で成果品を使用して技術説明を行った。技術説明の結果、ジェットエンジンでの成果と同様な製品、応用できる製品数は1基のエンジンで40点以上にすることも入手できた。ジェットエンジンの低圧高温部での複雑形状製品は日本国内では製作されていない部品である為に情報が全くない状況であり具体的な数量を設計者や開発者から教えられたことは大きな成果であった。

成果製品の技術は3Dプリンター企業にとっても必要な技術であることもパリエアショー出展時にメーカーへの技術説明で判明している。この様子はJETROのHPから「世界は今 JETRO Global Eye」の2015年7月29日放送分で視聴可能

(3) 7部品を合体させたロケットエンジン部品への対応

7部品を一体化する部品設計：7つの部品を一体化で削り出す設計

サンプル製作：7部品6か所溶接のロケットエンジンダクトの一体化削り出し製品を製作しQT-2の噴射実験に採用された。また本研究開発での成果品製品におけるインコネル部品の削り出し加工について評価いただき、OTP・FTP部品製作を実施した。

下記の詳細図はJAXAのHPより抜粋

1



H3ロケットの想像図 (C)JAXA



第1段エンジン(LE-9) 基本仕様

従来は配管部分では7部品の6か所溶接で対応していた。研究開発の成果品の技術説明から製作可能と判断され、担当局の承諾を得てアルミサンプルを製作、このサンプル評価からQT-2の噴射実験に採用する製品製作へと進んだ。

2-2 流量効率の検証評価実験

(1) 流圧差・振動・加速度測定への対応



写真上 実験装置全体



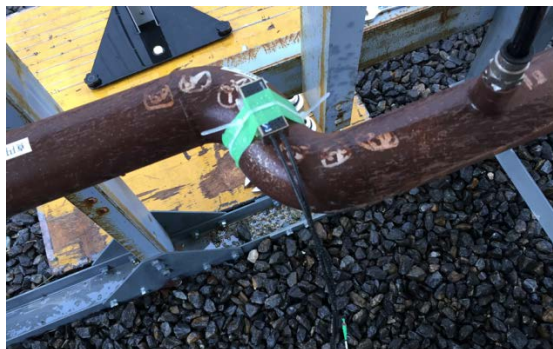
写真上：計測部分確認
写真下：流圧差計測水銀装置

下図にU字型エルボにおける加速度計測位置の拡大図を示す。



U字型エルボにおける加速度計測位置拡大図

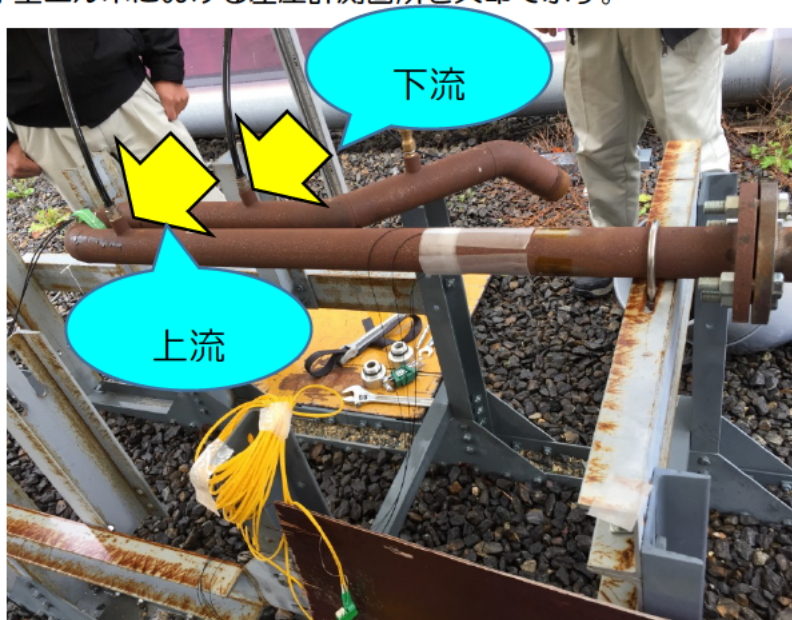
また、同様に下図にS字型エルボにおける加速度計測位置の拡大図を示す。



S字型エルボにおける加速度計測位置拡大図

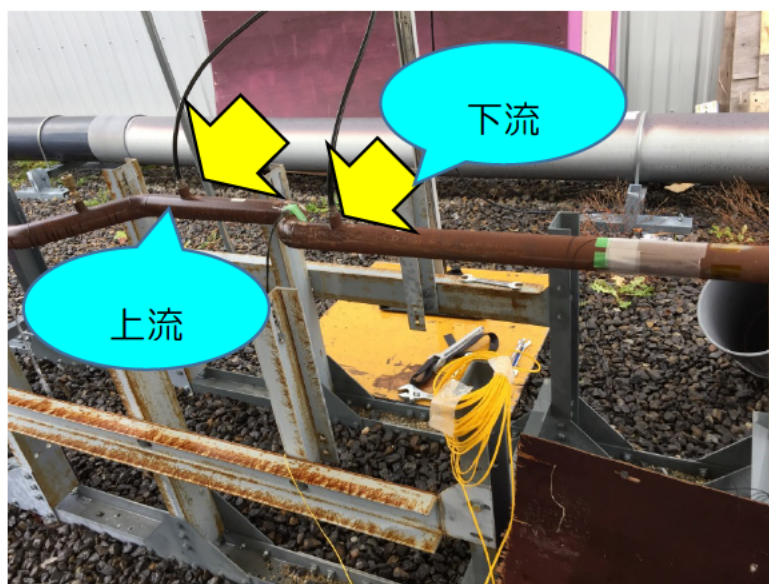
これらのU字型エルボとS字型エルボにおいてそれぞれ溶接を施し製作されたものと、一体品の削り出しにより製作されたものをそれぞれ加速度と流量を計測し比較実験を行う事とした。

下図にU字型エルボにおける差圧計測箇所を矢印で示す。



U字型エルボにおける差圧計測箇所

また、同様に下図にS字型エルボにおける差圧計測箇所を矢印で示す。



S字型エルボにおける差圧計測箇所

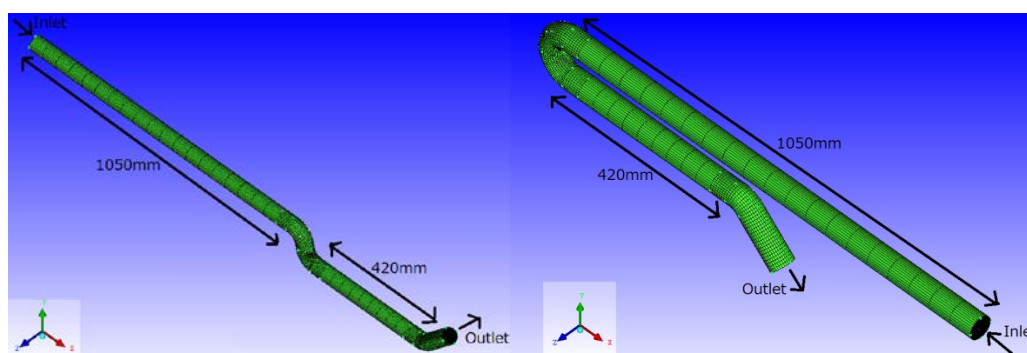
上図では、差圧計測箇所とともに水の流れの詳細も示した。

最初に、実験で得られた差圧とコンピューターシミュレーションを用いて計算を行った計算結果の比較を行う。下図に実験で得られたU字管の流圧実験結果を示す。

		U字管流圧実験結果				2015年11月18日			
		流量 [L/min]	2次側放水圧 [MPa]	マンメータ数値	差圧 [Kpa]	水温 [°C]	先端ノズル	向上率	
真円U-1 90度削り出し エルボをU字に 溶接	U-1(1)	812.3	0.300	4.2	8.4	18.2	φ26.5	34.4%	
	U-1(2)	606.5	0.300	2.2	4.4	18.2	φ22.9	38.9%	
	U-1(3)	400.3	0.300	1.1	2.2	18.2	φ18.7	26.7%	
	U-1(4)	517.9	0.500	1.7	3.4	18.2	φ18.7	34.6%	
	U-1(5)	575.7	0.700	2.0	4.0	18.2	φ18.7	37.5%	
	U-1(6)	690.1	1.000	2.8	5.6	18.2	φ18.7	39.1%	
真円U-2 U字管を一体 品に削り出し	U-2(1)	814.4	0.300	3.8	7.6	18.3	φ26.5	40.6%	
	U-2(2)	603.9	0.300	2.0	4.0	18.4	φ22.9	44.4%	
	U-2(3)	400.5	0.300	0.9	1.8	18.4	φ18.7	40.0%	
	U-2(4)	514.3	0.500	1.5	3.0	18.4	φ18.7	42.3%	
	U-2(5)	575.0	0.700	2.0	4.0	18.4	φ18.7	37.5%	
	U-2(6)	691.4	1.000	2.7	5.4	18.4	φ18.7	41.3%	
市販U-1 JIS規格市販 90度エルボを U字に溶接	市販U-1(1)	822.5	0.300	6.4	12.8	18.6	φ26.5		
	市販U-1(2)	605.1	0.300	3.6	7.2	18.6	φ22.9		
	市販U-1(3)	399.8	0.300	1.5	3.0	18.6	φ18.7		
	市販U-1(4)	517.2	0.500	2.6	5.2	18.6	φ18.7		
	市販U-1(5)	573.5	0.700	3.2	6.4	18.6	φ18.7		
	市販U-1(6)	688.5	1.000	4.6	9.2	18.6	φ18.7		
	市販U-1(1)前回	801.9	0.300	6.6	13.2	10.0	φ26.5		
	市販U-1(2)前回	599.2	0.300	3.6	7.2	10.1	φ22.9		
	市販U-1(3)前回	403.0	0.300	1.6	3.2	10.1	φ18.7		

計測で得られたU字管流圧差結果(先端ノズル付き条件での測定)

また、下図に今回の計算で用いたモデルと計算条件を示す。



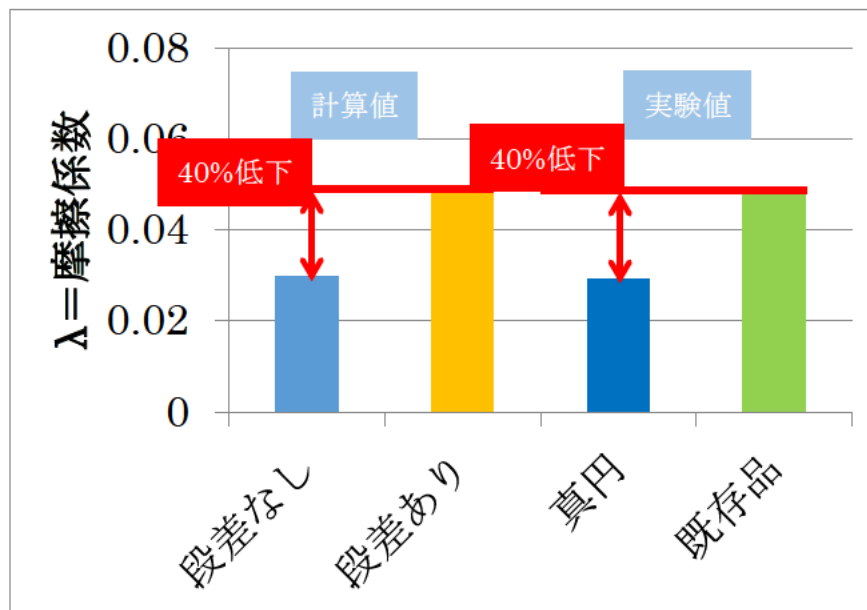
S字型モデル

U字型モデル

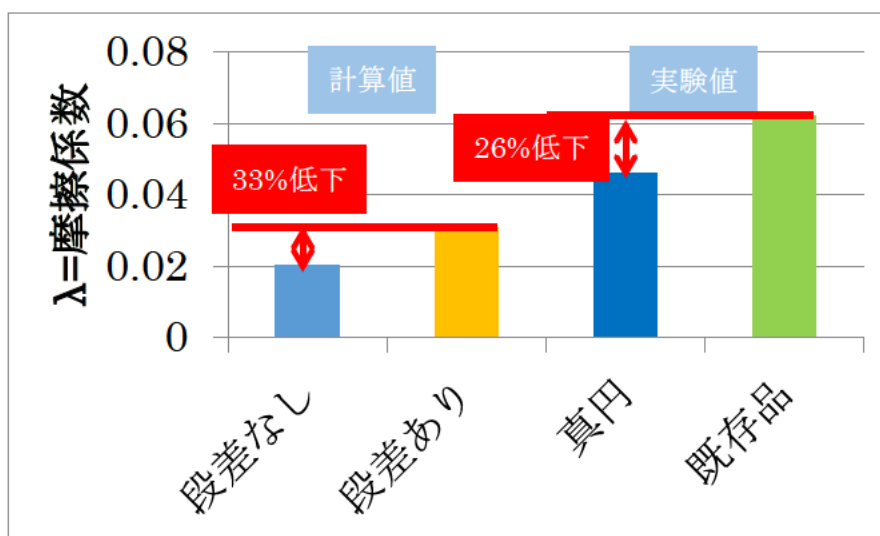
計算条件

流体	水
密度	998.2 kg/m^3
粘度	$1.003 \times 10^{-3} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$
Inlet	3.332 m/s (U字) 3.316 m/s (S字)
Outlet	0.300 (MPa)

次に今回の解析を行った結果と実験結果の比較を下図に示す。



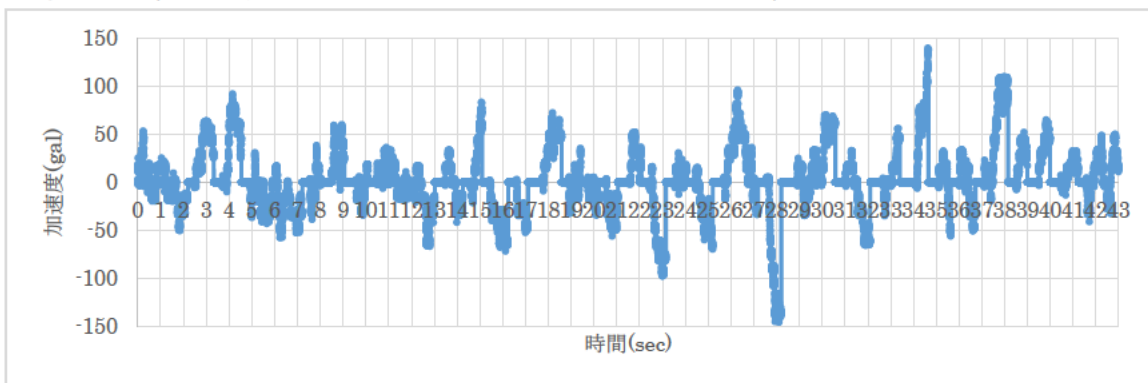
U字管のダルシーの摩擦係数の計算結果



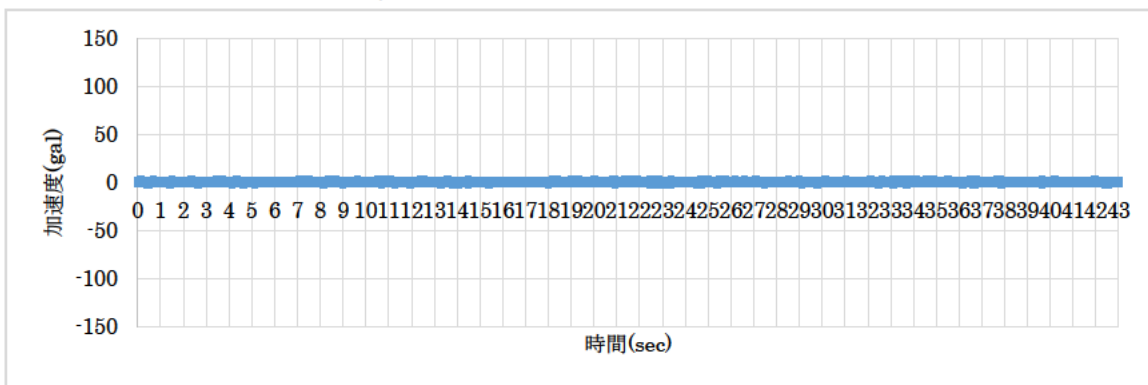
S字管のダルシーの摩擦係数の計算結果

U字管での計算と計測結果は完全に一致している、これは従来の製品では得ることができない結果であり、設計者にとって朗報である。

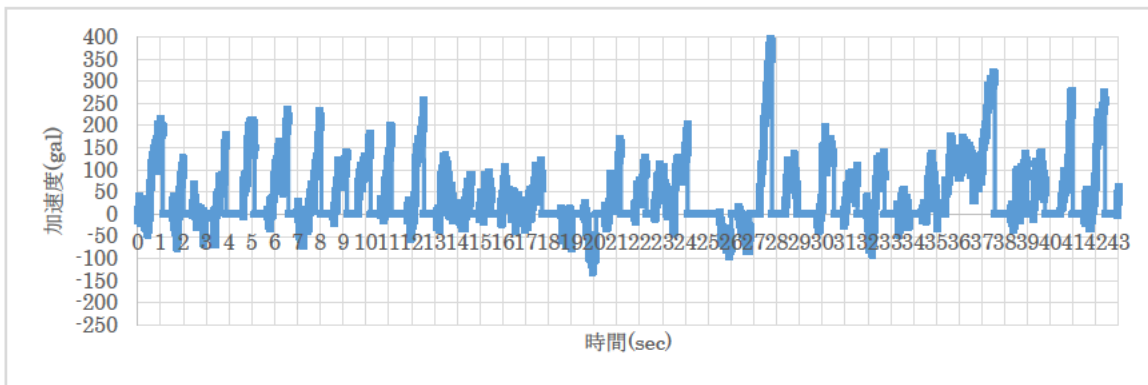
次に振動比較の結果を示す。今回は加速度を計測しFFT変換したものを振動比較の対象とした。まず、加速度ピックアップの計測結果を示す。



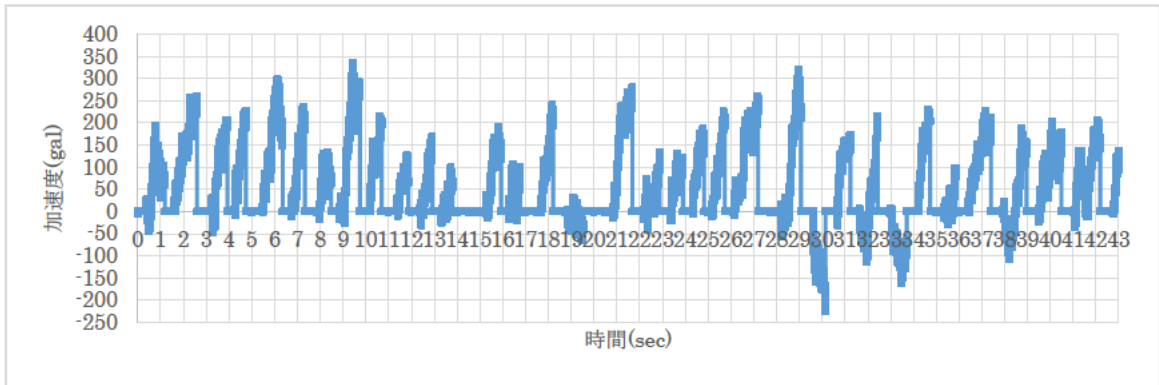
U字管の加速度計測結果(溶接接合型)



U字管の加速度計測結果(一体切削式)

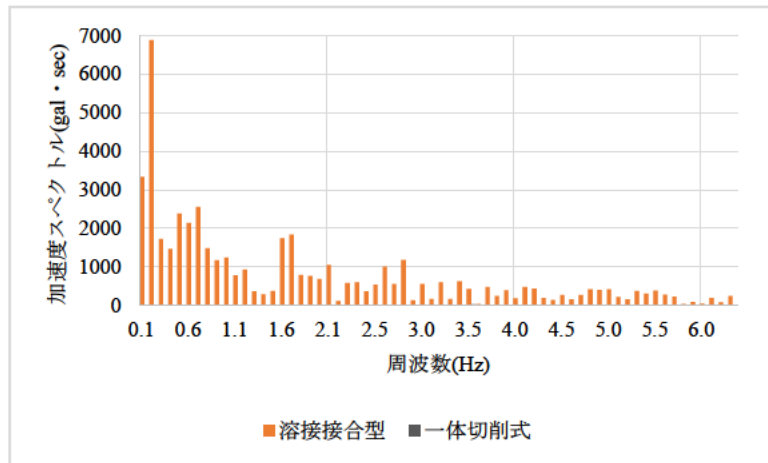


S字管の加速度計測結果(溶接接合型)

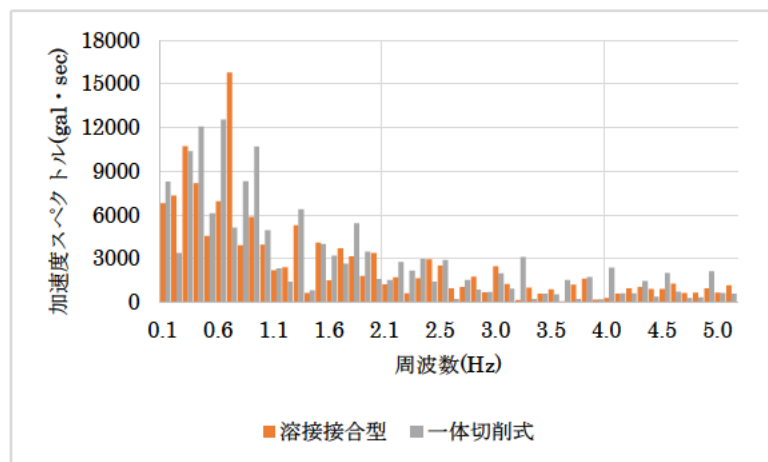


S字管の加速度計測結果(一体切削式)

次に縦軸に加速度スペクトルをとり、横軸に周波数(Hz)をとったFFT変換したものを下図に示す。



U字管の振動比較結果



S字管の振動比較結果

以上のように U 字管に関しては段差の存在の有無で非常に大きな振動差が表れることが確認された。

最後に流差圧と、流量の関係を溶接接合型と一体切削式の間で比較したものを下図で示す。計測を行ったのは流量が $800\text{l}/\text{分}$ と、 $1500\text{l}/\text{分}$ の計 2 パターンである。

S 字型エルボ	差圧 (溶接接合型)	差圧 (一体切削型)
流量 $800\text{l}/\text{分}$	8.4 (kPa)	7.3 (kPa)
流量 $1500\text{l}/\text{分}$	36 (kPa)	30 (kPa)

S 字管の流量と差圧の関係

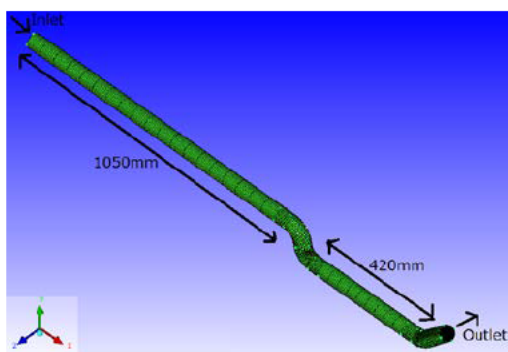
U 字型エルボ	差圧 (溶接接合型)	差圧 (一体切削型)
流量 $800\text{l}/\text{分}$	6.5 (kPa)	0 (kPa)
流量 $1500\text{l}/\text{分}$	25 (kPa)	13.7 (kPa)

U 字管の流量と差圧の関係

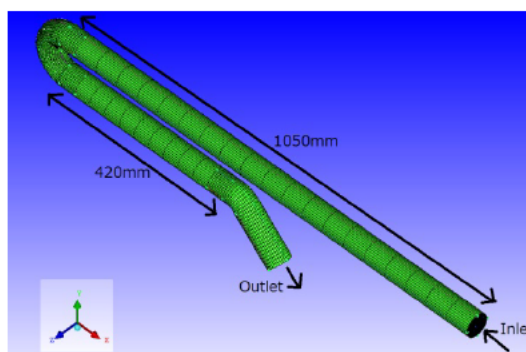
以上に示した結果から、特に U 字管は溶接による段差の影響が大きく出ることが分かる。S 字管においては、溶接による段差の影響を S 字そのものの形状影響が卓越して検出されたため上に示すような段差による差圧が観測されない結果になったと考えられる。この U 字管と S 字管の結果にみられる差は、流れの剥離箇所が原因として関わっていると考えられる。

(2) コンピューターシミュレーションによる考察

一体品の削り出し加工により製作するエルボ内部には、溶接による段差が存在しないため流量効率が向上する可能性が示唆されている。そこでコンピューターシミュレーション(CFD 解析)を用いて段差による流量効率への影響を解析した。また、解析を行った際に用いたモデルを下図に示す。



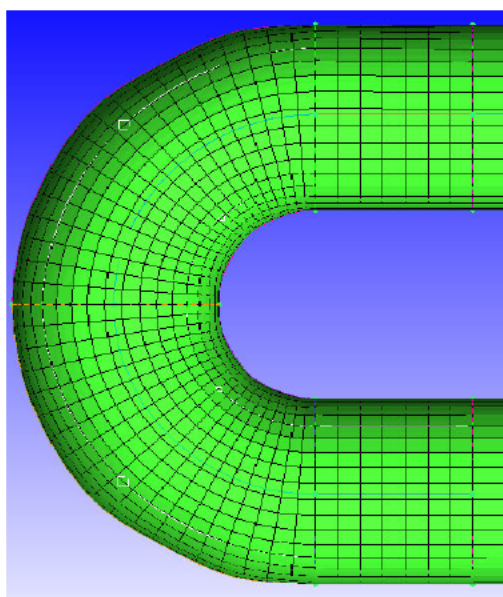
S字型モデル



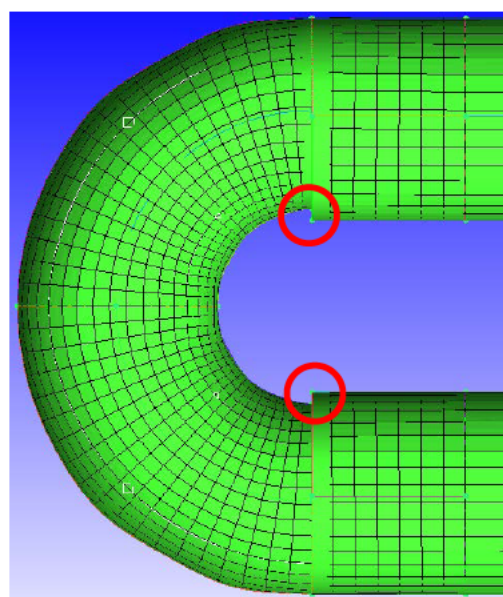
U字型モデル

上左図に示すようにエルボ部がS字型のものと、上右図に示すようにエルボ部がU字型の2つのモデルを作成し解析を行った。今回は、それぞれのモデルにおいて溶接により生じる段差と流量効率の関係性を明らかにすることが目的である。そこで、あえて直管部とエルボ部に段差をつけることで溶接部を模擬することとした。下図に段差を設け作成したモデルと、段差を設けず作成したモデルの拡大図を示す。

U字型では下右図に示すような段差を設けた。

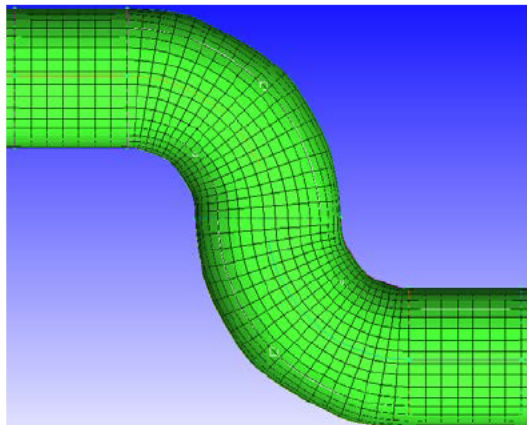


U字型モデル拡大図

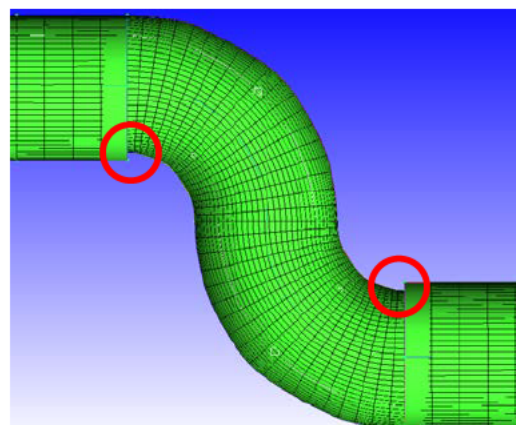


U字型モデル拡大図(段差有り)

また、S字型では下図のように段差をもうけた。

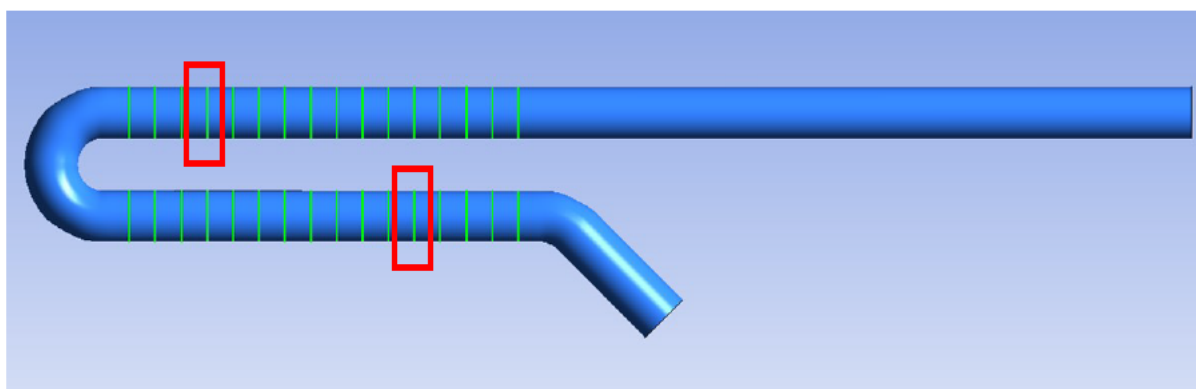


S字型モデル拡大図



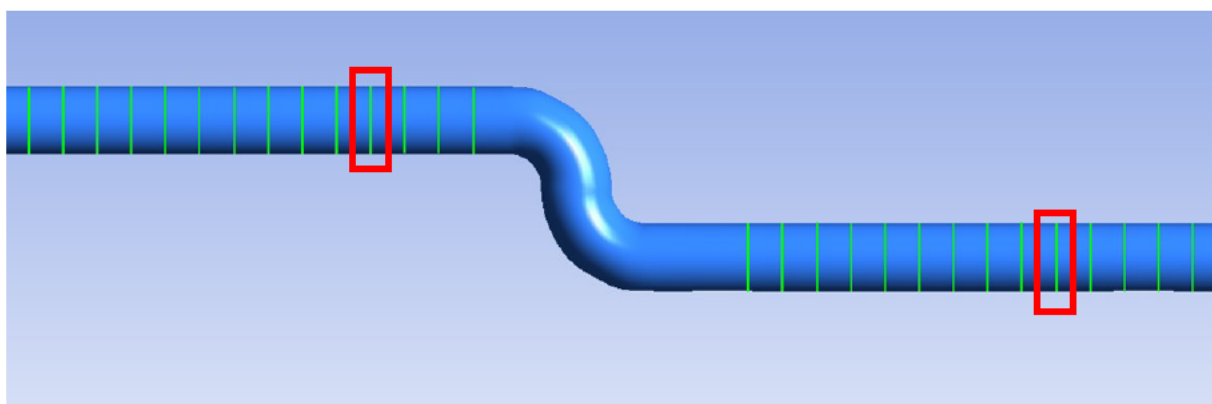
S字型モデル拡大図(段差有り)

今回は、上図に示したモデルを用い解析を行った。流量効率の比較は、差圧の評価を行い検討することとした。下図に差圧を評価した箇所を示す。



U字型モデル差圧評価場所

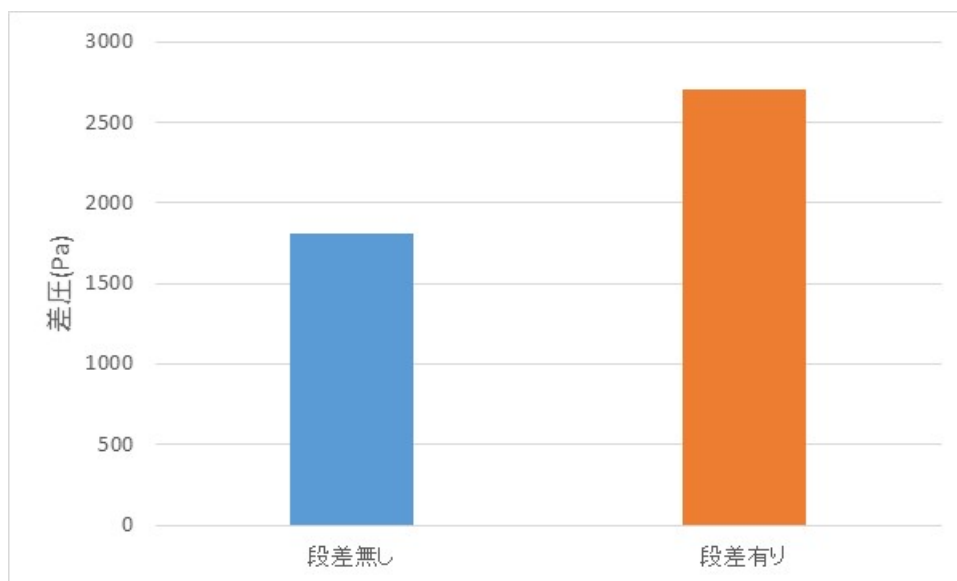
U字管は上図において赤色の長方形で囲まれた箇所の差圧を評価した。次に下図でS字管の評価場所を示す。



S字型モデル差圧評価場所

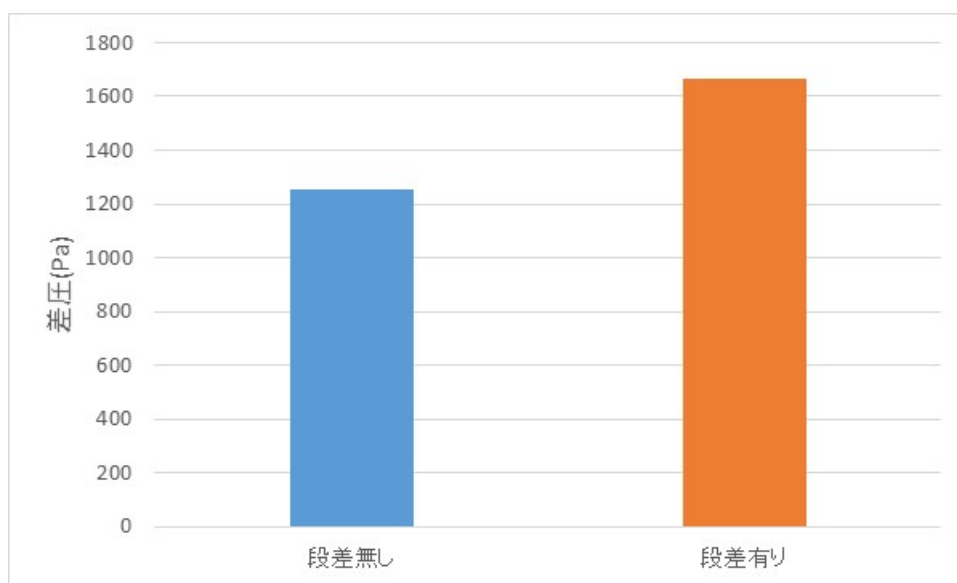
以上に示した箇所の差圧を評価し段差を軽減することにより生じる差圧の低減効果を調べた。計算条件としては両者の密度を 998.2 kg/m^3 で同一とし、粘度を $1.003 \times 10^{-3} \text{ kg/m-s}$ とした。流入条件は、U字管において流速 3.332 m/s としS字管において流速 3.316 m/s とした。流出条件はU字管において 0.310 MPa 、S字管において 0.300 MPa に設定した。

以上を解析条件とし、得られた結果を下図に示す。



U字管における差圧計測結果

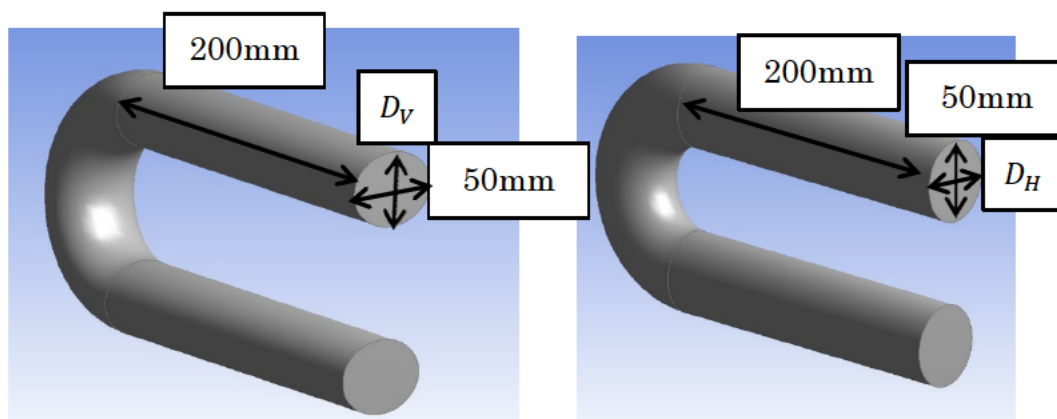
上図よりU字管においては、段差が存在しない場合約 33パーセントの差圧低減 が確認された。次に下図にS字管における解析結果を示す。



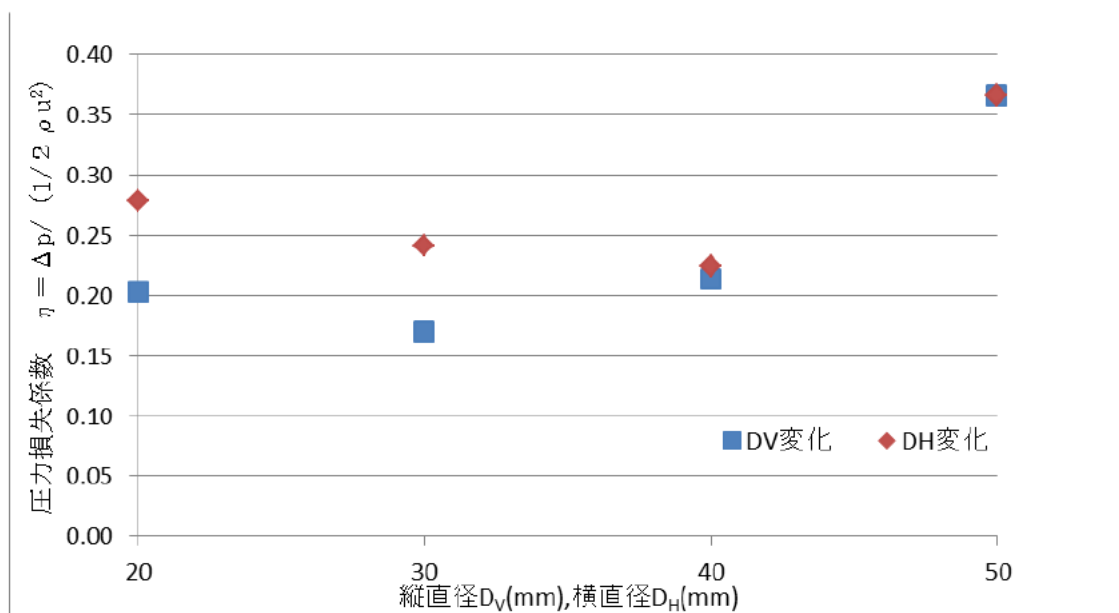
S字管における差圧計測結果

S字管の場合は、段差が存在しない場合約 25 パーセントの差圧低減が確認された。以上より内部の段差は、差圧低減効果に大きく寄与することが確認された。差圧の低減が確認されたことにより、内部の段差が無い場合の流量効率における優位性が示された。

これより、内部に段差が存在しない一体品を削りだして製作するエルボは従来のエルボに比べ流量効率が向上することが分かった。そこで一体部品の削りだしにより加工されるエルボならではのより良い形状を求めめるためコンピューターシミュレーション (CFD 解析) を用い計算を行った。まず初めに下図に示すように、横直径を 50mm で固定したものと縦直径を 50mm で固定したものを 2 つ製作しそれぞれの流量効率比較を行うこととした。

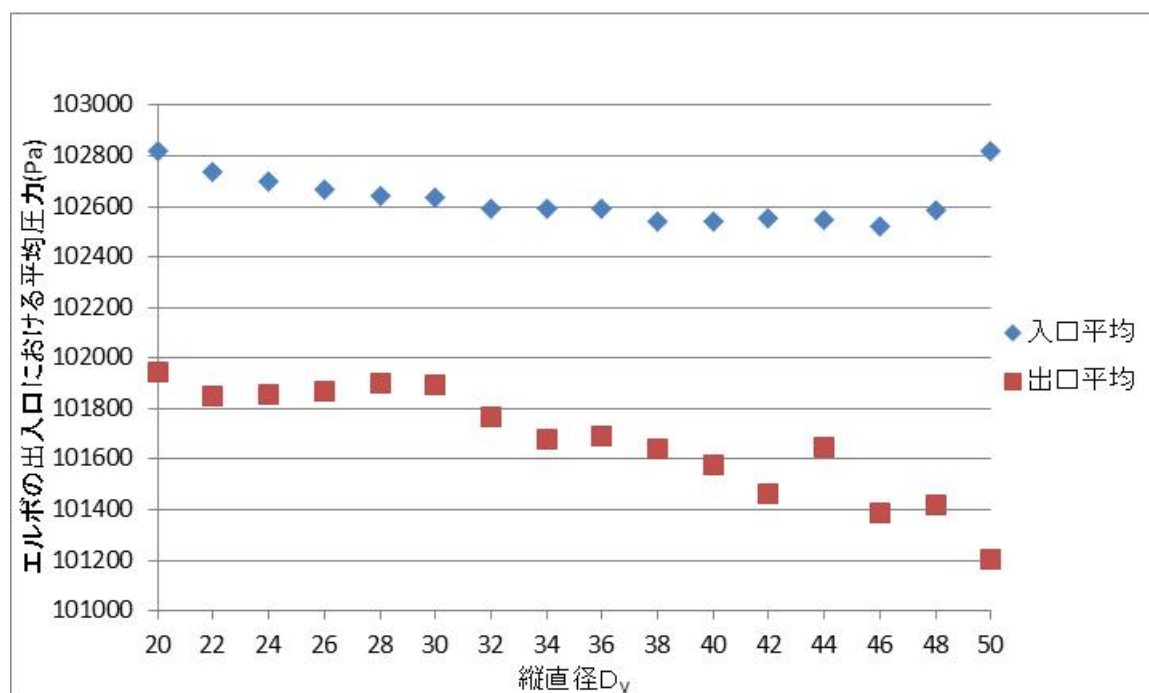


上左図に示すように縦直径 D_V を変化させたものと、上右図に示すように横直径 D_H を変化させたモデルで解析を行った。今回は流量効率比較をするにあたり圧力損失係数を参考にすることとした。その結果を下図に示す。



圧力損失係数に及ぼす縦直径 D_V 、横直径 D_H の影響

縦軸に圧力損失係数 η を示し、横軸に変化させた縦直径 D_V 、または横直径 D_H を示す。青色の印が縦直径 D_V を変化させたもので赤色の印が横直径 D_H を変化させたものである。同図より、縦直径 D_V を変化させた方が圧力損失係数を低減できる事がわかった。すなわち流量効率が向上することがわかった。さらに縦直径をより細かく変化させることで、詳細な検討を行った。縦直径 D_V を 20mm から 50mm の間で 2mm 間隔ずつ変化させた際の出口と入口の平均圧力を以下の図に示す。



エルボの入口と出口における平均圧力に及ぼす縦直径 D_V の影響

青色の印は入口付近の圧力を示し、赤色の印は出口付近の圧力を示す。同図より、入口と出口の圧力差が小さいすなわち、流量効率が良いと考えられるのは 28mm 程度の場合であることがわかった。このようにしてコンピューターシミュレーションを用いて任意の最適な形状を計算し、その結果として得られた形状に対し、本研究で開発した任意形状が精密に製作可能な削り出し加工法を適用することで流量効率を最大とする最適な新しいエルボを精密に製作できることは、今後の科学技術の発展に大いに繋がると考えられる。

2-3 プロジェクトの管理・運営（公立大学法人大阪府立大学）

プロジェクト事務局を大阪府立大学産学官連携機構内に置き、経費管理および事務手続きの窓口とした。研究調整委員会を初年度 4 回、第 2 年度 4 回、最終年度 4 回開催し、研究の進捗状況、今後の展開、および経費の執行状況について協議した。

最終章 全体総括

3-1 複数年の研究開発成果

(1) ジェット・ロケットエンジン部品（エルボ・ダクトなど）での成果

1：従来製品よりはるかに重量軽減した製品を製作できた。

従来の加工製品（鋳物・鉄板曲げ溶接）より強度のある鍛造ブロックからの削り出しが可能になり大幅な重量軽減（最大66%重量軽減）を達成した。



成果品の展示会における展示写真

【写真左：シンガポールエアショー 写真右：パリエアショー】

2：難加工材でも削り出すことが可能であることが実証された。

ステンレス、チタン、インコネル材でのサンプル製作を実施した。

3：薄肉であっても高精度で製品製作できることが証明された。

従来の鋳物製品 3.8mm.から.27mm、厚み公差±0.1mm.以内を達成した。

4：流量効率の計算値と削り出し製品の計測値が一致することを確認した。

U字管での40%流圧軽減は計算値と一致した。

5：実験条件の中で**摩擦係数が0になる計測値を得た。**

流量 800L/min での流圧差0であることを計測した。

6：大口径になるとエルボは鉄板曲げ溶接しか製作方法がなくその為、高精度製が製作出来ないとされていたが高精度の一体化製品が加工出来た。

開発機構の次世代ロケットエンジン部品製作でQT-2に採用された。

7：削り出しにより、従来品の溶接箇所最大6か所を0にできた。

8：溶接作業の削減の効果で、組み立て工程の大幅な時間短縮が達成できた。

組み立て作業の中での溶接時間の大幅な短縮を達成した

(2) 展示会出展等での効果

- 1：従来製品より重量軽減した製品を実際に製作したことで、成果品を使った各種展示会で実物を触って確認しながらの技術説明を実施出来、技術説明でもバイヤーにより理解してもらうことができた。



英国:ファンボロー展示会



フランス:パリエアショー展示会

航空宇宙の展示会として世界最大のパリエアショーでは JETRO のブースに出展。ここでは成果品への各国のバイヤー達の評価がもの凄く高くブースへの来場者が絶えまなく来ることから JETRO の映像記録班より成果品の取材を受け、この様子を JETRO インターネット番組で放映され多くの反響を得た。

番組名:「世界は今 JETRO Global Eye」: 2015 年 7 月 29 日放送分で視聴可能
参考: JETRO HP: <http://www.jetro.go.jp/tv/internet.html>

- 2: ステンレス、チタン、インコネル材でも削り出すことが可能であることが実証できたことで、従来製品で難加工材での削り出しが可能かの問合せに対しても可能との回答を出すことが出来た。
- 3: 薄肉で高精度な製品サンプルが製作できたことで、「重量軽減による燃費向上を実現できる可能性が高いことから従来製品からの変更も可能」と設計者から「採用に向けて検討したい」とのコメントが得られた。
- 4: 一般的に設計者は流量効率の計算をする場合圧力損失を計算以上にする。これは実測値が計算よりも悪いのが当たり前であることからきている。計算値=計測値で一致することは今まで報告されたことは無く、総務省・消防庁の HP でも流量ロスが明記されているほどである。今回の実験でφU字管での計測値が計算値と一致したことから H3 での QT-2 からの開発採用へとつながった。

5: 検証実験の中で流量 800L/min での流圧差 0 (摩擦係数が 0 になる計測値) が計測されたことは、従来の流体力学では説明できない事態である。
従来のエルボにおける流量ロスのかえ方を再考するきっかけになる。

6: 大口徑におけるエルボ (ダクト) において、一体品は製作不可能という考えが有ったが、製作可能であることを実証でき、削り出し一体品複雑形状の製品調達が可能であることをアピールできたことで今後設計段階で設計者の選択肢を広げることが出来る。

7: 溶接を最大 6 か所から 0 へ、組み立て工程の溶接作業を大幅に時間短縮し、溶接での問題点である「溶接硬化」「溶接歪み」などが大幅に軽減されるため、今後の製品開発でより効率化を図れることをアピールできた。

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

(1) 市場環境

1: ジェットエンジン関係 (航空機産業)

ユーザー: GE・R&R・P&W・SAFRANなどが市場を独占している

マーケット: 国内では独自にジェットエンジン製作は皆無

市場規模: 2016 年度でジェットエンジンだけで 10 兆円

2: ロケットエンジン関係 (宇宙産業)

ユーザー: 米国・欧州・日本・中国・その他

マーケット: 日本は JAXA が世界レベルで頑張っており、今後の衛星

・宇宙ステーション打ち上げについては需要が増加する

市場規模: 世界のロケット打ち上げ予算は 20 兆円余り (2014 年実績)

【資料: 平成 28 年 6 月 内閣府宇宙開発戦略推進事務局】

(2): 課題

1: ジェットエンジンへの売り込みについては、世界市場でジェットエンジンの開発がほとんど終わっており、既存製品の取り換えになる。

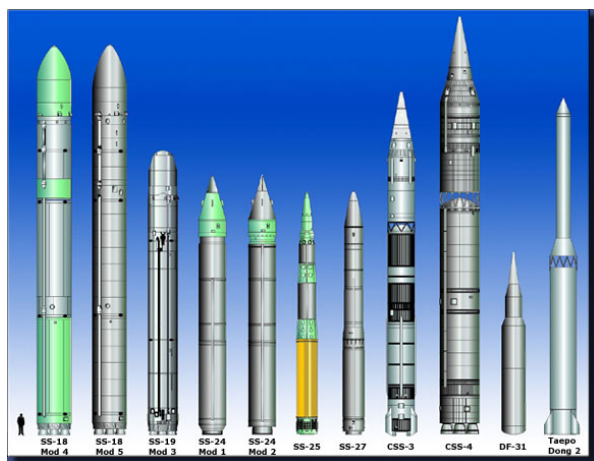
この場合の市場参入は時間がかかる。参入する場合は既存製品への参入であっても新製品になり実証実験なども必要で、製品の優位性だけでは参入は難しいのが現状である。国レベルでの支援が必要であり、供給義務などのハードルをどのように解決するかが事業化への鍵となる。

2: 宇宙産業であるロケット開発は現在進行中が多い。本研究開発での成果と効果により、今回日本の次世代ロケット H3 のロケットエンジン部品として Q

T-2（エンジン噴射実験）に採用されたことから、今後QT-3（最終機能検証）、量産の為の工程確定まで採用される可能性が出てきた。

この分野での事業化に向けて更なるアピールを実施したい。採用になれば量産化における価格低減が課題になる。

3-3 事業化展開



	53m	60m	57m	60m	54.9m
ロケット名	H2A	アリアン5	プロトン	アトラス5	ファルコン
能力	4トン	8トン	6.4トン	8.2トン	4.5～4.7トン
成功率 (打ち上げ数)	95.2 (21)	97.1 (34)	91.7 (60)	96.6 (29)	57.1 (7)
打ち上げ コスト(推定)	85億～ 100億円	77億～ 108億円	54億～ 66億円	58億～ 72億円	44億円 程度
運用企業	三菱重工	アリアン スペース 欧州)	フルニ チェフ (ロシア)	コナイテッド・ ローン チ・アライ アンス(米)	スペース X(米)

(注)成功率は欧アリアンスペース調べ、能力は静止軌道への打ち上げ能力、アリアンは「アリアン5 ECA」、フルニチェフは「プロトンK / M」、SpaceXは「ファルコン1」の性能を指す。

サポイン事業開始当初の事業化目標は航空機のジェットエンジン部品分野への参入であったが、マーケティング調査として行った研究開発・展示会展などを通して、航空機分野への早期の市場参入が難しい事、ロケット分野にも高いニーズがある事が分った。

国産ロケットH2Aは、世界の主なロケットに対して引けを取らない性能であるが次期開発品はさらにその上に行く性能が求められている。この部品採用に向け下記の事業展開を実施する。

ロケット分野では、JAXAが開発・設計権を持ち日本主導の世界標準を目指している。このエンジン部品として標準採用され、海外メーカーにも採用されれば日本での設計変更が可能になり市場を独占することも可能となる。さらに、加工公差などの変更に関しても、採用実績を積み重ねることにより海外においても標準に出来る。そのために、

- 1：サンプル製作によりQT-2で採用された実績を生かし、QT-3でも採用されることを目指す。
- 2：ロケットエンジン部品として基本加工技術の確定を得て10年間以上の継続採用を獲得する。
- 3：展示会等で成果品展示・技術説明を実施し、海外メーカーでの採用を促進する。

この実績をもとに、ジェットエンジン分野でOEM会社との業務提携等で供給義務を

達成し、成果品の航空機産業への事業展開を実施する。

このほかにも、U字管での摩擦抵抗0という測定結果から従来の流体理論では想定できない実験値が得られたことで、**学術的にも今まで考えられない効果が期待される。**

配管関係での多種多様な形状に対してどのような効果があるかが実証されれば今後の市場参入・受け入れが加速すると考えられる。

導入効果と費用対効果などがどの程度になるかを含めた総合的な評価をできる体制作りが出来れば、この研究成果は多くの産業に受け入れられ、省エネにも役立つものと期待している。