

業務報告書

平成3年度

滋賀県立機械金属工業指導所

彦根市岡町52番地



ま え が き

我が国の経済は、内需主導と個人消費を背景に息の長い景気拡大を続けてまいりましたが、昨年中頃より拡大基調の変化が見られ、バブル経済の崩壊とともに、調整局面が続いております。

また一時の厳しい状況は緩和されているものの依然として人手不足は解消されておらず、労働時間の短縮や、環境対策など新たな難題も山積しているのが実情であります。

当所では、今後の発展、繁栄のために、新たな活路を見出し、付加価値の高い分野へシフトしていただくために、ソフトな経営資源の充実に努力いたしております。

特にバルブにおきましては、機能性の追求と性能面が重要な視点となっておりますことから、コンピュータによる流体解析とバルブ実流性能試験を繰り返しながら研究を進めてまいりました。また人手不足対策として、CAD/CAMシステムによる加工の合理化・省力化の研究にも力を注ぐとともに、NC加工機の充実に努めてまいりました。

ここにその実績を取りまとめましたので、御高覧賜り、御意見をいただければ幸いに存ずる次第であります。

平成4年8月

滋賀県立機械金属工業指導所

所長 上田成男

目 次

I 概 要	
1 沿 革	1
2 規 模	1
3 組 織	2
4 職 員	2
5 予算および決算	4
6 試験研究設備の整備状況	8
7 主要設備	9
II 依頼業務	
1 依頼試験数および手数料	14
2 設備使用件数および使用料	14
III 指導業務	
1 技術アドバイザー指導事業	15
2 一般巡回技術指導	15
3 簡易巡回技術指導	16
4 技術相談	16
5 調 査	17
6 技術普及講習会	17
7 新技術技術者研修	17
8 出版刊行物	18
9 生産技術研究会	18
IV 研究業務	
1 CAEによる低キャピテーションバルブの開発研究 (2)	19
2 バルブ製品の性能に関する研究	48
(キャピテーションの定量化に関する研究)	
3 CAD/CAMシステムによるバルブ加工の合理化・省力化研究	64
(CNC旋盤、精密平面研削盤における試削と操作について)	
4 自動制御弁の開発研究	77
(既存弁による駆動特性の把握と制御ソフトの基本設計)	

I 概 要

1. 沿 革
2. 規 模
3. 組 織
4. 職 員
5. 予算および決算
6. 試験研究設備の整備状況
7. 主要設備

1. 沿革

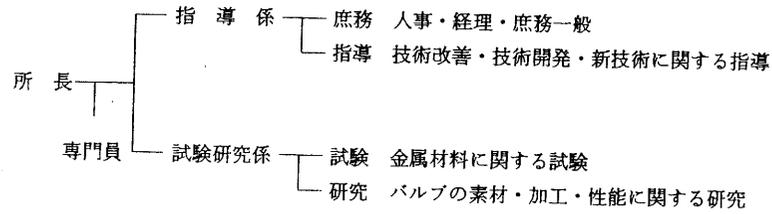
昭和21年4月	長浜市に県立長浜工業試験場を設置、機械、繊維の2部制とする。
昭和27年4月	工業試験場を機械部門と繊維部門に分割し、機械部は滋賀県立機械金属工業指導所と称す。
昭和34年4月	本指導所の整備計画ならびに彦根市に移築を決定
昭和35年10月	庁舎竣工新庁舎にて業務を開始（現別館）
昭和38年3月	実験研究棟（精密機械加工室、熱処理中間試験室、シグホーラ室、その他）を増築
昭和43年1月	同上2階実験研究室を増築
昭和49年10月	本館 竣工
昭和62年12月	バルブ性能試験装置を設置
昭和63年4月	滋賀バルブ協同組合が庁舎に移転
平成2年3月	高機能バルブ開発実験棟を増築

2. 規模

敷地面積	3,400.69㎡
建物総面積	2,437.38㎡
本館	1,017.96㎡（鉄筋コンクリート三階建）
実験棟1	562.53㎡（鉄筋コンクリート補強ブロック平屋建）
実験棟2	670.96㎡（鉄筋コンクリート補強ブロック一部二階建）
その他	185.93㎡

（平成4年4月1日現在）

3. 組織 (平成3年4月1日現在)

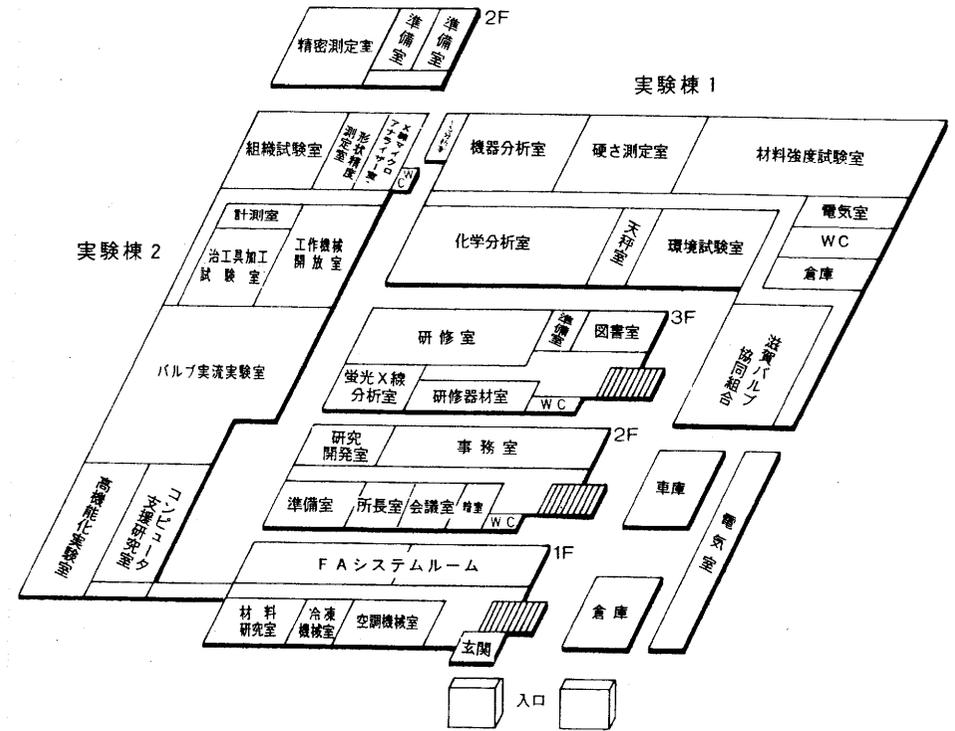


4. 職員

4.1 職員構成 (平成3年4月1日現在)

所長	上田成男
専門員	河崎 勲
"	村口明義
指導係	長 樋口英司
主査	藤田芳彦
"	西川哲郎
試験研究係	長 松川 進
主査	宮川 栄一
主任技師	酒井一昭
嘱託	井上道子

建物配置図



5. 予算および決算

(1) 平成3年度 歳入予算執行状況

(単位：円)

科 目				予算通知額	調 定 額	収入済額	不 納 収 入 欠 損 額 未 済 額	収 入 未 済 額
款	項	目	節					
06				4,012,000	4,348,950	4,348,950	0	0
	使用料及び 手数料							
		01		612,000	624,950	624,950	0	0
			07	612,000	624,950	624,950	0	0
			05	612,000	624,950	624,950	0	0
			機械金属 工業指導所					
		02		3,400,000	3,724,000	3,724,000	0	0
			04	3,400,000	3,724,000	3,724,000	0	0
			05	3,400,000	3,724,000	3,724,000	0	0
			機械金属 工業指導所 試験					
12				120,000	121,902	121,902	0	0
	諸 収 入							
		0		120,000	121,902	121,902	0	0
			05	120,000	121,902	121,902	0	0
			41	120,000	121,900	121,900	0	0
			経営技術等 研修講習 受講料					
			93	0	2	2	0	0
			雑 入					
	合 計			4,132,000	4,470,852	4,470,852	0	0

(2) 平成3年度 歳出予算執行状況

(単位：円)

科 目					予算令達額	支出済額	残 額	備 考
款	項	目	節	細 節				
07					112,119,870	112,119,870	0	
	商 工 費							
		01			2,379,688	2,379,688	0	
			01		102,331	102,331	0	
				09	92,331	92,331	0	
				14	10,000	10,000	0	
				使用料及び 賃借料				
			03		2,277,357	2,277,357	0	
				01	984,000	984,000	0	
				08	175,000	175,000	0	
				09	1,051,357	1,051,357	0	
				11	52,500	52,500	0	
				01	10,000	10,000	0	
				02	42,500	42,500	0	
				12	11,500	11,500	0	
				02	11,500	11,500	0	
				14	3,000	3,000	0	
				使用料及び 賃借料				
		02			109,740,182	109,740,182	0	
			02		395,000	395,000	0	
				08	74,400	74,400	0	
				09	93,620	93,620	0	

科		目			予算令達額	支出済額	残額	備考
款	項	目	節	細節				
			11		177,980	177,980	0	
			需用費					
				01	3,000	3,000	0	
				食糧費				
				02	174,980	174,980	0	
				その他需用費				
			12		5,000	5,000	0	
			役務費					
				02	5,000	5,000	0	
				その他役務費				
			14		44,000	44,000	0	
			使用料及び					
			賃借料					
		04			40,662	40,662	0	
		工業技術						
		センター費						
			09		10,662	10,662	0	
			旅費					
			12		30,000	30,000	0	
			役務費					
				02	30,000	30,000	0	
				その他役務費				
		07			109,304,520	109,304,520	0	
		機械金属						
		工業指導所費						
			01		1,085,184	1,085,184	0	
			報酬					
			04		137,921	137,921	0	
			共済費					
			08		447,000	447,000	0	
			報償費					
			09		2,358,017	2,358,017	0	
			旅費					
			11		16,351,076	16,351,076	0	
			需用費					
				01	270,709	270,709	0	
				食糧費				
				02	16,080,367	16,080,367	0	
				その他需用費				
			12		2,676,574	2,676,574	0	
			役務費					
				02	2,676,574	2,676,574	0	
				その他役務費				

科		目			予算令達額	支出済額	残額	備考
款	項	目	節	細節				
			13		1,500,736	1,500,736	0	
			委託料					
				01	273,396	273,396	0	
				電気保安				
				業務委託				
				02	184,370	184,370	0	
				恒温恒湿				
				点検委託				
				03	520,356	520,356	0	
				警備業務委託				
				04	112,270	112,270	0	
				浄化槽等維持				
				管理業務委託				
				05	91,250	91,250	0	
				ボイラー整備				
				検査委託				
				06	35,844	35,844	0	
				火災報知設備				
				保安検査委託				
				07	123,600	123,600	0	
				排出水の				
				分析委託				
				08	159,650	159,650	0	
				冷凍機保				
				安点検委託				
				14	89,320	89,320	0	
				使用料及び				
				賃借料				
				15	6,180,000	6,180,000	0	
				工事請負費				
				18	78,309,992	78,309,992	0	
				備品購入費				
				19	168,700	168,700	0	
				負担金補助				
				及び交付金				
				01	7,000	7,000	0	
				滋賀県冷凍				
				設備保安協				
				会負担金				
				02	161,700	161,700	0	
				会議等負担金				
		合		計	112,119,870	112,119,870	0	

6. 試験研究設備の整備 (平成3年度)

設備名	数量	型式	製造者	備考
排ガス洗浄装置	1台	SYS-20SP	セイコー化工機(株)	県 単
ショア硬度計	1式	D-D型	(株)今井精機	〃
強度解析システム	1式	NISAII	EMRC社	日自振補助物件
CNC旋盤	1式	LB25C型	(株)オークマ	〃
平面研削盤	1式	SGC-95型	(株)長瀬鉄工所	〃
表面粗さ測定器	1式	SE-30AK	(株)小坂製作所	〃
真円度円筒形状測定器	1式	EC-3070B	(株)小坂製作所	〃
アナライジングレコーダ	1式	AR3200型	横河電機(株)	〃
キャス試験機	1台	CASSER-ISO-3	スガ試験機(株)	県 単

7. 主要設備

品名	規格	購入年月日	備考
治具中ぐり盤	三井精機製JBD型No.3	38.6.17	日本自転車振興会補助物件
万能工具研削盤	牧野フライス社製C-40	38.12.23	〃
ブロックゲージ	津上製PTW A級	39.8.18	〃
万能顕微測定器	三井精機製MLD 1000	40.1.14	〃
万能工具顕微測定器	津上製T-MCL2型	38.	〃
旋盤	大阪工作所製360HB-X型	43.3.19	〃
超硬工具研磨盤	アサヒダイヤモンド工業製SDG型	43.9.10	〃
表面粗さ計	テーラーボブソン社製タリサーフ4型	43.11.30	〃
万能フライス盤	日立精機製MS型U	43.12.28	中小企業庁補助物件
プロジェクション オブテメーター	カールツァイスイエナ社製MOD20/20	44.10.21	日本自転車振興会補助物件
キャス試験機	東洋理化製CASSER-1	44.10.29	〃
流速効果腐食試験装置	山崎精機研究所VF-1	44.10.29	〃
カット・オフ(帯鋸盤)	アマダ製CRH-300S	45.8.30	〃
ショア硬さ試験機	三光計器製S44計量研型	45.9.25	中小企業庁補助物件
ブリネル硬度計	三精工業製SDLB計量研型	45.9.29	〃
工業用赤外線温度計	旭産業製TA-1	45.10.20	日本自転車振興会補助物件
デジマイク 顕微鏡STM	オリンパス製DM253	45.10.30	中小企業庁補助物件
液化炭酸超低温装置	柳本製作所OTS-60	45.10.31	日本自転車振興会補助物件
オートコリメータ	ニコン6D型	46.8.16	〃
島津万能試験機	電子管式REH-100型	46.9.29	中小企業庁補助物件
周波数自動分析記録装置	国際振動研究所製SM-2200	47.9.28	日本自転車振興会補助物件
エレマ電気炉	東海興商製CE-20	47.10.30	〃
高温鋳物砂試験機	東京衡機製力量500kg	47.10.31	〃

品名	規格	購入年月日	備考
直立式鋳物砂熱膨張計	小沢製作所製EOS-1	47.11.20	日本自転車振興会補助物件
曝熱試験器	小沢製作所製MO-1	47.11.20	〃
定電位電解分析装置	柳本製作所AFS-4 4連式	47.9.8	〃
ばいじん量測定装置	D-20SC	49.8.12	中小企業庁補助物件
メモーション測定装置	松下電器製	49.7.31	〃
万能基準硬さ試験機	明石製作所製 計量研型 SHT-3型計算装置付	49.10.28	〃
蛍光X線分析装置	理学電機工業製 ガイガーフレックス3063P4	52.3.30	〃
CEメーター	リーズ・アンド・ノースロップ社 TECTIPマークIII-H	52.3.23	〃
自動平衡型温度記録計	千野製作所EK 100-06	53.8.25	〃
塗型用噴霧機	岩田塗装製	53.12.20	〃
PHメーター	東亜電波製HM-20B	53.7.10	県 単
シャルピー衝撃試験機	島津製30kgf-m	54.1.17	〃
普通騒音計	(株)ノードDS-101C	54.8.20	中小企業庁補助物件
精密低温恒温槽	田葉井製作所製 K-3473-D1	54.10.31	日本自転車振興会補助物件
ストレンメーター	新興通信工業DPU-100 PS-7513-50	54.9.5	〃
分光光度計	島津製作所UV-150-02	54.8.10	〃
STメーター (残留ひずみ測定器)	福井技研標準型	54.10.5	〃
水圧ポンプ	山本水圧工業製PH-60	54.7.14	県 単
ジェットエロージョン試験機	(株)山崎精機製JVE-12	55.8.10	中小企業庁補助物件
ピンホール探知器	(株)サンコウ電子製TRC-20A	55.7.17	〃
静電粉体塗装装置	小野田セメント(株)製 GX101、TYPE6132-1	55.7.25	中小企業庁補助物件
CS同時定量装置	米国LECO社製 LECO-CS-144型	55.8.9	日本自転車振興会補助物件
かじり摩耗試験機	(株)京都試作研究所製	55.10.31	〃
空気圧実習装置	太陽鉄工(株)製 当所仕様	56.7.30	中小企業庁補助物件

品名	規格	購入年月日	備考
ブリネル硬さ試験機	(株)島津製作所製 最大荷重 3,000kg	56.9.16	日本自転車振興会補助物件
万能試験機	(株)島津製作所製 オートグラフDCS-25T型	56.9.19	〃
電動ビッカース硬度計	(株)明石製作所製 AVK-A型	56.10.31	〃
高周波プラズマ分析装置	(株)島津製作所製 ICPV-1000型	57.12.10	〃
マイクロコンピュータシステム	シャープ(株)MZ-2000	58.1.14	〃
X線マイクロアナライザ	(株)島津製作所製EPM-8101	58.11.21	〃
小型超低温恒温器	タバイエスペック(株)製 MC-71型	58.11.22	〃
微小硬度計	(株)明石製作所製 MVK-Eシステム	58.11.25	〃
オシロスコープ	菊水電子工業(株)COS-5060	58.7.29	県 単
マイクロロボットムーブマスタ	三菱電機製RM-101	59.9.21	〃
顕微鏡試料作成装置一式	ビューラー社	59.12.26	中小企業庁補助物件
倒立型金属顕微鏡	ニコンEPIPHOT-TME	59.12.26	〃
冷熱衝撃試験機	タバイエスペックTSR-63型	59.12.17	〃
検力器負荷式 応力腐食試験機	東京衡機製ブルーリング型	60.12.10	〃
全自動分極測定装置	北斗電工製 HZ-1A	60.12.10	〃
浸漬乾湿 複合サイクル試験機	スガ試験機製 DW-uD-3	60.12.18	〃
パーソナルコンピュータ ネットワークシステム一式	-	61.3.31	県 単
ループ検力計	0.05LD、0.15LD	61.3.7	〃
電気マッフル炉	ヤマト科学 FM-36	60.7.16	〃
光学式変位測定器	リード電機製 PA-1800 PA-1810	61.1.11	〃
電子天秤	チョウバランス(株)JP-160	61.6.4	県 単
横形マシニングセンタ	HC400-40	62.1.10	中小企業庁補助物件
NC自動プログラミング装置	SYSTEM PMODELG	62.1.10	〃
写真複写機	(株)宮崎 MC-1P	62.7.14	県 単

品名	規格	購入年月日	備考
金属顕微鏡用照明装置	(株)モリテックス NRG-48-1000S	62.7.14	県 単
バルブ性能試験装置 本実流量変位測定器	日本科学工業(株) ジェック(株) DSA-605C型	62.12.11	日本自転車振興会 補助物件
リフト運搬車	杉国工業(株) SPR20-LL	62.12.5	〃
ロックウエル硬度計	明石製作所 AHT-AT	63.10.14	県 単
重金属廃水処理装置	同和鉱業(株) LIP-20AH I	63.8.11	〃
スポットエアコン	ダイキン工業 SUAS2MAU	63.7.1	〃
ゴム硬度計	(株)島津製作所製 200型	63.7.28	〃
X Y プロッター	(株)ファナック A3	63.9.14	〃
摩耗テスター	日本コントラクター(株)製 OP-300	元.7.31	日本自転車振興会 補助物件
振動騒音解析装置	(株)小野測器製 CF-360	元.8.30	〃
ビデオモニター	松下電器産業製 NV-DS1	元.5.16	県 単
パーソナルコンピュータ	日本電気(株)製 PC-9801-RX21	2.1.19	〃
バルブ流体解析CAEシステム ソフトウェア ハードウェア	米国Creare.x社製FLUENT/BFC 富士通(株)製S-4/1	2.12.25	中小企業庁補助物件
バルブ設計CAD/CAMシステム ソフトウェア ハードウェア	オートデスク(株)製AutoCADGX-III 日本電気(株)製PC-H98model70-002	2.11.30	〃
水中マイクロホン	B & K社製8103	2.10.5	県 単
溶存酸素計	電気化学計器(株)製DOL-40	2.8.20	〃
ドラフトチャンバー	(株)ダントル製DP-5	2.9.14	〃
純水製造装置	島津理化学器(株)製SWAC-500	2.6.15	〃
精密万能投影機	(株)ニコン製 V-12A	2.12.25	〃
ビデオカメラ	松下電器製 NV-M900	3.2.18	〃
電磁式膜厚計	サンコウ電子SL-120C	3.3.22	〃
強度解析システム	EMRC社製NISAI I	4.1.31	日本自転車振興会 補助物件

品名	規格	購入年月日	備考
C N C 旋盤	(株)オークマ製LB25C型	3.11.15	日本自転車振興会 補助物件
平面研削盤	(株)長瀬鉄工所製SGC-95型	3.11.20	〃
表面粗さ測定器	(株)小坂製作所製SE-30AK	3.10.4	〃
真円度円筒形状測定器	(株)小坂製作所製EC-3070B	3.10.4	〃
アナライジングレコーダ	横河電機(株)製AB3200型	3.11.29	〃
排ガス洗浄装置	セイコー化工機(株)製SYS-20SP	3.8.30	県 単
ショア硬度計	(株)今井精機製D-D型	4.1.31	〃
キャス試験機	スガ試験機(株)製 CASSER -ISO-3	4.3.24	〃

II 依 頼 業 務

1. 依頼試験数および手数料
2. 設備使用件数および使用料

1. 依頼試験数および手数料

手数料 3,724,000円

1) 材料試験	510試料	(977試験)
(内 訳)	抗 折	60試験
	引 張	327 "
	耐力・降伏点	73 "
	伸 び	195 "
	硬さ (H B)	253 "
	硬さ (その他)	24 "
	そ の 他	45 "
2) 分析試験	126試料 (1,012成分)	
(内 訳)	ね ず 鋳 鉄	17試料
	球状黒鉛鋳鉄	12 "
	青 銅 鋳 物	67 "
	そ の 他	30 "
3) その他の試験	158試料 (266試験)	
(内 訳)	組 織 試 験	257試験
	その他の試験	9 "
4) 副 本	145通	
(内 訳)	和 文	111通
	欧 文	34 "

2. 設備使用件数および使用料

使用料 624,950円

(内 訳)	オートグラフ (25T)	97回
	万能試験機 (100T)	133 "
	ブリネル硬度計	117 "
	高周波プラズマ	85 "
	CS同時定量装置	18 "
	電子天秤	59 "
	そ の 他	20 "
	計	4,348,950円

III 指 導 業 務

1. 技術アドバイザー指導事業
2. 一般巡回技術指導
3. 簡易巡回技術指導
4. 技術相談
5. 調 査
6. 技術普及講習会
7. 新技術技術者研修
8. 出版刊行物
9. 生産技術研究会

1. 技術アドバイザー指導事業

実施企業	指導内容	担当アドバイザー
湖北工業(株)	「タブ端子」製造粕のA&Lの再利用法について	中川 悟 孝
滋賀バルブ協同組合	水道用FCD仕切弁の強度計算法について	神 沢 一 吉
湖北工業(株)	リードタブのアルカリ洗浄技術の確立について	中川 悟 孝
エスピーバルブ工業(株)	ナイフゲート弁破損原因究明について	神 沢 一 吉
エスピーバルブ工業(株)	工場レイアウトの手法について	丸 尾 和 好
(株)清水鉄工所	低キャピテーションバルブの開発と評価について	柳井田 勝哉
(株)清水合金製作所	ABS樹脂の一般的知識と破損原因の究明と対策について	永 井 芳 治
(株)昭和バルブ製作所	低圧用Oリングみぞの設計について	中川 悟 孝
清水工業(株)	水道用バルブに使用するOリングの耐久性について	竹 下 常四郎
滋賀バルブ協同組合	水道用地下式消火栓に係る弁体強度計算について	神 沢 一 吉
協和工業(株)	バルブの寸法測定とデータ記録集計の自動化について	武 田 和 忠
広瀬バルブ工業(株)	高圧力を抜く時の管路内の孔食現象について	柳井田 勝哉
(株)滋賀カツラ	ゴムローラ製作工程における切屑、研屑工程の改良と省人、自動化対策について	竹 下 常四郎
(株)大鳥製作所	フレックス仕切弁のトルク、推力の計算方法について	神 沢 一 吉
協和工業(株)	工場内のネットワークについて	森 岡 忠 美
(株)滋賀カツラ	切屑、研屑工程の改良と省人、自動化対策について(延長)	竹 下 常四郎

2. 一般巡回技術指導

2-1. 印刷、工業用各種ゴムロールの製造に係る特殊加工(Wヘリカル、ダイヤカット溝加工)の内削化について

期 間 平成3年8月7日

指 導 員 (株)京都試作研究所 所 長 中川悟孝

指導企業 株式会社 滋賀カツラ

2-2. 配管内に組込まれる各種バルブの制御用センサーの選定および制御方法、制御回路の改良を行い、バルブの高付加価値化を図る。

期 間 平成4年2月18日・19日

指 導 員 福井大学工学部機械工学科 助 手 高橋善雄

指導企業 株式会社 昭和バルブ製作所

株式会社 清水合金製作所

2-3. 工場内外の騒音、振動等の環境測定を行い、測定結果にもとずき環境保全対策等の検討、改善を行う。

期 間 平成4年3月20日・21日

指 導 員 県技術アドバイザー 高崎秀平

指導企業 株式会社 角田鉄工

有限会社 飛田機工

指導班（5企業）

試験研究係長 松川 進
 指導係長 樋口 英司
 主 査 宮川 栄一
 主 査 西川 哲郎
 主任技師 酒井 一昭

3. 簡易巡回技術指導

指導対象 昭和63年～平成2年度設備貸与、近代化資金貸付企業

期 間 平成3年9月13日～9月30日

指 導 員 長津工業(株) 取締役部長 丸尾和好

三菱電機(株)関西支社 田中明仁

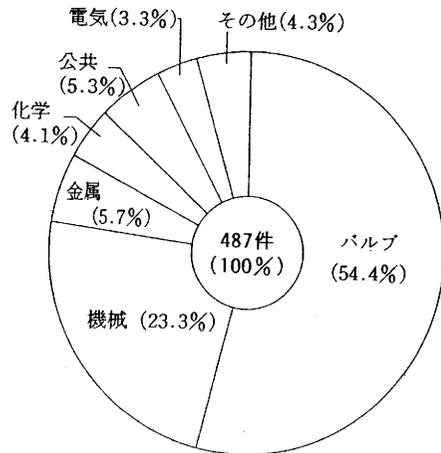
指導企業 15社（近江金属工業(株)ほか14社）

4. 技術相談・指導

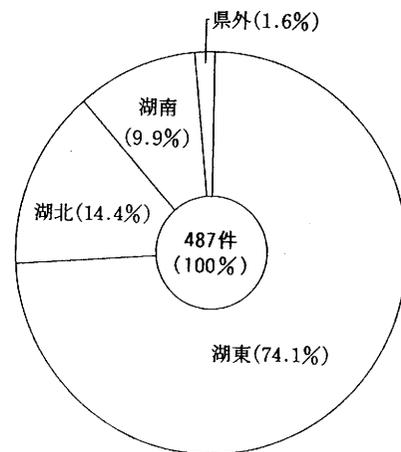
1. 専門分野別件数

項 目	件 数	比 率	項 目	件 数	比 率
金 属 材 料	33	6.8%	分 析 技 術	17	3.5%
熱 処 理 技 術	20	4.1%	防 食 技 術	21	4.3%
機 械 加 工	44	9.0%	設備貸与・設備近代化	32	6.6%
試 験 法	199	40.9%	実 地 指 導	3	0.6%
鑄 造 技 術	23	4.7%	そ の 他	64	13.1%
金 属 組 織	31	6.4%	計	487	100.0%

2. 業種別



3. 地域別



5. 調 査

(1) 彦根バルブ動向調査 23企業（4回/年）

(2) 制度融資等にかかる事前調査

○設備機械貸与調査 11企業

○設備近代化資金貸付診断調査 3企業

○技術改善費補助金等に係る調査 9企業

6. 技術普及講習会

年月日	内 容	講 師	場 所	参加人員
3.5.21	FMS, FAの現状と人手不足対策	フアット株式会社 常務取締役 照山 義	指導所 研修室	49名
3.10.23	平成2年度技術開発研究費補助事業 にかかる成果普及講習会	機械技術研究所 福井県工業技術センター 当所職員	〃	33名
3.12.11	樹脂バルブの規格制定の背景とその 対応 平成3年度研究成果発表会	日本水道協会 鈴木 康夫 当所職員	〃	30名
4.1.24	激動する経済と中小企業の生きる道 今、なぜ樹脂バルブか	日刊工業新聞社 杉本 好正 旭有機材工業(株) 上原 達男	〃	50名
4.3.10	キャビテーションのメカニズムとそ の活用	大阪府立工業高等専門学校 柳井田 勝哉	〃	26名

7. 新技術技術者研修

(1) コース名 NCプログラミング入門コース

(2) 研修期間および時間数

平成4年2月25日（火）、26日（水）、12時間

(3) 場 所 滋賀県立機械金属工業指導所

(4) 受講者および修了者

受講者 23名

修了者 22名

(5) 講 師 オークマ(株) 京滋NCセンター

吉本 五男

(6) 科目と時間配分

月日	時間	科 目	講 師	内 容
2.25 (火)	10:00 12:00	NCプログラムの基礎 知識	オークマ(株) 京滋NCセンター 吉本 五男	プログラムの考え方 加工工程、切削条件等 (講義)
	13:00 17:00	プログラムの説明(1)		プログラムの記号説明からプログラムの 作成まで(1) (講義)
2.26 (水)	10:00 12:00	プログラムの説明(2) 機械操作説明	同 上	プログラムの記号説明からプログラムの 作成まで(2) NC機械操作の説明 (講義、実習)
	13:00 17:00	実・操作実習 習・精密測定 対話型自動プログラミング実演		班別により各実習項目を行う。(実習)

8. 出版刊行物

平成2年度業務報告書

SHIGA機工指ニュース No.41 No.42

9. 生産技術研究会

- (1) 会 長 山崎 春美 (昭和バルブ製作所)
幹 事 加藤 光雄 (安治川鉄工建設)
清水 重信 (協和工業)
澤村 直幸 (澤村バルブ工業)
北川 松寿 (清水工業)
松井 繁徳 (大日本スクリーン製造)
松川 進 (機械金属工業指導所)
会計幹事 浜口 浩一 (宮部鉄工)
西田 善紀 (日の本弁工業)
事務局 西川 哲郎 (機械金属工業指導所)

(2) 事業概要

ア 技術講習会	4回
イ 工場見学	2回
ウ 幹事会 (総会を含む)	4回
エ 会報発行	2回

IV 研 究 業 務

1. CAEによる低キャピテーションバルブの開発研究(2)
2. バルブ製品の性能に関する研究
(キャピテーションの定量化に関する研究)
3. CAD/CAMシステムによるバルブ加工
の合理化・省力化研究
4. 自動制御弁の開発研究
(既存弁による駆動特性の把握と制御ソフトの基本設計)

CAEによる低キャビテーションバルブの開発研究(2)

試験研究係 主査 宮川 栄一

指導係 主査 西川 哲郎

1. はじめに

バタフライ弁が、低開度を中心とする中間開度で、流量および圧力調整に使用される場合、弁体下流で発生・成長・壊滅するキャビテーションが、住居地域での騒音苦情、下流配管系の壊食等を引き起こし、新製品開発上の技術的問題点となっている。水道関係ユーザーでは、全体の約10%にバタフライ弁が使用されているが、浄水場施設では30%以上と使用比率が高く、今後さらに軽量・コンパクト・低価格の優位性から使用比率が高まることが予想され、今まで以上にキャビテーションを抑えた高付加価値バルブが要求されてくる。

本研究は、特に騒音の発生源となり、また配管系にエロージョンなどの悪影響を及ぼす、オリフィス側下流に発生する亀裂状の「特異渦キャビテーション」のエネルギーの分散・低減を図る弁体形状を開発することを目的とし、平成2年度に本研究(1)で考案した、オリフィス噴流の形成を妨害する複数の整流ディスク付き弁体のキャビテーション低減効果を性能試験によって確認した。

併せて、CAEシステムを使用した流体解析と、性能試験によるキャビテーション発生状況の観察を基に、流体解析結果からキャビテーション発生領域を推定できる解析パラメータの検討を行った結果、渦強度が高く、しかも乱流運動エネルギーが異常に高まる領域と高い相関関係にあることが見い出せたので以下に報告する。

2. バルブ性能試験装置、流体解析システム、および実用新案申請

2.1 バルブ性能試験装置

試験に使用した設備は、JIS B 2005-1987「バルブの容量係数の試験方法¹⁾」に規定されている試験装置に準拠して製作したものをを用いた。主要部の概要を図1に示す。

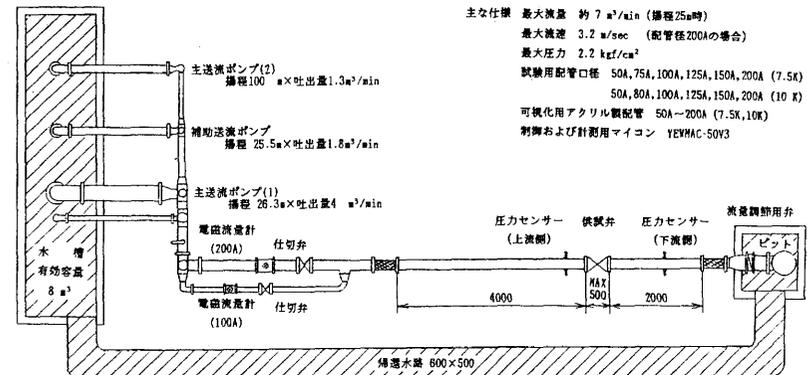


図1 バルブ性能試験装置

4. 結果および考察

4.1 改良弁体の性能試験

4.1.1 性能試験による確認

整流ディスク付き改良弁体の、キャピテーション性能が向上しているかを確認するため、改良前後の弁体について、性能試験装置により次の性能値を求め、比較検討した。なおこの弁体は、写真でも分かるように、開度30度(33%)において整流ディスクエッジが配管壁に最も接近するように設計・試作したため、以下に示す性能値は開度30%を境に性能値が変化している。

(1) 初生キャピテーション係数(σ_1)

図3に、改良前後の初生キャピテーション係数を示す。開度30%の σ_1 は、改良前2.67、改良後2.14、開度100%では、改良前11.8、改良後6.10という結果が得られた。開度30%以上で改良弁体では大きく σ_1 が低下し、しかも実用域での σ は更に小さくなるため、キャピテーション低減効果は極めて大きいことが分かった。

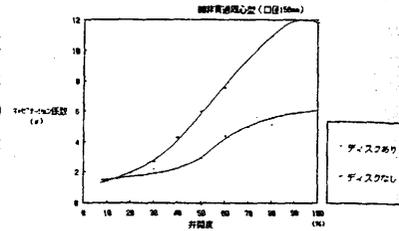


図3 初生キャピテーション係数

参考までに、JIS B 2064の水道用バタフライ弁の解説によると、次の値が示されている。

$2.5 < \sigma$: キャピテーションは発生しない

$1.5 < \sigma < 2.5$: 軽度のキャピテーションが発生する

$0.5 < \sigma < 1.5$: 振動が発生する

$\sigma < 0.5$: 使用を続けるとバルブおよび下流の配管が損傷する。

キャピテーションの検討として、各弁の許容キャピテーション係数 σ_c に対して、設計キャピテーション係数が上回ることが必要であり、改良弁体では開度30%以下の低開度で初生 σ_1 自体が2.14以下となっている。

(2) Cv値

図4に、改良前後のCv値を示す。開度30%までは、改良前とはほぼ同じ値を示すが、開度30%~100%の間では、4枚の整流ディスクの抵抗による影響が差圧 ΔP に表れてくるため、改良前に比べCv値は大きく下がっている。全開でのCv値は、改良前1466、改良後588である。

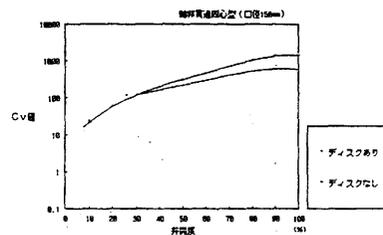


図4 バタフライ弁のCv値

(3) Cv値比(Cv/Cv_{MAX})

図5に、改良前後のCv値比を示す。改良前と同様、イコールパーセント特性を示しているが、改良後はリニア直線に接近し、しかも同直線とのクロス点が低開度側にシフトして、高開度で飽和状態になっていることを示している。

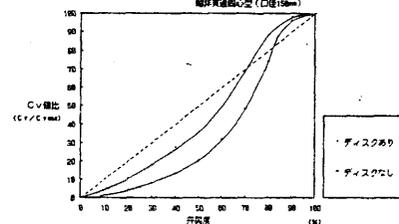


図5 バタフライ弁のCv値比

(4) 損失係数(ζ)

図6に、改良前後の損失係数を示す。開度30%以上では、整流ディスクの抵抗が非常に大きいため、改良後の ζ は大きくなっている。全開での ζ 値は、改良前0.602、改良後3.33である。

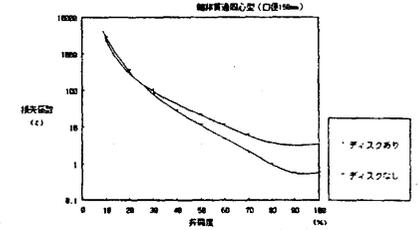


図6 バタフライ弁の損失係数

(5) 弁開度ごとのRe数と σ との関係

図7、8に、改良前後の各開度ごとのRe数と σ との関係を示す。開度30%以下では、同じRe数で σ が大きくなり(差圧が小さい)、30%以上では小さくなる(差圧が大きい)傾向がみられた。

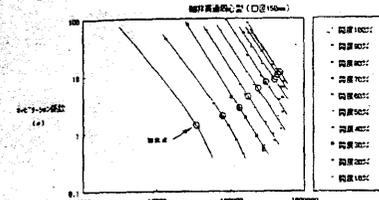


図7 Re数とキャピテーション係数の関係

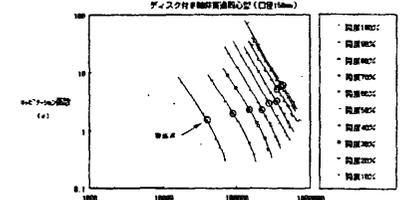


図8 Re数とキャピテーション係数の関係

(6) 流量と差圧の関係(流量特性)

図9、10に、改良前後の流量と差圧の関係を示す。開度30%以上で、改良後は同じ流量で差圧が非常に大きく、中間開度で整流ディスクの抵抗が非常に大きいことを示している。

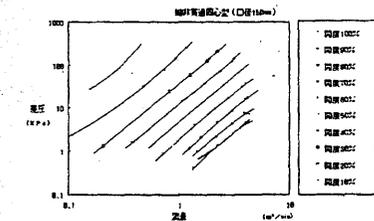


図9 バタフライ弁の流量と差圧の関係

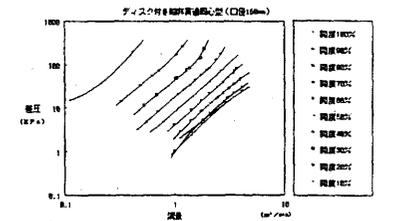


図10 バタフライ弁の流量と差圧の関係

4.1.2 可視化水槽でのキャピテーション発生状況の観察と写真撮影

可視化水槽を使用し、キャピテーションの発生状況を、開度やRe数を変化させて観察し、同時に写真撮影を行った。写真4に、開度30度の時で σ を0.25ずつ変えた時の状態と、開度45度の時での状態を示す。また、写真5に、開度を30度から90度まで変化させた時の状態を示す。

しかし、写真撮影では、真上からストロボ光をあてたため、整流ディスクに遮られて、弁体や整流ディスクの裏側までストロボ光が届かず、光量不足で鮮明な写真が撮れなかった。このため、今後、弁体の裏側までストロボ光があたるように、開度ごとに2方向の角度からストロボを照射する必要があると考えられる。また、流れ模様を詳細に観察するために、整流ディスクの穴に短い紐を取れないよう多数取り付ければ、一層流れ状態が明らかになると考えられる。

写真4からは、開度30度で σ が0.5の時では、キャピテーション気泡は、弁体オリフィス側・ノズル側両エッジからの発生が激しく、しかもキャピテーションは弁体から下流側のみで発生し、上流側の整流ディスク間では全く発生していなかった。

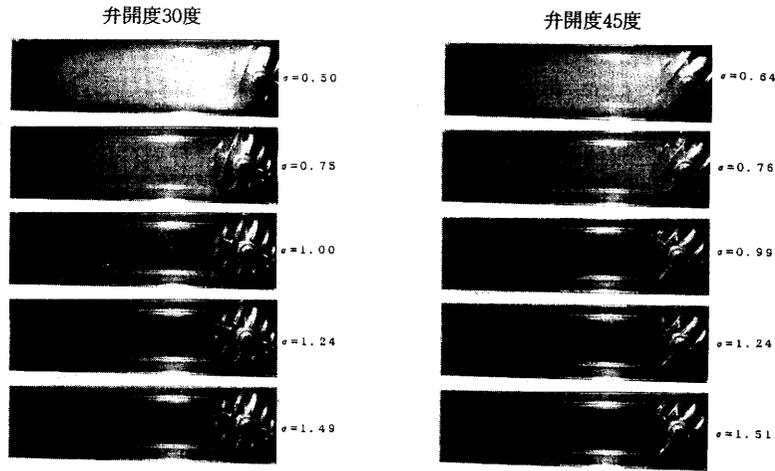


写真4 キャビテーションの発生状況(改良弁体)

オリフィス側下流では、整流ディスクによって、弁体エッジで発生したキャビテーション気泡は下流の整流ディスク(大)の上流面に沿って中央側へと流れ込むと同時に、整流ディスクから下流側では、多数の整流ディスクの穴の効果によって、キャビテーション気泡が微細に粉碎されて白濁したようになり(霧状のキャビテーション)、騒音や壊食の主原因となる配管壁面近く急速に成長する亀裂状の特異渦キャビテーションの発生は全く起こらなかった。

ノズル側下流では、弁体エッジから下流側に向かって亀裂状のキャビテーションが発生していることが分かった。

写真5からは、開度50度以下において、オリフィス側でのキャビテーション発生状態は余り変わらなかったが、ノズル側では、開度が大きくなるに従って、亀裂状キャビテーション気泡が下流側に移動していることが分かった。

また、開度が大きくなってくると、ポンプ能力の関係から低開度と同じ条件が取れないので、開度70度以上では、はっきりとしたキャビテーション気泡の撮影が困難であった。

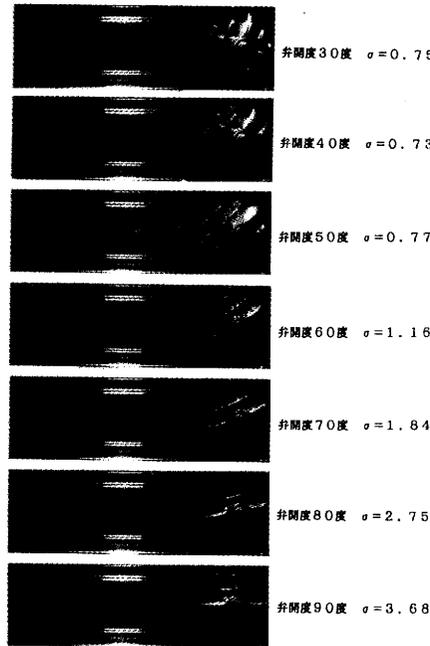


写真5 キャビテーションの発生状況(改良弁体)

4. 2 流体解析

本研究では次の3つを目的として、流体解析を行った。

1. 解析技術の向上(解析精度と効率化)。
2. 改良前後の解析結果の比較。
3. キャビテーション発生領域の推定方法と予測の検討。

4. 2. 1 改良前弁体の流体解析

4. 2. 1. 1 弁体のモデリング

口径0.15 m、開度30度の軸非貫通同心型弁体を1枚の円盤にモデル化し、解析モデルとして定義した。モデリング構成要素は、次に示すとおりである。(モデル名: BV91A)

要素名	要素数	要素構成データ数
Point	135	3座標×135点 = 405 (座標数)
Curve	165	2点×165線 = 330 (点数)
Surface	121	4線×121面 = 484 (線数)
計	421	1219

4. 2. 1. 2 有限差分グリッドの生成

グリッドの形が解析結果に大きく影響を及ぼすため、次の3つの基本留意点に注意するとともに、現実合った精度よい解析結果を得るため、流れに沿ったマッピングを心掛け、特に配管と弁体間の微小隙間の形が歪まないように、グリッドを最適化して生成した。

- (1) Near Orthgonality(直角に近い) ($\theta \approx 90^\circ$)
- (2) Aspect Ratio(縦横比) ≈ 1 (3倍以内)
- (3) Expansion Ratio(広がり比) ≤ 1.8 (3倍以内)

生成した総グリッドノード数は、 $51 \times 11 \times 23 = 12,903$ で図11に示す。

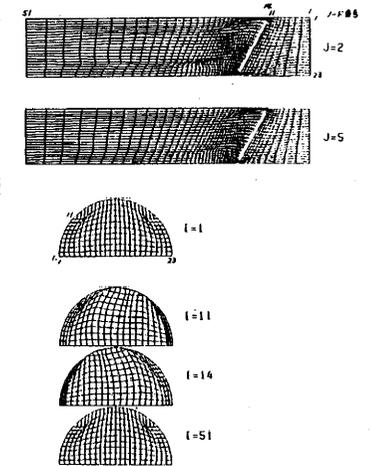


図11 Finite-Difference Grid

4. 2. 1. 3 物理定数

流体は、300 °Kの水として設定した。

- | | | |
|------------------------|----------------------|-------------------|
| 1. CONDUCTIVITY (熱伝導率) | 0.5988 | W/m·°K |
| 2. DENSITY (密度) | 998.2 | kg/m ³ |
| 3. VISCOSITY (粘度) | 1.005E ⁻³ | Pa·S |
| 4. SPECIFIC HEAT (比熱) | 4182 | J/kg·°K |

4. 2. 1. 4 境界条件

流速は、弁体上流0.15mの入り口で2m/sec、配管壁は0m/sec(non slip)と設定した。

4. 2. 1. 5 解析条件と解析

(1) 初期解析

1. ENERGY-EQUATION (エネルギー方程式)
1.0E⁻⁵ OVERALL CONVERGENCE TOLERANCE (全収束許容差)
2. VISCOSITY-EQUATION (粘度方程式)
0 RELAXATION PARAMETER (減衰パラメータ)
3. CONDUCTIVITY-EQUATION (熱伝導度方程式)
0 RELAXATION PARAMETER
4. MASS-CONSERVATION-EQUATION (質量保存方程式)
1.0E⁻³ OVERALL CONVERGENCE TOLERANCE
5. ITERATION NUMBER (計算回数)
20 回

(2) 収束解析

2. 粘度方程式
0.5 RELAXATION PARAMETER
3. 熱伝導度方程式
0.5 RELAXATION PARAMETER
5. 計算回数
N (エネルギー方程式、質量保存方程式が収束するまで)

4. 2. 1. 6 解析結果

(1) RESIDUAL VALUE(残差)収束曲線

図12に解析パラメータの収束曲線を示す。

収束に最も重要なパラメータであるMASS-CONSERVATION-EQUATIONでは、図に示すようにITERATION=500まで急速にRESIDUAL VALUEが下がり、それ以降最終収束値1.0E⁻³に収束するまでは、単純(指数的)に減少することが分かった。この図

から、ある程度繰り返し計算して、RESIDUAL VALUEの解析途中の値が求めれば、それをグラフ表示することによって、目的とするRESIDUAL VALUEと最終収束時間が予測できる。今回の最終繰り返し計算数は、7252回であった。(1回のITERATIONは5分、解析時間は25.2日)

最終収束時の他のパラメータのRESIDUAL VALUEは、次のとおりである。

U-VELOCITY V-VELOCITY W-VELOCITY PRESSURE
1.7E⁻⁴ 5.1E⁻⁵ 2.2E⁻⁴ 1.4E⁻⁶

また、図13にその時の各解析パラメータの収束状況を示すと、ITERATION=2000までは、

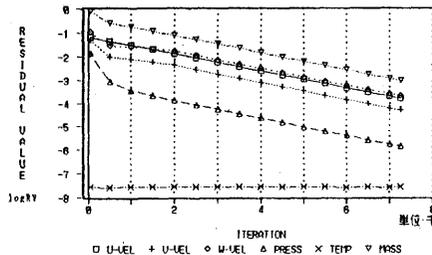


図12 BV91A-CONVERGENCE

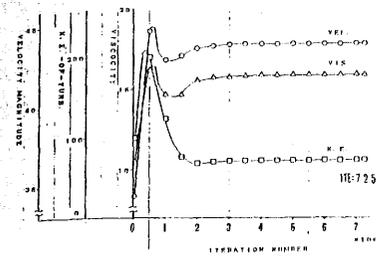


図13 BV91A CONVERGENCE CURVE

いずれのパラメータも大きく変動するよう値が上下に変動しているが、それ以降の計算では、ある一定の値に収束していくことがよく分かる。速度の大きさについて、収束過程をRASTER-PLOT表示したものを図14に示すとこのことがよく分かる。

従って、いろんな条件で多くの解析をしたい場合には、特に解析効率(時間)が問題となり、ITERATION=2000前後(モデルやグリッド数によってあらかじめ求めておく)まで解析を繰り返せば、ほぼ最終的な結果が得られることが分かる。

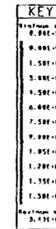


図14 Raster Plot of VELOCITY-MAGNITUDE

(2) 解析結果について

解析の結果、解析パラメータの最大値および最小値は次のとおりである。

	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE
1. VELOCITY MAGNITUDE (速度の大きさ)	0	43.76228
2. U-VELOCITY (U方向速度)	-8.833864	27.33977
3. V-VELOCITY (V方向速度)	-19.28385	17.77798
4. W-VELOCITY (W方向速度)	-41.00817	12.01349
5. K.E.OF TURBULENT (乱流運動エネルギー)	0	71.78002
6. PRESSURE (圧力)	-691147.9	4733.851
7. VORTICITY MAGNITUDE (渦強度)	0	57742.00
8. VISCOSITY (渦粘度)	0.001005	15.87529
9. CONDUCTIVITY (熱伝導度)	0.5988	94838.11

(2)-1 速度ベクトル

[J軸スライス](図15 VELOCITY-VECTORS)

上流からの流体は、どのスライス面でも弁体近くでオリフィス側寄りで分岐し、弁体通過後はJ=2の配管中央付近で、オリフィス側・ノズル側ともに噴流コアを形成するように、配管壁に沿っ

て激しく下流側へ噴き出し、特にオリフィス側では中心部分へと噴き出している。また、オリフィス側弁体エッジのすぐ裏側では、小さな渦を形成している。

しかし、 $J=4$ から $J=10$ へと配管壁に近づくと、弁体のすぐ下流で大きな渦が形成されるようになり、次第に逆流が主流となり、 $J=10$ の配管壁付近では激しく逆流して、オリフィス側弁体エッジ部に流れ込んでいる。また、弁体1.5D下流付近の中央は、速度の大きさが小さい、いわゆる停滞領域ができています。

[I軸スライス](図16 VELOCITY-VECTORS)

弁体上流($I=10$)のオリフィス側よりで、流体が配管との隙間に向かって分岐していることがはっきりと分かり、弁体通過中($I=11\sim 14$)では、オリフィス側は外側中心に向かって激しく流れている。弁体通過後($I=16$ 以降)は、中心がオリフィス側からノズル側に向かった2つの大きな渦が形成され、渦の中心がだんだんとオリフィス側に移動しながら、次第に消滅している。

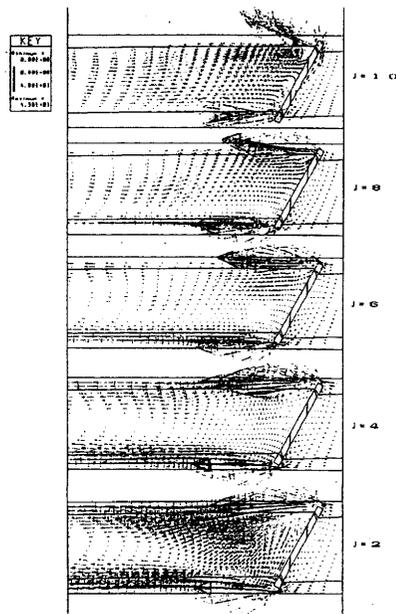


図15 U, W Velocity Vectors

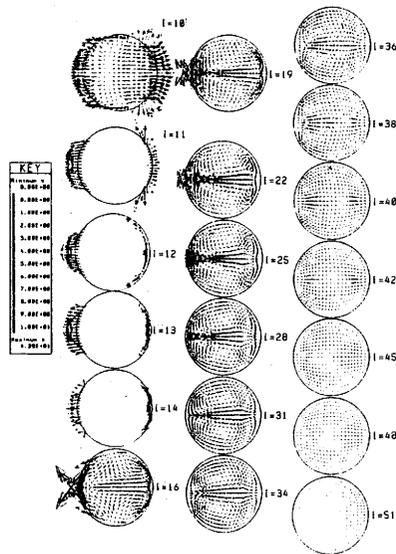


図16 Velocity Vectors

[K軸スライス](図17 VELOCITY-VECTORS)

オリフィス側($K=2$)では、集中して配管中央側に激しく流れ込む様子が如実にでており、まさに噴流を形成していることを示している。この激しい流れの影響で、配管壁付近では逆流しながらこの流れに巻き込まれるように渦まいている。

ノズル側($K=21$)では、オリフィス側のような集中した流れは見られないものの、激しく下流側へ向きをほとんど変えずに流れている。

(2)-2 速度の大きさのプロファイル(図18 PROFILES OF VELOCITY-MAGNITUDE)

オリフィス側・ノズル側で速度成分が大きいことを示し、中央部分は小さく、流れが停滞していることを示す。

(2)-3 速度の大きさ(図19 RASTER PLOT OF VELOCITY-MAGNITUDE)

[J軸スライス]

$J=2$ から $J=4$ の中央部分では、オリフィス側・ノズル側とも配管と弁体の隙間から、激しく噴き出している領域で大きな値を示す一方、 $J=4$ から $J=7$ の中間部では、弁体のすぐ裏側で速度は

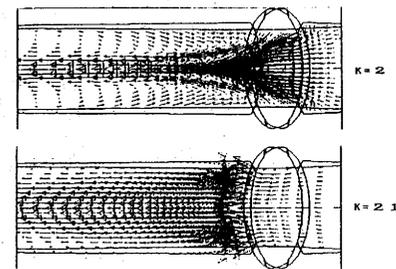


図17 U, V Velocity Vectors

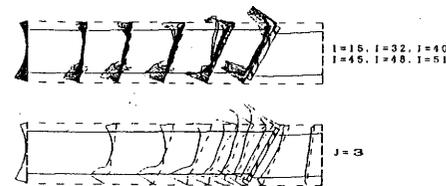


図18 Profiles of VELOCITY-MAGNITUDE

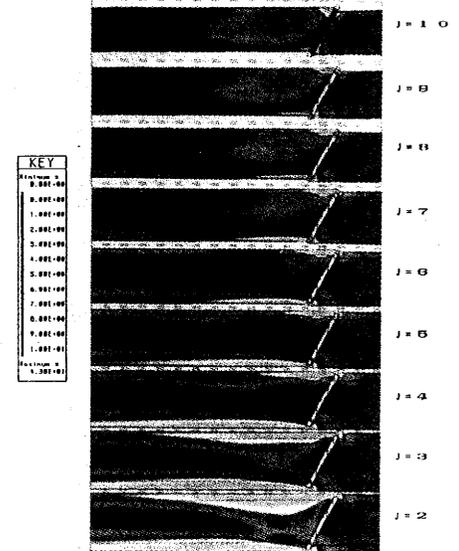


図19 Raster Plot of VELOCITY-MAGNITUDE

小さくなっている。また、 $J=8$ から $J=10$ と配管壁に近づくと逆流が増してくるため、再び速度分布が大きくなっている。

(2)-4 渦強度

[J軸スライス](図20 RASTER PLOT OF VORTICITY MAGNITUDE)

いずれのスライス面においても、流れが下流に激しく噴出するオリフィス側・ノズル側両弁体エッジから下流にかけて、渦強度が大きく高まっている。特に配管中央部分($J=2$ から $J=4$)で高く、下流中央付近では、逆に渦強度が小さい領域となっている。

[I軸スライス](図21 RASTER PLOT OF VORTICITY MAGNITUDE)

弁体通過後($I=16$ 以降)のオリフィス側・ノズル側の配管壁に沿った領域で、帯状に渦強度が高く、中央部分は小さくなっている。

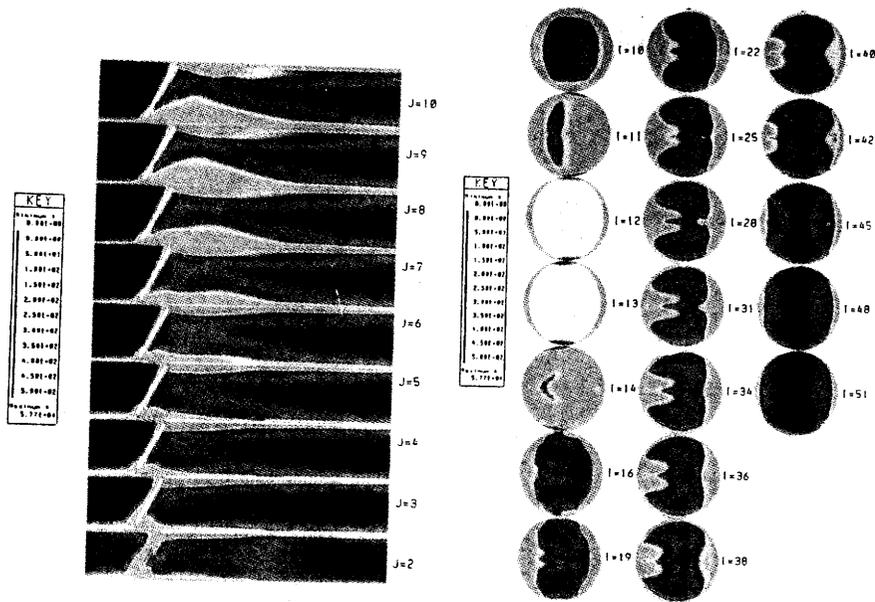


図20 Raster Plot of VORTICITY-MAGNITUDE 図21 Raster Plot of VORTICITY-MAGNITUDE

(2)-5 乱流運動エネルギー

[J軸スライス](図22 RASTER PLOT OF K.E.-OF-TURBULENT)

$J=2$ から $J=4$ の配管中央付近では、オリフィス側・ノズル側の両弁体エッジからその下流領域と、オリフィス側下流の $1 \sim 1.5 D$ の配管壁付近を中心とする3つの領域で異常に高まっている。 $J=5$ から $J=10$ へと配管壁に近づくとつれそのエネルギーも弱まり、弁体エッジ部分を除き小さくなっている。

[I軸スライス](図23 RASTER PLOT OF K.E.-OF-TURBULENT)

弁体通過後から、オリフィス側・ノズル側の流れが激しく噴き出している、配管に沿った細長い領域で異常に高まっている様子がよく出ており、 $I=38$ 付近で、高まる領域がオリフィス側壁面で集中していることが分かり、配管中央部分は高まらないことが分かる。

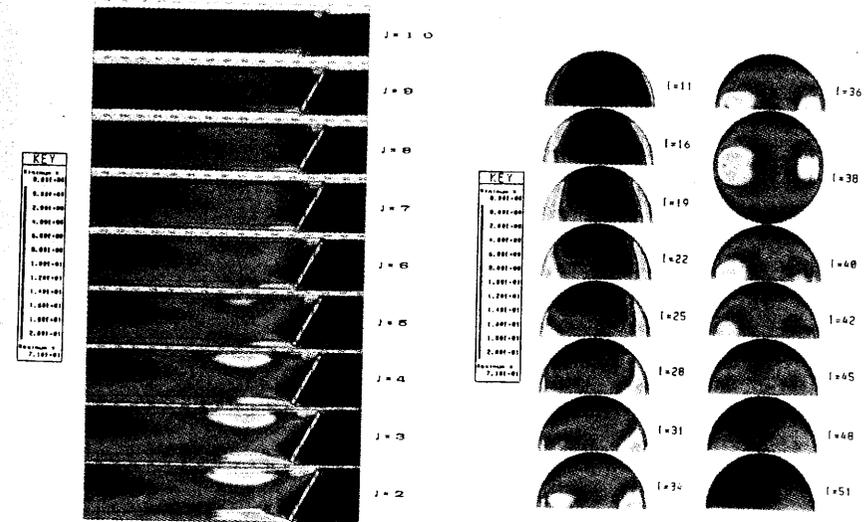


図22 Raster Plot of K. E. -OF-TURB. 図23 Raster Plot of K. E. -OF-TURB.

(2)-6 圧力(図24 RASTER PLOT OF PRESSURES)

オリフィス側の弁体エッジのすぐ裏側の領域と、弁体から0~1.5D下流の中央部分に、大きな領域で圧力が低下する部分が出ており、その領域から下流では、徐々に圧力が回復している様子が分かる。

また、オリフィス側弁体エッジの下流の配管壁近くで、圧力が少し高まる領域が見られる。

(2)-7 渦粘度(図25 RASTER PLOT OF VISCOSITY)

渦粘度(および熱伝導度)については、昨年の解析結果では、キャビテーションの発生領域とかなり相関関係が高いという結果が得られているが、最終的な収束結果では、弁体下流2D付近を中心とした、中央部分のかなり広い領域で高まるという結果が得られている。

特に、U方向流れが小さいか、逆方向になっている領域(停滞領域に近い)で、渦粘度が極端に高くなる傾向がみられる。

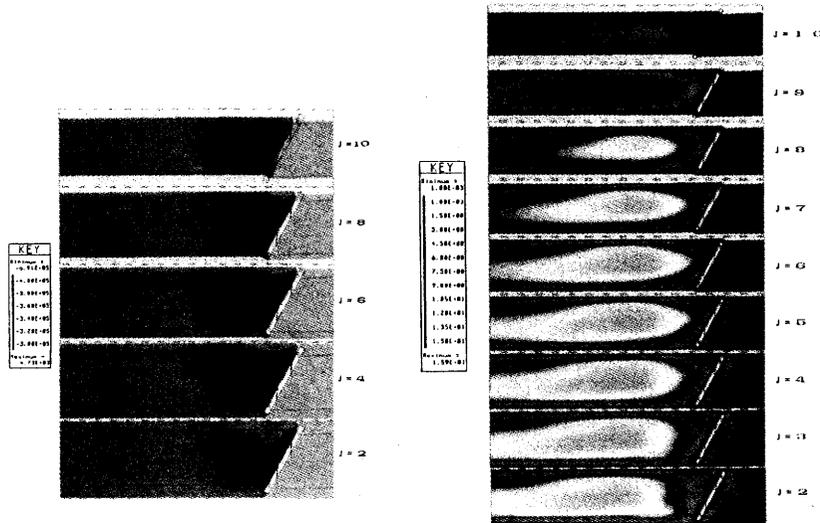


図24 Raster Plot of Pressures

図25 Raster Plot of VISCOSITY

4. 3. 2 改良弁体の流体解析

4. 3. 2. 1 弁体のモデリング

昨年度、本研究で考案・試作した整流ディスク付き改良弁体(写真1)の形状をそのまま忠実にモデリングすることは、入力データが膨大となり、しかも定義作業が複雑で作業が困難を極める。従って、キャビテーションに最も影響を与えるオリフィス噴流を軽減・消滅させるという整流穴の効果を見るのに最小限の形に改良弁体を単純化した。口径0.15m、開度は改良前弁体と同じ30度であるが、整流ディスク大の穴は6個、整流ディスク小の穴は4個に減らしてモデリングした。

しかしそれでも、モデリングにあたって、整流ディスクをINTERIOR REGION(流体が通過しない流体内部の領域)としての定義が必要で、かなり複雑なモデルとならざるをえない。そのため、線や面の定義、およびINTERIOR REGIONの境界マッピング中にソフト上のエラーが頻繁に発生し、プリソフトを開発メーカーで改造してもらうことで対応した。エラーの主な原因は、アプリケーションインストール時の使用可能メモリ領域が小さすぎたこと、今回のようなビッグモデルを定義する領域設定が小さすぎたこと、および定義配列やHASH TABLEが小さかったことであった。

整流ディスク付き弁体のモデリング構成要素は、次の表のとおりであり、全て形状を定義するのに約33万回のキー入力(約3か月)を必要とした。(モデル名: BV91Z)

要素名	要素数	要素構成データ数
Point	1660	3座標×1660点 = 4980 (座標数)
Curve	4437	2点×4437線 = 8874 (点数)
Surface	4050	4線×4050面 = 16200 (線数)
計	10147	30054

4. 3. 2. 2 有限差分グリッドの生成

改良前弁体と同じく精度良い解析結果を得るため、特に配管と弁体との微小隙間や整流ディスク部分の微小隙間を、歪みがなく、しかも極力広くとするようにグリッドを最適化した。整流ディスクの穴の部分は、基本的に $({}^0)3 \times ({}^0)3 \times ({}^0)3$ (整流ディスク大の2穴のみ $({}^0)3 \times ({}^0)3 \times ({}^0)2$)とした。総グリッドノード数は、 $({}^0)66 \times ({}^0)21 \times ({}^0)41 = 56, 826$ である。作成した有限差分グリッドを図26、27、28に示す。



図26 Finite-Difference Grid

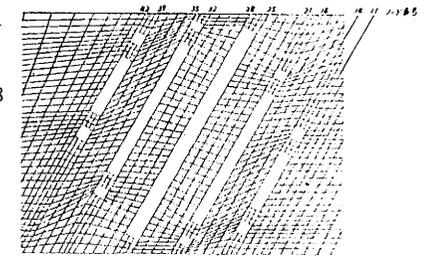


図27 Finite-Difference Grid(弁体部分)

4. 3. 2. 3 物理定数

改良前弁体(整流ディスクなし弁体)と同一値を使用した。

4. 3. 2. 4 境界条件

改良前弁体(整流ディスクなし弁体)と同一条件を使用した。

4. 3. 2. 5 解析条件

改良前弁体(整流ディスクなし弁体)と同一条件を使用した。

4. 3. 2. 6 解析結果について

解析の結果、解析パラメータの最大値および最小値は次のとおりである。

	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE
1. VELOCITY MAGNITUDE	0	93.86411
2. U-VELOCITY	-28.68086	77.55695
3. V-VELOCITY	-20.64536	38.01174
4. W-VELOCITY	-58.68756	77.31783
5. K.E. OF TURBULENT	0	365.0745
6. PRESSURE	-1013722	1145330
7. VORTICITY MAGNITUDE	0	938021.7
8. VISCOSITY	0.001005	11.93697
9. CONDUCTIVITY	0.5988	71189.97

(1) RESIDUAL VALUE(残差)収束曲線

MASS-CONSERVATION-EQUATIONでは、図29に示すようにITERATION=200まではRESIDUAL VALUEの収束が大きくばらつくが、それ以降はほぼ安定して減少している。しかし、総グリッド数が非常に多いことから、1回のITERATIONに約40分かかるため収束は遅く、ITERATION=1750でのRESIDUAL VALUEは $2.0E^{-1}$ である。ところが、速度ベクトルの主成分であるU速度のRESIDUAL VALUEは $2.5E^{-2}$ と収束が進んでおり、最終的な結果に近いことが分

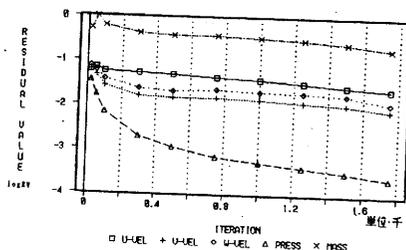


図29 BV91Z-CONVERGENCE

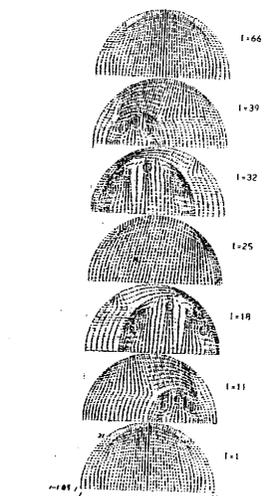


図28 Finite-Difference Grid

かる。このため、これ以上のITERATIONは中止し、最終結果として出力した。(解析時間は48.6日)

最終収束時の他のパラメータのRESIDUAL VALUEは次のとおりである。

U-VELOCITY	V-VELOCITY	W-VELOCITY	PRESSURE
$2.5E^{-2}$	$8.2E^{-3}$	$1.2E^{-3}$	$2.4E^{-4}$

また、図30に解析時のCPU-STATUS(PERFORMANCE METER)を示しているが、ほとんどフルにマシンが稼働していることが分かり、非常に大きなモデルを解析する場合、解析時間が解析マシンの能力に大きく依存(制約)していることを示している。

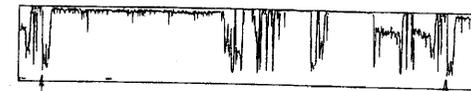


図30 解析中のCPU-STATUS

(2) 解析結果

(2)-1 速度ベクトル(図31 VELOCITY VECTORS)

[J軸スライス]

改良前弁体と流れの様子が大きく異なり、J=2の配管中央部分では、ノズル側のみ激しく下流側へ噴き出している。この噴き出した流れは、巻き込むように下流の大小整流ディスク間に流れ込み逆流域を形成している。J=8からJ=10のオリフィス側では渦が形成され、その渦はJ=12からJ=16と配管に近づくにつれ、ノズル側への流れ込みとなっている。J=18からJ=20の配管壁付近では、弁体のオリフィス側から極めて激しい噴き出しがみられる。

また、J=8からJ=18の弁体から2D下流付近で停滞領域ができています。

[I軸スライス](図32 VELOCITY VECTORS)

I=23の弁体のすぐ上流では、改良前弁体と同様オリフィス側で流れが分岐しており、ノズル側への流れが多い。I=30の弁体のすぐ下流の整流ディスク(大)間では、弁体中心部分でオリフィス側からノズル側へと流れている他、

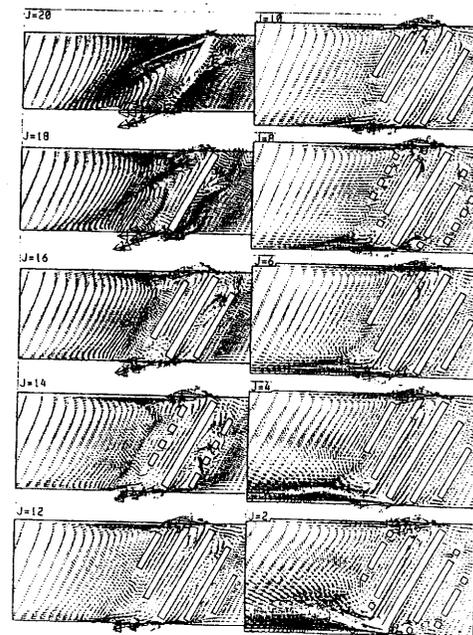


図31 Velocity Vectors

複雑に渦巻いている。I=37の大小整流ディスク間では、J軸スライスと同様、ノズル側から整流ディスク間への流れ込みがはっきりあらわれ、オリフィス側へと逆流している。大小整流ディスク通過後は、2つの大きな渦流となり、渦の中心が改良前弁体のようなオリフィス側への移動は見られず、次第に消滅している。

[K軸スライス](図33 VELOCITY VECTORS)

改良前弁体のオリフィス側・ノズル側流れとは全く逆の流れ模様を示している。すなわち、K=2のオリフィス側では、方向を余り変えず下流へ噴出しており、ノズル側では、逆に改良前のオリフィス側の流れのように、配管中央に向かって集中している。

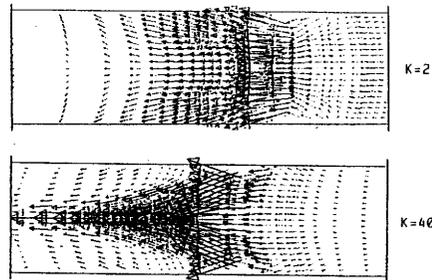


図33 U, V Velocity Vectors

(2)-2 速度の大きさ(図34 RASTER PLOT OF VELOCITY)

[J軸スライス]

速度ベクトルでも見られたように、J=2の弁体ノズル側エッジからの激しい噴き出し部分で、大きな速度の値を示し、またJ=20のオリフィス側からの鋭い流れが見られる部分で、大きくなっている。また、J=8からJ=20の弁体から2D下流付近の領域では、流体がほとんど流れない停滞領域がはっきりと出ている。

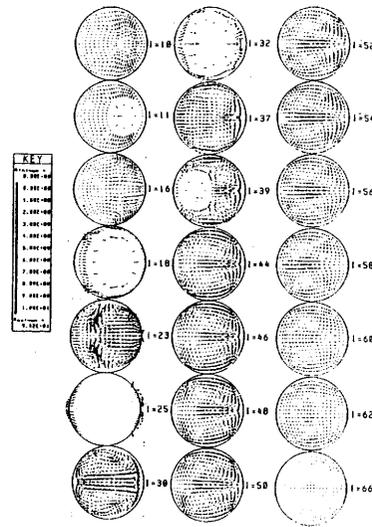


図32 Velocity Vectors

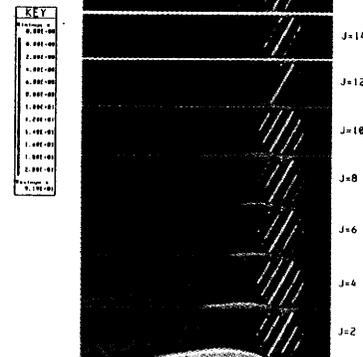


図34 Raster Plot of VELOCITY-MAGNITUDE

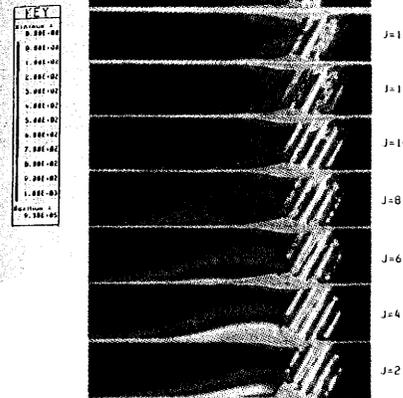


図35 Raster Plot of VORTICITY-MAGNITUDE

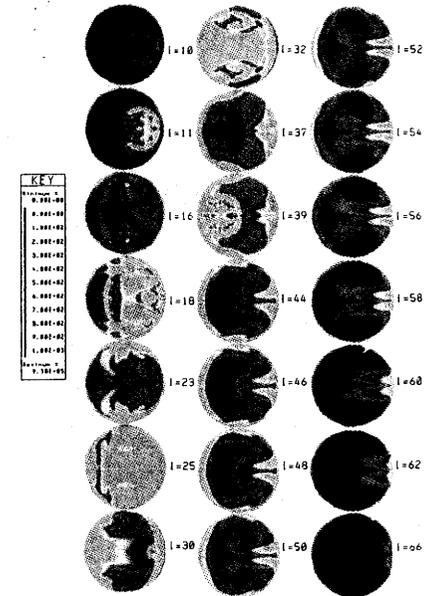


図36 Raster Plot of VORTICITY-MAGNITUDE

(2)-3 渦強度

[J軸スライス](図35 RASTER PLOT OF VORTICITY MAGNITUDE)

改良前弁体の結果とほぼ同じく、流れが激しく噴出している領域で渦強度が高まっているが、整流ディスク内部および穴の部分でも渦強度が高まっている。また、J=18からJ=20の配管壁近くでは、かなりの領域にわたって高くなっており、流れの噴き出しと速度の大きさに依存した結果となっている。

[I軸スライス](図36 RASTER PLOT OF VORTICITY MAGNITUDE)

弁体通過後(I=30以降)のオリフィス側・ノズル側の隙間部分、および弁体・各整流ディスク表面(I=11,18,25,32,39)で高まっている様子が見え、下流に行くに従ってオリフィス側の高まる領域は消滅するが、ノズル側で高まる領域が残っている。

(2)-4 乱流運動エネルギー

[J軸スライス](図37 RASTER PLOT OF K.E.-OF-TURBULENT)

J=2からJ=4の配管中央部分では、改良前とは全く正反対にノズル側弁体エッジから下流に激しく流れが噴き出す領域と、弁体のオリフィス側のすぐ下流の整流ディスク(大)の間で異常に高まる領域がある。

また、J=18からJ=20の配管壁付近でも、弁体のオリフィス側下流と弁体上流部が高まっている。

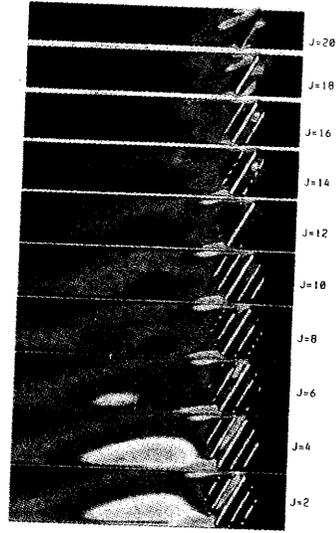


図37 Raster Plot of K. E. -OF- TURB.

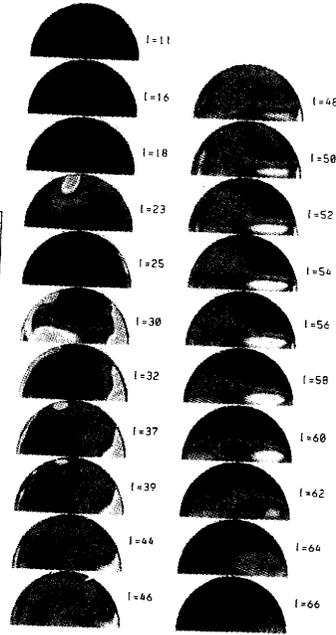
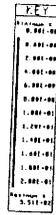


図38 Raster Plot of K. E. -OF- TURB.

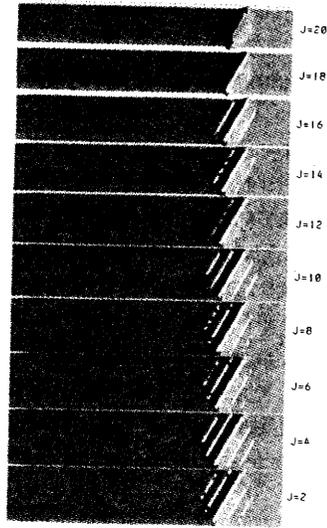
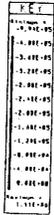


図39 Raster Plot of PRESSURE

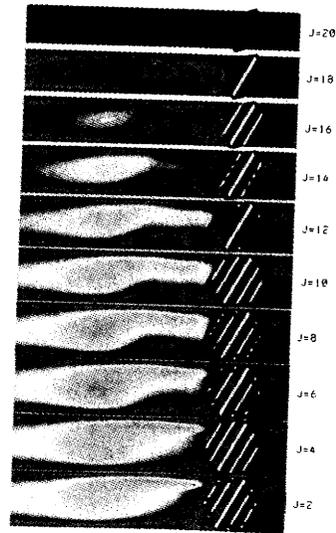
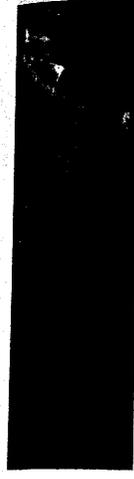
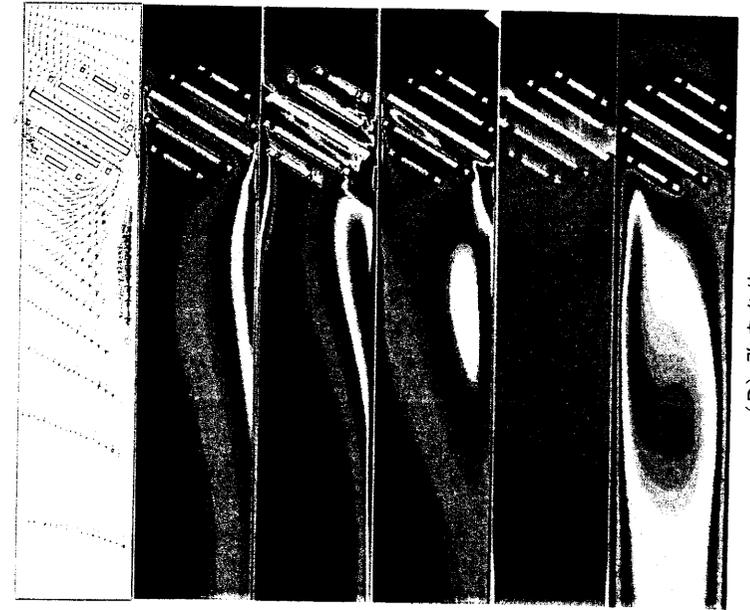


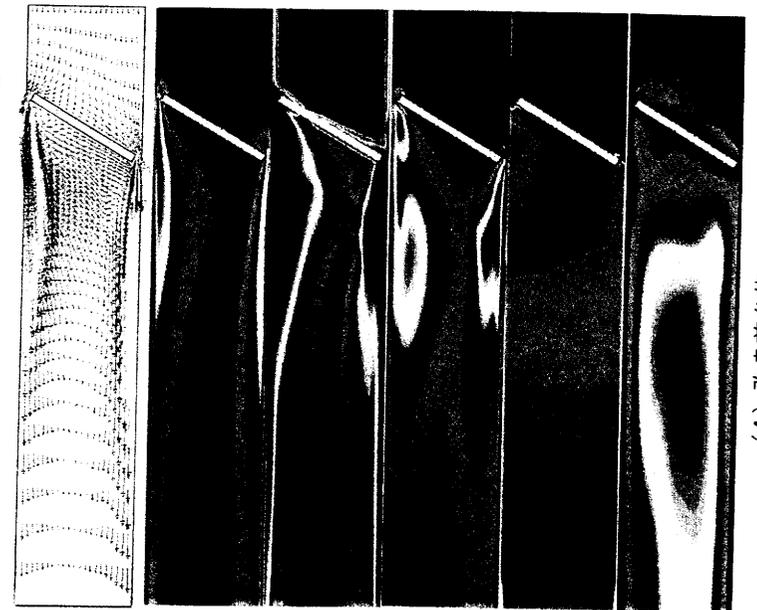
図40 Raster Plot of VISCOSITY



キャビテーション発生写真



(B) 改良弁体 J = 3



(A) 改良前弁体 J = 2

図41 キャビテーションと解析パラメータ

[I軸スライス](図38 RASTER PLOT OF K.E. -OF- TURBULENT)

I=23の弁体のすぐ上流の特定部分で、集中的に高まる領域が見られる。また、弁体下流では、I=30の弁体と整流ディスク(大)間と、オリフィス側・ノズル側下流の3つの領域で高まっている。しかし、整流ディスク(大)より下流の部分では、専らノズル側の配管中央部分で高まっている。

(2)-5 圧力(図39 RASTER PLOT OF PRESSURE)

いずれのスライス部分においても同じ傾向が見られ、弁体上流の整流ディスク(大)を通過してから圧力が徐々に下がり始め、弁体を通過後、極端に圧力低下している。特に弁体のオリフィス側エッジのすぐ裏側に最低と思われる部分が見られ、整流ディスク内領域でしばらく低圧部が続いたあと、その下流では徐々に回復している様子が出ている。

(2)-6 渦粘度(図40 RASTER PLOT OF VISCOSITY)

渦粘度(および熱伝導度)については、弁体から2D下流付近中央の速度が小さい、かなり広い領域で高くなっている。整流ディスクを含めた弁体部では、高くなる領域はほとんど見られない。

4. 3. 3 キャビテーション発生領域との相関関係

(1) 改良前弁体

図41-(A)に改良前弁体のキャビテーションが発生している写真と、 $J=2$ の各解析パラメータの計算結果を示す。

これらの結果から、弁体両エッジから下流にかけて発生するキャビテーション、およびオリフィス側の1~1.5D下流付近の配管壁で、縦に付着するような亀裂状の特異渦キャビテーションが急成長・壊滅する3つの領域とはほぼ一致した領域で、乱流運動エネルギーが異常に高まっていることが分かった。またこの領域では、速度が大きく、しかも渦強度が大きく高まっているとともに、弁体下流中央で一旦下がった圧力が、勾配を持って回復する領域とも一致している。さらに、2D下流中央部分を中心とする速度最小、渦粘度最大となる停滞領域がキャビテーションが下流に移動するのを妨げていると考えられる(その前で発生し易くしている)。

図42-(A)に、オリフィス側の1.5D下流付近の、最もキャビテーションが激しいと思われる領域の各解析パラメータをI軸スライス(I=38)で示す。この図からは、キャビテーションが発生しているオリフィス側の領域では、激しい2つの渦を形成しているため、速度勾配が大きく渦強度が大きい。同時に乱流運動エネルギーが高まり圧力勾配がある。また速度が小さく渦粘度が高くなる領域が配管中央部分に見られる。

このことから、キャビテーション発生領域では、渦の発生に伴って速度勾配を生じ、剪断力が異常に高まっているため渦強度、乱流運動エネルギーが異常に高まると考えられる。いずれの解析パラメータともキャビテーション発生領域と相当高い相関関係を見出すことができる。

(2) 改良弁体(整流ディスク付き)

図41-(B)に改良弁体のキャビテーションが発生している写真と、 $J=3$ の各解析パラメータの計算結果を示す。

これらの結果から、改良前弁体の解析結果と全く同様、弁体両エッジ、特にノズル側から下流にかけて発生するキャビテーション、および弁体オリフィス側エッジから整流ディスク(大)間に発生するキャビテーションとはほぼ一致した領域で、乱流運動エネルギーが異常に高まっている。またこの領域では速度が大きく、しかも渦強度が異常に高まっているとともに、圧力が回復勾配を持っている領域とも一致している。さらに、速度最小、渦粘度最大となる停滞領域がキャビテーションが下流に移動するのを妨げているのも改良前の結果と同じである。

図42-(B)に、ノズル側エッジからの下流に大きく発生するキャビテーション領域の各解析パラメータをI軸スライス(I=30)で示す。この図からは、キャビテーションが発生している領域では、渦強度が異常に大きく、乱流運動エネルギーが高まっている。また圧力の回復勾配が

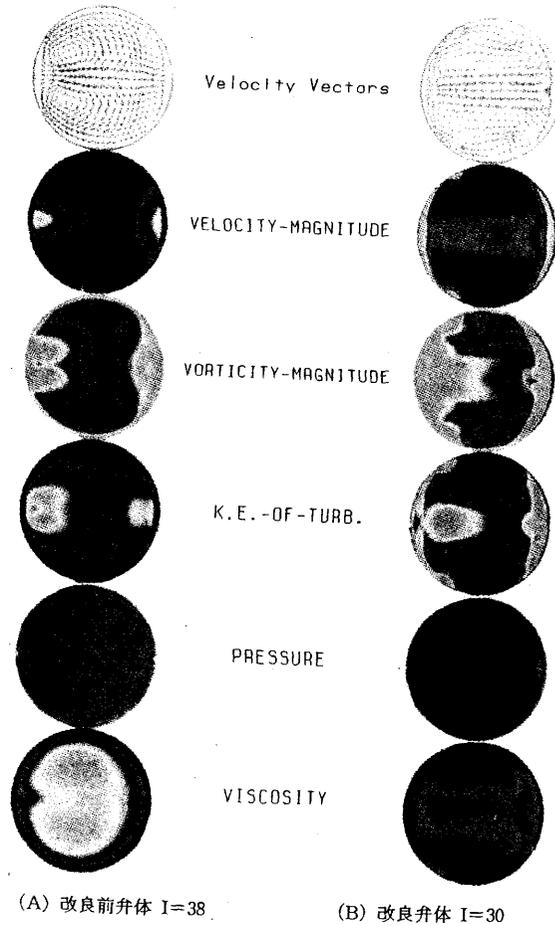


図42 キャビテーション発生領域の解析パラメータ

大きく渦粘度は小さい。

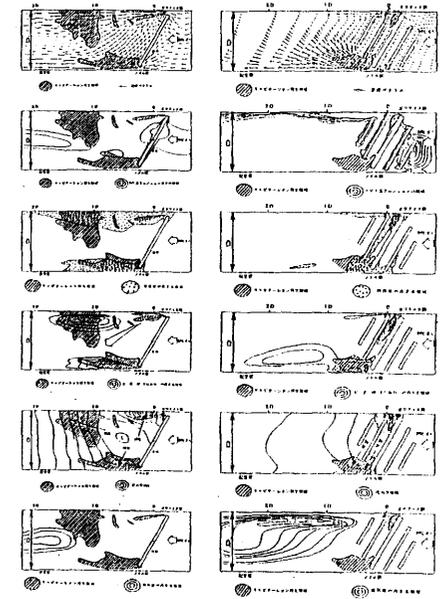
このことから、キャビテーション発生領域では改良前とはほぼ同様、速度の大きさ、渦強度、乱流運動エネルギー、圧力の解析パラメータと高い相関関係を見出すことができる。

(3) キャビテーション発生領域の推定(予測)

改良前後のキャビテーション発生領域と解析結果を総合して、相関関係があると思われるパラメータを模式的に表すと図43のようになる。

(1)および(2)の相関関係考察結果から、渦の発生状況、速度の大きさと速度勾配、渦強度、乱流運動エネルギー、圧力回復勾配、渦粘度の各パラメータが、キャビテーション発生に大きく関与していることがはっきり分かった。つまり、速度が大きくて渦の発生し易い領域では、速度勾配が大きいため剪断力が異常に増し、渦強度、乱流運動エネルギーが高まる。このような領域でキャビテーションの発生する確率が高くなると考えられる。しかも流体の流れが停滞する領域があれば、それ以上キャビテーション発生領域は下流に流されないことも分かった。

このことから、流体解析により、そのモデルにおけるキャビテーション発生領域の予測が高い確率で可能と思われる。



(A) 改良前弁体 (B) 改良弁体
図43 キャビテーションと解析パラメータの相関関係

4. 3. 4 二次元モデルの流体解析

4. 3. 4. 1 弁体のモデリング

三次元モデルは、流れを忠実にシミュレーションするには理想的であるが、形状定義が複雑となり、しかもモデルデータの入力に相当の時間を費やす。また、生成される総グリッド数が膨大となるため、解析時間がかかり過ぎて効率的でない。つまり、質量保存方程式のRESIDUAL VALUEを $1.0E^{-3}$ まで収束計算させる場合、改良弁体の例では、約半年かかると思われる。

これに反して二次元モデルでは、整流ディスク付き改良弁体をかなり細かく定義しても、総グリッド数をさほど増やさずに解析できて、しかも解析時間が短い。つまり、二次元モデルの場合、複雑形状の場合や、遮蔽物・突起物の影響をみたり、頻繁な形状修正によるシミュレーションに大変有利である。

今回のモデリング形状は、三次元解析で流れの変化やキャビテーション発生への影響があまり見られなかった上流側の整流ディスク(大・小)を省略して行った。

口径0.15 m、開度は30度、ディスク大の穴は8個、ディスク小の穴は5個とした。

モデリング構成要素は、次の表のとおりである。(モデル名: BV92Y)

要素名	要素数	要素構成データ数
Point	366	2座標×366点 = 732(座標数)
Curve	337	2点×337線 = 674(点数)
計	703	1406

4.3.4.2 有限差分グリッドの生成

弁体や整流ディスク付近の微小隙間を広くとるように、グリッドを最適化して生成した。

総グリッドノード数は、 $81 \times 61 = 4,941$ である。作成した有限差分グリッドを図44、45に示す。

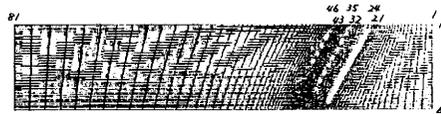


図44 Finite-Difference Grid 2D Domain

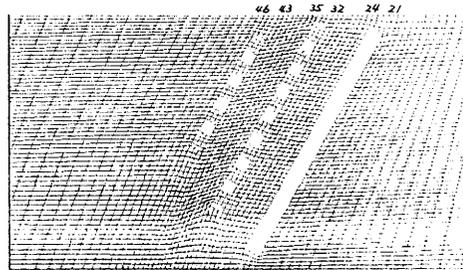


図45 Finite-Difference Grid 2D Domain

4.3.4.3 物理定数

三次元解析と同一値を使用した。

4.3.4.4 境界条件

三次元解析と同一条件を使用した。

4.3.4.5 解析条件

三次元解析と同一条件を使用した。

4.3.4.6 解析結果

解析の結果、解析パラメータの最大値および最小値は次のとおりである。

	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE
1. VELOCITY MAGNITUDE	0	24.27511
2. U-VELOCITY	-3.982004	24.27498
3. V-VELOCITY	-10.20389	16.63286
4. STREAM FUNCTION	-49.53440	299.4611
5. K.E. OF TURBULENT	0	30.233226
6. PRESSURE	-371964.9	3158.389
7. VORTICITY MAGNITUDE	0.0187549	32204.59
8. VISCOSITY	0.001005	18.68872
9. CONDUCTIVITY	0.5988	111646.3

(1) 収束条件と各解析パラメータの収束状況

MASS-CONSERVATION-EQUATIONのRESIDUAL VALUEは、グリッド数が少ないため、非常に早く減少し、ITERATION=2430で $1.0E^{-3}$ に最終収束した。(1回のITERATIONは30秒、解析時間は20時間)

各解析パラメータのRESIDUAL VALUEの収束状況は、図46のとおりであり、最終収束時の他のパラメータのRESIDUAL VALUEは次のとおりである。

U-VELOCITY V-VELOCITY PRESSURE
 $1.1E^{-4}$ $3.7E^{-5}$ $5.1E^{-6}$

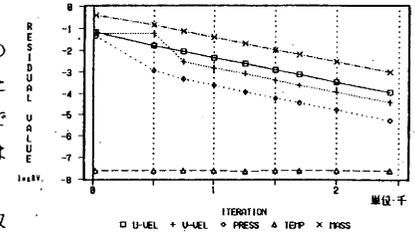


図46 BV92Y-CONVERGENCE

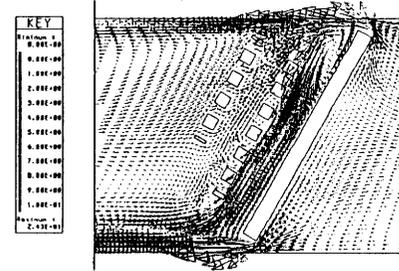
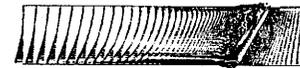


図47 Velocity Vectors 2D Domain

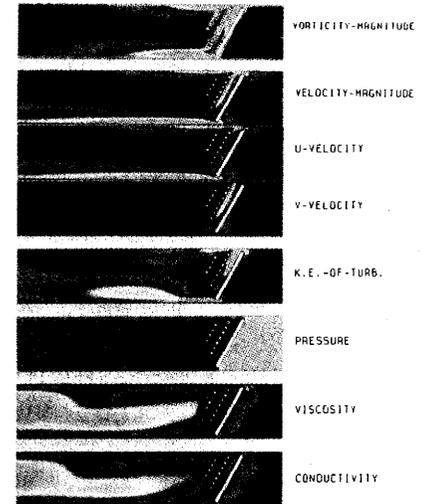


図48 Raster Plot 2D Domain

(2) 解析結果

(2)-1 速度ベクトル(図47 VELOCITY VECTORS)

上流からの流体は、弁体のオリフィス側寄りで分岐して両エッジへと流れ込み、配管との隙間から下流へ激しく噴き出している。

オリフィス側では、下流整流ディスク部(大)に激しくぶつかり、ディスク上流側の面に沿ってノズル側へと流れている。大小整流ディスク間では下流からの逆流がみられ、整流ディスク部(小)ではいずれの穴も逆流となっている。

ノズル側では、弁体通過後は遮蔽するものがなく、配管下流へと激しく流れている。

整流ディスクを過ぎた後は、2つの大きな渦を形成している。二次元であるため三次元解析結果で見られたようなノズル側下流の中央に向かった流れは見られない。

(2)-2 速度の大きさ(図48 RASTER PLOT OF VELOCITY MAGNITUDE, U-, V-)

弁体オリフィス側エッジから整流ディスク(大)間に流れ込む部分、および弁体ノズル側エッジから下流への激しい噴き出し部分で、大きな速度を示している。また、整流ディスク(小)エッジ部から下流に向かって、速度がほぼ0となる2つの渦状の領域が形成され、速度ベクトルで示したU方向流れでは、この領域を囲むように逆流となる領域ができています。

(2)-3 渦強度(図48 RASTER PLOT OF VORTICITY MAGNITUDE)

三次元解析とはほぼ同じ領域で渦強度が高くなっている。また整流ディスク(大)の回りで高くなっている。

(2)-4 乱流運動エネルギー(図48 RASTER PLOT OF K.E.-OF-TURBULENT)

オリフィス側およびノズル側ともに三次元解析の結果とはほぼ同じ3つの領域で異常に高まっている。

(2)-5 圧力(図48 RASTER PLOT OF PRESSURE)

三次元解析の結果とはほぼ同様の結果が得られており、弁体を通過後、オリフィス側エッジの裏側に最低部があり、整流ディスクより下流でしばらく低圧部が続いたあと、その下流では徐々に回復している。

(2)-6 渦粘度(図48 RASTER PLOT OF VISCOSITY)

高まる領域が少しずれる程度で、三次元解析とはほぼ同様の結果が得られている。

(2)-7 熱伝導度(図48 RASTER PLOT OF VISCOSITY)

渦粘度とはほぼ同様の結果が得られている。

4. 4 その他の解析結果

4. 4. 1 改良前弁体、流速 10m/sec(モデル名: BV91AS)

先に述べた改良前弁体について、入り口の境界条件を2m/secから10m/secに変更して解析を行った。最終繰り返し計算数は、7154回であった。(1回のITERATIONは5分、解析時間は24.8日)

解析の結果、解析パラメータの最大値および最小値は次のとおりである。

	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE
1. VELOCITY MAGNITUDE	0	219.3735
2. U-VELOCITY	-45.08131	137.4559
3. V-VELOCITY	-97.92923	88.77246
4. W-VELOCITY	-205.5668	60.67391
5. K.E.OF TURBULENT	0	1522.433
6. PRESSURE	-17351000	118966.6

7. VORTICITY MAGNITUDE	0	289451.7
8. VISCOSITY	0.001005	80.87677
9. CONDUCTIVITY	0.5988	483175.5

4. 4. 2 改良前弁体、SUCTION(吸い込み)(モデル名: BV91A_SUC)

先に述べた改良前弁体について、出口の境界条件を0m/secから2m/secに変更して解析を行った。繰り返し計算数は、1000回まで行った。(1回のITERATIONは5分、解析時間は3.5日)

解析の結果、解析パラメータの最大値および最小値は次のとおりである。

	MINIMUM VALUE	MAXIMUM VALUE
1. VELOCITY MAGNITUDE	0	42.87351
2. U-VELOCITY	-31.679844	27.01818
3. V-VELOCITY	-21.13939	15.31921
4. W-VELOCITY	-40.17255	11.54432
5. K.E.OF TURBULENT	0	123.8133
6. PRESSURE	-591144.1	4621.243
7. VORTICITY MAGNITUDE	0	56569.31
8. VISCOSITY	0.001005	14.70134
9. CONDUCTIVITY	0.5988	87824.59

5. 三次元流体解析結果の可視化

5. 1 CGアニメーション化の必要性

約1万グリッドの三次元流体解析の結果で得られるデータ量は、A4用紙で295枚にものぼり、これに基づいて計算結果を検討することは不可能である。また、通常ポストプロセッサはディスプレイによる静止画二次元表示であり、結果の正確な把握に乏しく十分な議論ができない。

ここに数値計算結果のCGアニメーション化の必要性が生じる。流体解析で得られた三次元結果を動画にすれば、ダイナミックに変化する現象を的確に表示するので、流れの基本的性質を直感的に把握できるため、流れの現象や複雑な構造がわかり易く、定性的解析技術の重要な手段となって、説得力が増す。

また、EWSの最近の進歩(グラフィック機能の向上、計算スピードアップ)により、膨大な解析データを動く映像として表示することが可能となり、利用環境が整ってきている。

ところで、通常アニメーション化する場合、次の2つの目的が考えられるが、当研究においては当然(1)が主目的である。

(1) 純粋に計算された流れ場を学問的に直感的把握し、現象を検討して理解を深める。このためには正確な解析結果を求めておく必要がある。

(2) プレゼンテーション用として、アニメーションによるインパクト効果を狙うもの。これにはある程度先進性や見栄え、美しさが要求され、同時にBGMや説明テロップの表示が必要となり、多少の誇張やデータの省略もやむを得ない。

5. 2 アニメーション化の手法

アニメーション化に用いる動画を作成する場合、テレビ画面では1秒間に数枚～30枚の画像、また映画では、1秒間に18～24コマの画像が必要であるため、当然大量の画像データを用意する必要がある。その手法としては、次の2つの方法が考えられる。

(1) 解析結果をポストプロセッサにより出力された多数の静止画像、または、解析で得られた座標値と数値データを利用し、専用アニメーションソフトにより生成された画像を一度フィルムやVTRにコマ取りした後、連続的に表示させアニメーション化する。

(2) コンピュータがリアルタイムに画像を次から次ぎに生成・表示を行うリアルタイムアニメーション。これはゲームやフライトシミュレータで利用されている。

記録媒体としては、次の3つが考えられる。

(1) 映画用のフィルム 8mm、16mmフィルム

(2) テレビ信号の記録媒体(VTRテープ、光ディスク)

(3) RAMメモリもしくはファイル(HD、光ディスク)

また最近、左右の目の視差を利用して、極めて短時間に(120Hz)左右画像を切り替え表示したものを、偏光めがねを通して立体視できる機能を持つソフトも出始めている。

6. まとめ

(1) 性能試験の結果、改良弁体の σ は開度30%で20%、開度40%以上で50%の大きな低下を示し、キャビテーションの発生を大きく抑制していることが分かった。しかし、中間開度で整流ディスクの抵抗が非常に大きいので、 C_v 値が小さく、 ζ が大きい値であった。

(2) 流れの観察結果から、改良弁体は、改良前弁体で発生するオリフィス側下流の特異渦キャビテーションの発生が全く見られなかった。これは下流の整流ディスク(大)によってオリフィス噴流の形成が妨害され、渦による剪断力が低減されるため、キャビテーションの発生が抑えられると考えられる。

(3) 解析精度向上のため、配管と弁体および整流ディスクの微小隙間のグリッドの形が歪まず、流れに沿うようにグリッドを最適化した。解析時間の効率化については、解析途中のRESIDUAL VALUEをモニタリングすることにより、一定値に収束している状態を確認すれば可能と分かった。

(4) 流体解析結果から、キャビテーション発生領域と渦強度および乱流運動エネルギーの異常に高まる領域とが一致し、圧力が回復勾配にある領域とも一致するという結果が得られた。これは、発生領域では弁体からの激しい噴き出しによる渦の生成に伴って、大きな速度勾配を生じて剪断力が異常に高まり、渦強度、乱流運動エネルギーが高まると考えられる。

(5) 弁体下流に速度最小、渦粘度最大となる停滞領域が形成され、これがキャビテーション発生領域が下流に移動するのを妨げていると考えられる。

(6) キャビテーション発生領域と高い相関関係にあるパラメータ(速度、渦強度、乱流運動エネルギー、

圧力、渦粘度)を解析することにより、高い確率でキャビテーション発生領域を予測できると考えられる。

7. 今後の課題

(1) 今回の流体解析では、現場での使用条件からキャビテーションを抑制するのに重要な開度である30度を基本として実施したが、キャビテーション発生領域との相関関係について、さらに検討を深めるためには、他の開度の解析を含め、本研究(1)で示した他のバタフライ弁弁体形状(非対称型、偏心型、傾斜型、変形型、櫛歯付き整流型)での解析が必要である。

(2) 今後さらに他の弁体も含めキャビテーションの発生を抑えるためには、渦生成による大きな速度勾配によって高まる剪断力を小さくするために、下流に噴き出した流れの速度分布変化をなるべく小さくする方向への形状変更が必要である。同時に、本研究で使用した整流ディスクの、効果の明らかな部分のみを取り付けた半円型整流ディスク付き弁体、騒音低減効果があると言われるSライン型弁体の検討が望まれる。

(3) 二次元解析は、複雑なモデルを解析する場合、三次元解析のように総グリッド数をさほど増やさずに解析できて、しかも解析時間が短い。つまり、複雑形状のモデルや遮蔽物・突起物の影響を見たり、頻繁な形状修正によるシミュレーションに非常に有利であると考えられ、今後大いに利用すべきである。

(4) 流体解析で得られる結果は、通常ディスプレイによる静止画二次元表示であるため、正確な現象の把握と理解に乏しい。このため、結果を動画でダイナミックに表示すれば、流れの基本的性質を直感的に把握でき、定性的解析技術の重要な手段となりうる。

参考文献

- (1) JIS B 2005-1987 : バルブの容量係数の試験方法
- (2) 宮川 ほか : CAEによる低キャビテーションバルブの開発研究、平成2年度技術開発研究成果普及講習会テキスト
- (3) 米村 豊 : 上水道におけるバタフライ弁の選定と使用上の留意点、配管技術、1987
- (4) HANS LUGT : 渦-自然の渦と工学における渦、朝倉書店
- (5) 日本機械学会 : 熱と流れのコンピュータアナリシス、コロナ社
- (6) 日本機械学会 : 流れの数値シミュレーション、コロナ社
- (7) S・V・PATANKAR : コンピュータによる熱移動と流れの数値解析、森北出版
- (8) 登坂宣好・大西和榮 : 偏微分方程式の数値シミュレーション、東京大学出版会
- (9) 日本機械学会 : 流れのコンピュータグラフィックス(CG)、講習会教材、1991.6.18
- (10) 傾計算流体力学研究所 : NVS 2000カタログ
- (11) 傾ソリッドレイ研究所 : Flow Eyesカタログ
- (12) 住友金属工業(株) : Sividカタログ
- (13) 長岡 均 : アニメーション作成システム、画像ラボ、1992.1

バルブ製品の性能に関する研究

(キャビテーションの定量化に関する研究)

専門員 村口 明義
主査 西川 哲郎

1. はじめに

水道用、工業プラントなどで流量調節用として用いられるバタフライ弁は、中間開度域での使用が多く、バルブ前後の差圧が高いときや2次側圧力の低い場合には、キャビテーションを発生させる。一般にキャビテーションの発生には騒音、振動を伴い、弁本体や配管の浸食を招くことなどから問題となっている。このため昨年度は、バタフライ弁によるキャビテーションの騒音と水中マイクロホンによる音圧測定およびキャビテーション流れを可視化することによりキャビテーションの定量化を図ることを試みたが、本年度はキャビテーションを抑制する目的でディスクを設けた弁体を試作し、ディスクの有無による定量化の比較を行ったのでその結果をここに報告する。

2. バタフライ弁の流れの構造

2. 1 バタフライ弁の流れ

バタフライ弁の中間開度時の流れの様子は図1に示されるように、弁体が下流側にある開口部をノズル様の流れ（以下「ノズル側」と称する）、弁体が上流側にある開口部をオリフィス様の流れ（以下「オリフィス側」と称する）として説明することができる。バタフライ弁の流れの可視化の実験によると¹⁾、弁体回転軸に直角な管中心断面における流れの様子は、弁体の中心よりオリフィス側に近いところから分流し、それぞれの弁体エッジから噴流として放出されている。ノズル側のエッジを通過する噴流はあまり広がらず、一方オリフィス側のエッジを通過する噴流は扇形状に広がっている。また両方の弁体に囲まれた部分には循環流の領域が存在し、噴流の先端では乱れた渦となった後、再び乱れない管内流と移行することが報告されている。昨年度の当所の実験においても可視化の様子をビデオにより記録したが、同様の流れを示していることが確認された²⁾。

なおディスクを付けた弁体についての流れは非常に複雑であり、可視化の記録からは正確な様子を把握することができなかった。（当所の宮川は本実験に使用したディスク付き弁体をモデルとして数値計算による解析を試みており、数値計算による流れの解析については当該報告を参考にしてください。）

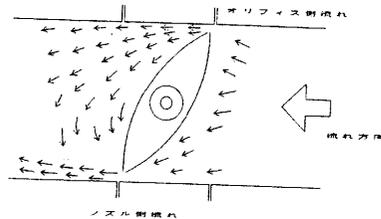


図1 バタフライ弁の流れ図

2. 2 キャビテーションの発生原因

キャビテーション現象の一般的説明としては、主として流体の運動によって起こる圧力の低下が原因で、圧力が局所的にその温度に於ける飽和蒸気圧以下に低下するとき、沸騰して蒸気泡が生成しかつ成長して空洞を形成し、圧力回復によって急速に壊滅する過程³⁾とされている。しかし純水における気相変化の条件や実際にはキャビテーションが発生する圧力は蒸気圧以下である場合も多い等から、流体中の不溶性気体、不純物がキャビテーション核になるとするもの、溶解気体の成長核によるとするもの等の諸説⁴⁾があり、十分に解明されていないが荒っぽい実用上の仮説としてキャビテーションの発生する圧力は蒸気圧に等しいと仮定するのが有用である⁵⁾。バルブ等の流体輸送機械では流れが絞られ、流速が増加し静圧が低下する縮流部および3次元流れ場における部分的な静圧の低下、渦の発生によって生起する「減圧が支配的要因」と考えられている。前述のようにバタフライ弁は流れがノズル側およびオリフィス側を噴流状となって通過するため縮流部近辺で「低圧」が発生することに起因することが考えられている。しかし昨年度および今回の実験によれば一般的なバタフライ弁（キャビテーション抑制機能などを施していないもの）ではオリフィス側下流1~1.5D（D：配管直径）の付近にキャビテーションが見られるなど「減圧が支配的要因」とするだけでは十分に説明できない現象もある。

3. 実験装置および実験方法

3. 1 実験装置

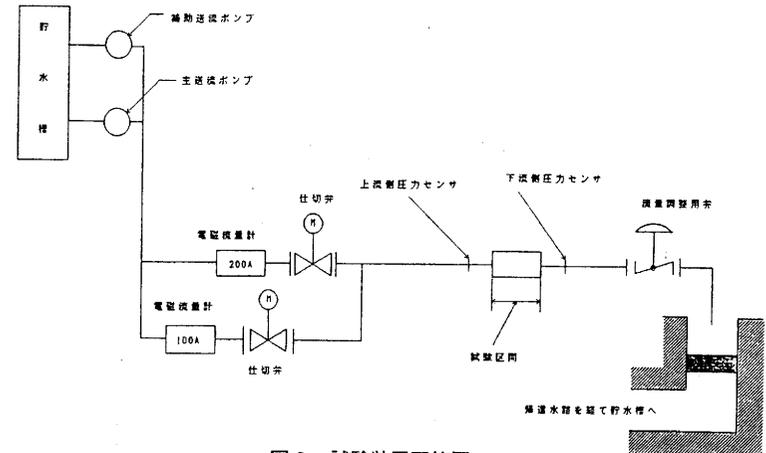


図2 試験装置配管図

実験には図2に示すような配管の装置を用いた、試験水は循環式である。装置の仕様の概略は次のとおりである。

水槽	容積17.8m ³
試験配管	直管部200A×約13m
試験区間	150A×2.3m
送流ポンプ	渦巻式 主送流ポンプ揚程26.3m×吐出量4m ³ /min

	補助送流ポンプ揚程25.5m×吐出量1.8m ³ /min
流量計	電磁流量計200A流速スパン0.3~10m/sec精度5%
圧力検出器	小形圧力センサ0~3 kgf/cm ² 精度±0.25%
精密騒音計	マイクロホン形式MI-221 (コンデンサマイクロホン)
	測定範囲27~130dB
	周波数範囲 20~12500Hz
水中マイクロホン	B&K TYPE: 8103 周波数範囲0.1Hz~180kHz
前置アンプ	B&K TYPE: 2650 周波数範囲0.3Hz~100kHz
FFTアナライザ	CF-360 2ch 周波数レンジ 1Hz~100kHz
温度測定器	測温抵抗体PT

試験時の流量および圧力の調整はインバータによりモータの回転数を変え、また下流側に設けたバタフライ弁により行った。試料水は水槽に貯溜された水道水を用いたが、脱気、整流等のための設備は特に設けていない。キャビテーションの観察には図3のような内径150mmの透明アクリル管の内部に試験弁体を取り付け、アクリル管の周囲は観察および写真撮影に便利のように同じく透明アクリルの矩形水槽で囲い水を満たしている。アクリル樹脂は水とほぼ等質(比重1.17)であり屈折等による像の歪みが少ない。このアクリル管の中心部に水平方向に弁体回転軸を設け、水槽外側に弁体ストップ機構と開度計を備えた減速機を用いて試験弁体を固定している。なお今回は可視化水槽以外にも実際のバタフライ弁(以下「実機」と言う。)を配管に設置し騒音測定を行った。なお実機の場合弁軸は垂直方向であり、可視化水槽は水平方向となる。図4は可視化水槽にディスク付き弁体を設置した写真である。

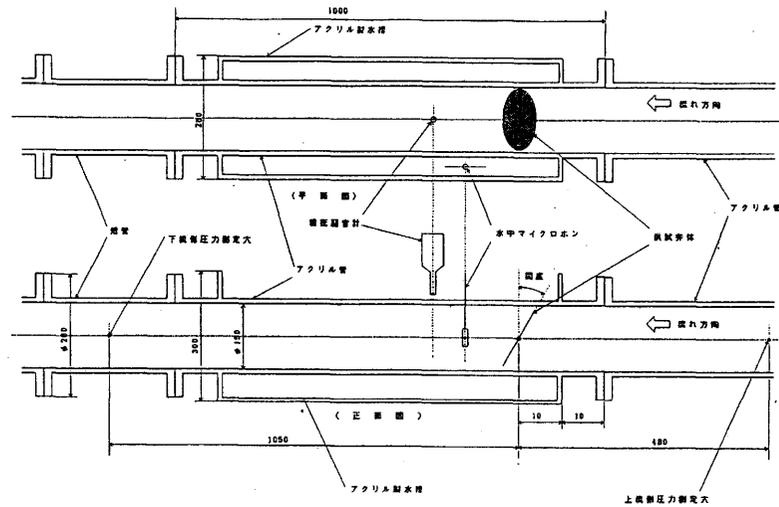


図3 測定部の概略

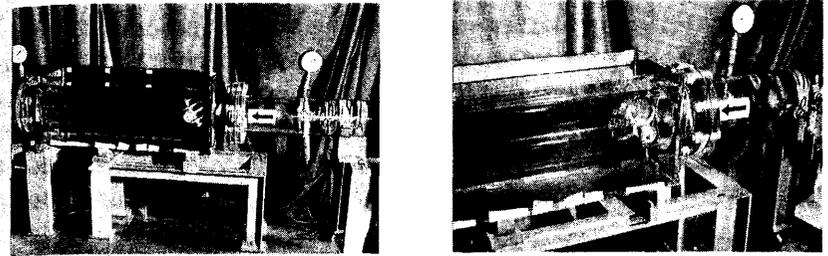


図4 可視化水槽およびディスク付き弁体設置写真

3. 2 実験方法

本実験ではキャビテーション騒音の計測には精密騒音計を用いた。マイクロホンはアクリル管の中心線に近接するように設置した。マイクロホンの設定位置は測定結果にほとんど影響ないとの報告⁹⁾もあるが、本実験の場合騒音レベルが最大となる位置に設けた。騒音レベルの測定では騒音計のA特性、FAST特性を用いた。騒音レベルは瞬時的に変化して行くため、1分間の等価騒音レベルを用いて評価した。なお、ポンプのモーターによる暗騒音の影響をなるべく少なくするためモーター出力を一定にして下流のバタフライ弁により流量の調整を行った。なお弁の開度は全閉時を0度、全開時を90度とした。

水中マイクロホンは供試弁体を設置したアクリル管内に設けることができないので、キャビテーションを観察し易くするために設置したアクリル水槽内に設けた。水中マイクロホンの設定位置はアクリル管とアクリル水槽の壁との間で最もキャビテーションの激しい箇所(最初にキャビテーションの気泡が発生する箇所)の近傍に位置した。アクリル板の音響インピーダンスは、厳密には水と一致しないので実際の波形と異なっているものを測っているおそれがあるという文献⁹⁾もあるが、本実験では取り扱いが簡便であることと流体の流れによる騒音の影響も少ないと考えられるためこの方法によった。なお音圧は瞬時的に変化しているため一定時間内の振幅の絶対値の平均を求めて評価することとした。またデータの処理上3Hz以下の低周波分についてはカットしているが、低周波成分については流体の流れによるものが多いと考えられるためキャビテーションの定量化にはカットによる影響は少ないものと推察される。

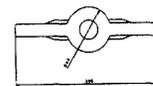
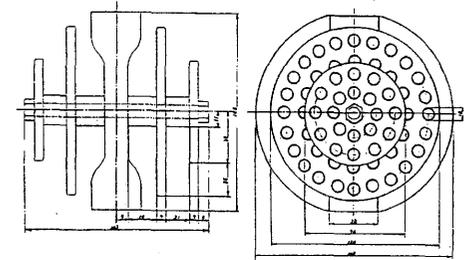


図5-1 ディスクなし弁体



図5-2 ディスク付き弁体



キャビテーションの可視化の記録については、写真撮影およびビデオによる保存を行った。撮影については像の歪みを少なくするためアクリル水槽に水を満たしこれを通して撮影を行った。光源にはストロボスコープと補助光用としてデイライトランプを用いた。ストロボスコープは単発光（閃光時間 $620\mu\text{s}$ ）またはマルチ（発光周波数が可変、閃光時間 $140\sim 480\mu\text{s}$ ）との切り替えが可能なものである。写真撮影には単発光、ビデオ撮影にはマルチ発光を（周波数 1500Hz ）を使用した。写真撮影は絞りを $f2.8$ でシャッターを開放し、その間にストロボスコープの

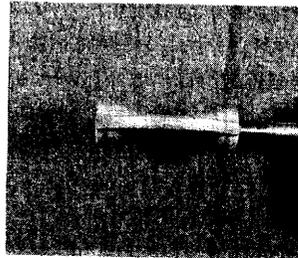


図6 ディスクなし弁体の写真

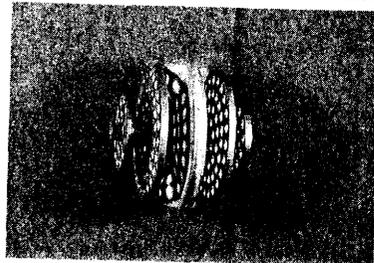
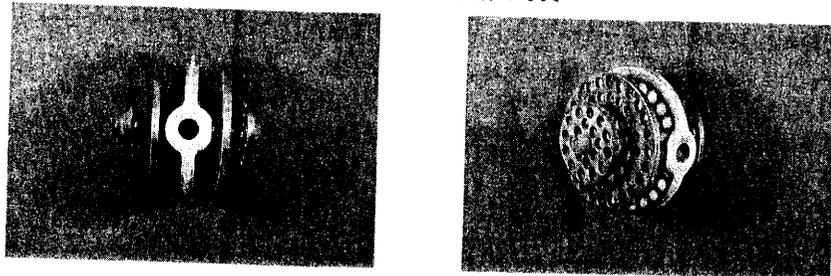


図7 ディスク付き弁体の写真

単発光を閃光させる方法を用いた。なおレンズはマクロ（ $55\text{mm F}2.8$ ）、カメラはニコンF E2、フィルムはNEOPAN SSである。

実験に用いたバタフライ弁およびディスク付きバタフライ弁形状および写真を図5-1、5-2、6、7に示す。バタフライ弁体は弁棒非貫通型で材質アルミ製铸件でありディスクはステンレス製である。実機での騒音測定にはディスク付きのバタフライ弁ほか比較のために図8のようなアルミ青銅製の変形型（以下「Sライン型」と言う。）の弁体を使用した。

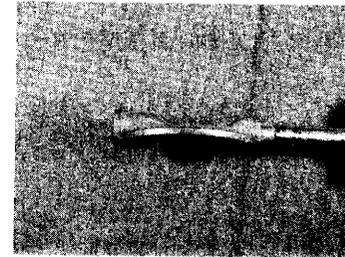
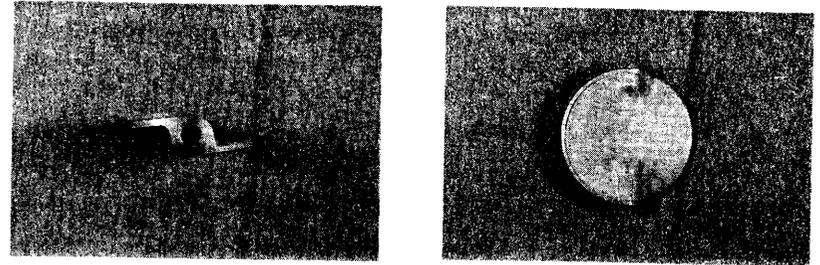


図8 変形弁体（「Sライン型」）

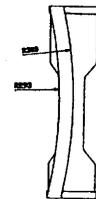
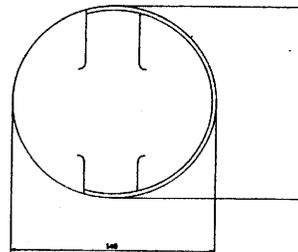
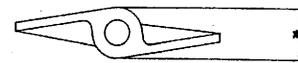


図8 変形弁体（「Sライン型」）

4. 実験結果

4. 1 キャビテーション係数

キャビテーションの状態を表す係数としてキャビテーション係数が使用されるが、キャビテーションの発生やその性質に影響を及ぼす考えられる要素としては、流体の速度や圧力の変動、重力による圧力の変化、液体の物理的性質（蒸発特性、表面張力、粘性など）、液体に溶解している物質、液体内に浮遊している物質、境界表面の粗さなどが、キャビテーションに影響のあることが研究されている⁹⁾。しかしこれらの全てを取り入れて係数を求めることは実際上不可能であり、一般にはキャビテーションの発生し始める時のキャビテーション係数 K_c は

$$K_c = (p - p_v) / \frac{\gamma V^2}{2g} \quad (\text{式4. 1})$$

V : 水の流速 p : 水の静圧 (絶対圧力) p_v : 水のその温度における飽和水蒸気圧
 γ : 水の比重量 g : 重力加速度

となる。水車などの流体機械では $Thoma$ の係数と呼ばれる次のようなキャビテーション係数が広く使用されている¹⁰⁾。

$$\sigma = H_a - H_s - H_v / H \quad (\text{式4. 2})$$

H_a : 大気圧 H_s : 吸出落差または吸込揚程の値 H_v : 蒸気圧

H : 有効落差

バルブに用いられるキャビテーション係数は $Thoma$ の係数に類似した次の2の式がよく用いられる¹¹⁾。

$$\sigma_1 = \frac{H_d - H_v}{H_u - H_d} \quad (\text{式4. 3})$$

$$\sigma_2 = \frac{H_d - H_v}{H_u + V^2 / 2g - H_d} \quad (\text{式4. 4})$$

H_u, H_d : バルブ前後の静圧

H_v : (水の飽和蒸気圧) - (大気圧)

V : 管内平均流速

本実験では (式4. 3) を使用した。

また一般にレイノルズ数 Re は次の式で表される。

$$Re = vD / \nu \quad (\text{式4. 5})$$

D : 管の内径 [m]

v : 管内平均流速 [m/s]

ν : 動粘性係数 [m²/s]

図9は可視化水槽におけるディスク付き弁体とディスクなしの弁体のレイノルズ数とキャビテーション係数の関係を示している。

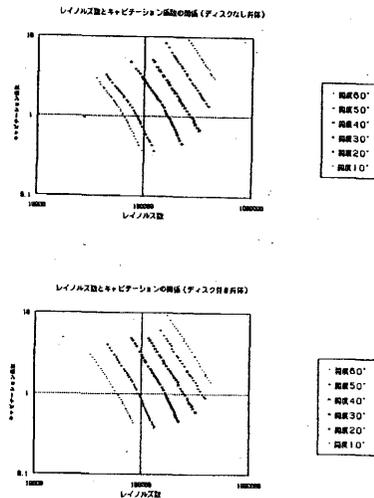


図9 レイノルズ数とキャビテーション係数の関係

4. 2 実機による騒音レベルの測定

図10に各開度におけるディスク付き弁体とディスクなし弁体のキャビテーション係数と騒音レベルの関係を示す。この図からみると昨年バタフライ弁同様にディスク付き弁体、ディスクなし弁体ともに図11のような3つの段階に分けて考えることができる。キャビテーション係数の減少つまり流量の増加とともに「I」「II」「III」の領域へと遷移していく。「I」の領域ではキャビテーション係数が減少 (流量が増加) しても騒音レベルの増加はわずかな段階である。「II」の領域ではキャビテーション係数の減少に対し騒音レベルが急激に増加する領域である。「III」

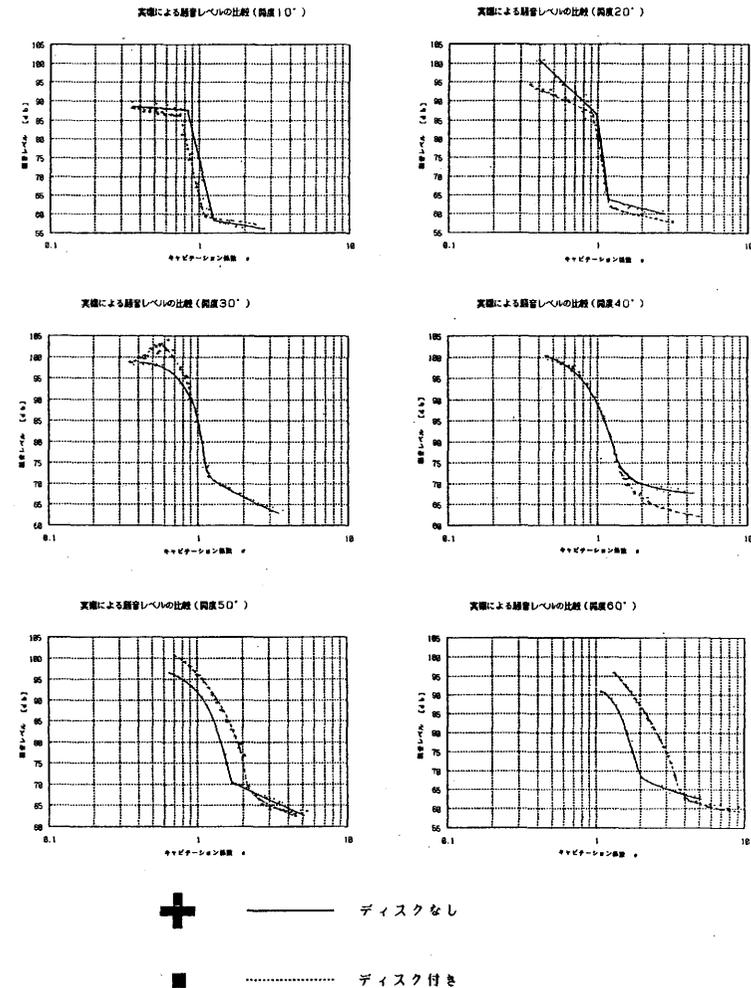


図10 各開度におけるキャビテーション係数と騒音レベルの関係

の領域では騒音レベルは高い値となっているがキャビテーション係数の減少に伴う変化の少ない段階となっている。昨年報告²⁾でも述べたように「I」の段階ではキャビテーションによる騒音はほとんどなく流体の流れによるものであり、「II」の段階ではキャビテーションの急激な成長による騒音である。「III」の段階はキャビテーションの急激な発達後のチョーク状態に達するまでのなだらかな推移の部分である。開度10度から20度までの低開度では前述の3つの段階が明瞭にみられる。ディスクの有無による比較

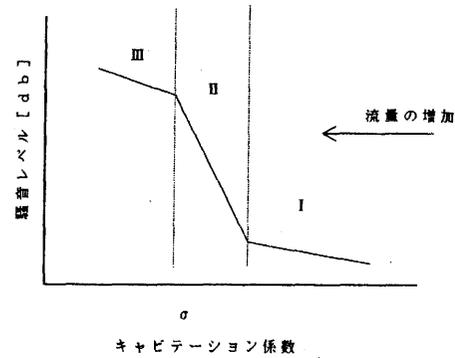


図11 キャビテーション係数と騒音レベルの関係のモデル図

ではどちらも同じような傾向を示しているが、開度20度の「III」の領域でディスク付き弁体の騒音レベルの上昇が大きくなっているがこの理由については今のところ明確でない。開度30度から40度ではともに同一線上的領域がみられるが、開度30度では「I」および「II」の領域の発達の前半部で、開度40度の場合では「II」の発達段階の後半から同一線上的値をとっている。開度50度から60度ではディスクの有無により騒音レベルの値に差異がみられる。「I」の段階では同じキャビテーション係数ではディスク付きの弁体の方が騒音レベルが高くなるが、「II」の発達段階以降ではディスク付きの弁体の方が騒音レベルが低くなっている。また開度が大きくなるにしたがってその傾向が大きくなる。これは開度が大きくなるにつれてディスクの影響が大きくなるためであり、開度の増加とともにディスクによる流体抵抗が増すため「I」の領域ではディスク付きタイプの騒音レベルが大きくなるものと考えられる。またキャビテーションの発達段階以降では後に述べる可視化の写真からも分かるようにキャビテーションにより発生する気泡の状態が異なるためと考えられる。図12は「I」と「II」の境界点を初生点と考えその点でのキャビテーション係数と弁開度の関係を示したものである。これによると開度30度付近まではディスクの有無にかかわらず同じような初生キャビテーション係数であるがこれ以降初生キャビテーション係数は大きくなる。ディスクのないタイプではディスク付きよりその傾向が大きくなる。つまり開度が40度より大きくなるとディスクのないタイプの方が早く「II」の領域に達することになる。

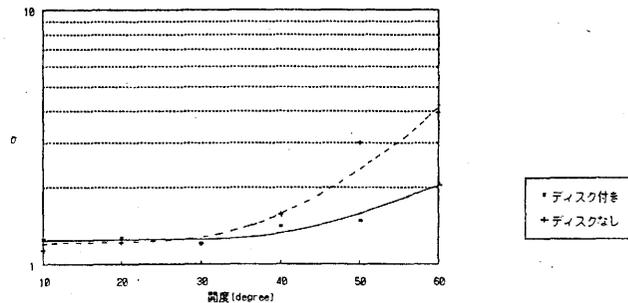


図12 弁開度と初生キャビテーション係数の関係

4. 3 水中マイクロホンによる音圧測定

図13に水中マイクロホンによる音圧測定の結果を示す。ディスク付き弁体、ディスクなし弁体ともに騒音レベルの測定と同様「I」「II」「III」の領域に分けて考えることができる。弁開度が大きくなるにつれて「II」の成長領域が右側つまりキャビテーション係数の高い領域へと遷移していくとともに、「I」「II」「III」の境界域が明瞭でなくなってくる。ディスクの有無による差異としては「II」の領域での音圧の増加の幅に違いがみられる。ディスク付きのものはディスクなしのもの比べ音圧の増加の幅が小さくなっている。「I」の領域に注目してみると開度が大き

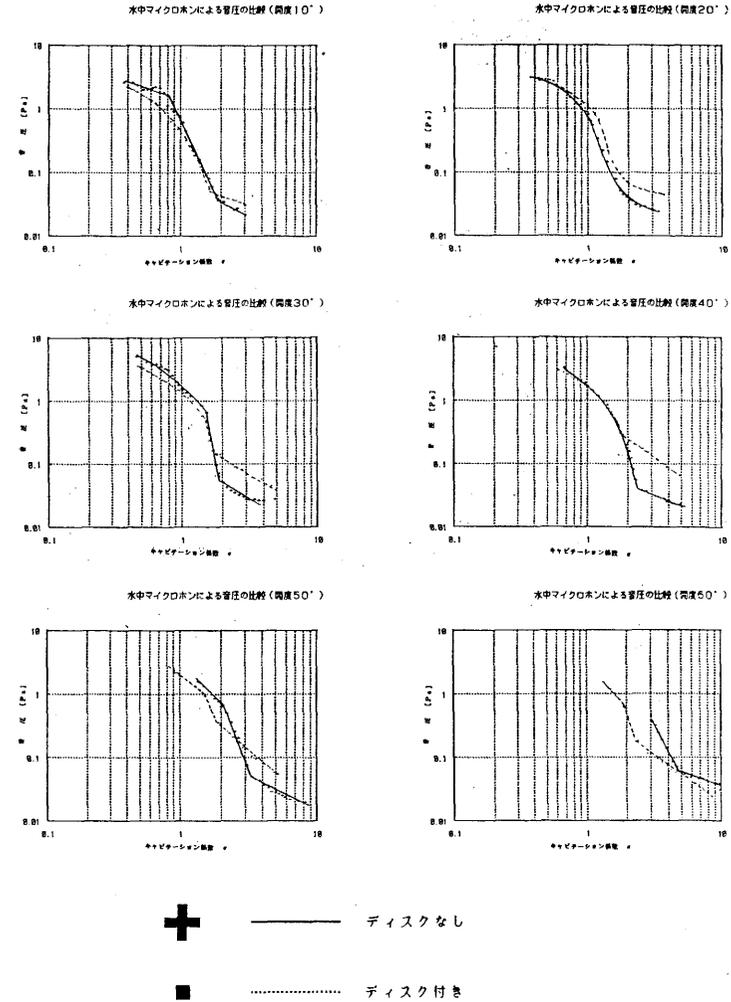


図13 各開度におけるキャビテーション係数と騒音レベルの関係

くなるとともに、ディスク付き弁体の音圧が大きくなっている。これは4. 2でも述べたようにディスクによる流体抵抗の増加により流れによる音圧が増加したものと考えられ、開度が50度を越えるとその差が小さくなることから推測される。「II」「III」の領域については若干の相違はみられるものの大きな違いは認められなかった。これは今回の計測において一定時間の音圧の強さの平均値を計測したためと考えられる。聴覚においては明らかに両者のキャビテーションの騒音の違いを感じることができたが、精密騒音計や水中マイクロホンによる音圧の強さの測定では特徴的な違いを把握することができなかった。つまり一定時間における音の強さの平均では両者に大きな違いはみられなかった。今後は周波数分析などの手法を用いて定量化を検討する必要がある。

4. 4 可視化によるキャビテーションの観察

キャビテーションの可視化による観察は開度10度から60度における両弁体の写真撮影およびビデオ撮影により行った。その結果10度から20度における低开度とそれ以上の開度では状況が違っておりここでは開度20度および40度の写真撮影結果を示す。図14、15に開度20度におけるディスク付き弁体およびディスクなし弁体の写真および撮影箇所を示す。写真①および⑥は領域「I」における写真であるが、どちらの場合もキャビテーションの気泡を確認することはできず、キャビテーションはまだ発生していない状態である。「II」の領域の写真②および⑦ではキャビテーションの発達段階ではあるが、キャビテーション気泡の発生頻度は少なく写真等では十分に確認することができない。③および⑧は「II」の領域のなかでも「III」の領域に近い箇所でありキャビテーションの成長過程の後半部といえる箇所である。ディスク付きおよびディスクなしともに弁体の端（エッジ部分）から霧状の非常に細かい気泡を発生しており、ノズル側の弁体下流近傍に霧状の中に少し成長した気泡がみられる。写真④、⑤および⑨、⑩は「III」の領域の写真であるが、④、⑤ではどちらの場合も霧状の細かい気泡の中で弁体のノズル側のエッジより発達段階の気泡が確認できる。⑥、⑦では白濁するほどに激しく発生した霧状の細かい気泡とともに弁体の周囲からも発達した気泡が噴出している。総じてみれば開度20度ではディスク付きとディスクなしの弁体では大きな違いをみることはできない。また騒音レベルの測定の結果から考えても両弁体のキャビテーション発生状況に著しい相違はないと考えられる。

図16、17に開度40度におけるディスク付き弁体およびディスクなし弁体の写真および撮影箇所を示す。開度20度の場合と同様に「I」および「II」の発達段階の途中までは写真においてはキャビテーション気泡を観察することができない（写真⑪、⑫および⑬、⑭）。「II」の発達段階の最終部付近からディスク付き弁体とディスクなし弁体ではキャビテーション気泡の発生に違いがみられる。写真⑬のディスクなし弁体ではノズル側弁体先端のキャビテーション気泡とともにオリフィス側下流1~1.5D付近に管壁に垂直な紐状のキャビテーション気泡を確認することができる。これは従前の報告¹³⁾にある「特異渦キャビテーション」と呼ばれるキャビテーション気泡と推察される。一方ディスク付き弁体ではオリフィス側下流の紐状のキャビテーション気泡はみられず、ノズル側弁体の端および下流に設けたディスクの孔よりキャビテーション気泡を発生しおり、また霧状の細かい気泡がディスクの孔より吹き上がるよう発生しているのが観察される。「III」の段階ではこの状況がより明瞭になっている。写真⑮、⑯では紐状のキャビテーション気泡「特異渦キャビテーション」が大きく成長し、またその発生回数も多くなっている。ディスク

付き弁体では（写真⑬、⑭）弁体およびディスクの周囲と、ノズル側下流に比較的大きなキャビテーション気泡がみられるが、ディスクなし弁体でみられたオリフィス側下流の特異渦キャビテーションはみられない。これは下流側に設けたディスクによりオリフィス側の流れが影響を与え、特異渦キャビテーションの発生の原因と考えられる強烈なオリフィス噴流を妨げたためと推察される。またディスクにより妨げられた流れはディスクと弁体間を流れノズル側に向かいディスクと弁体間およびノズル側弁体の下流でのキャビテーション発生の原因となる考えられる。これは当所の宮川の報告¹⁴⁾による数値計算による解析からも推察される。

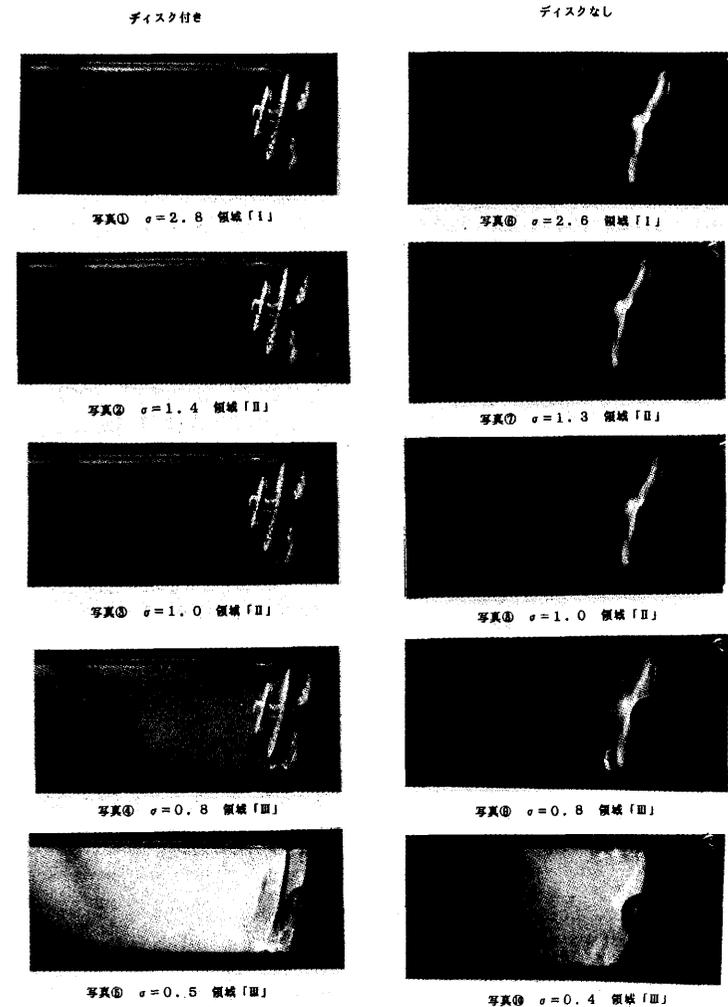


図14 キャビテーション撮影結果（弁開度20度）

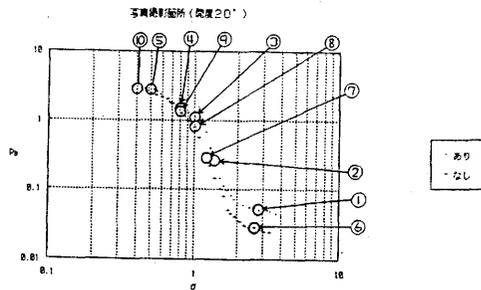


図15 キャビテーション写真撮影の箇所 (弁開度20度)

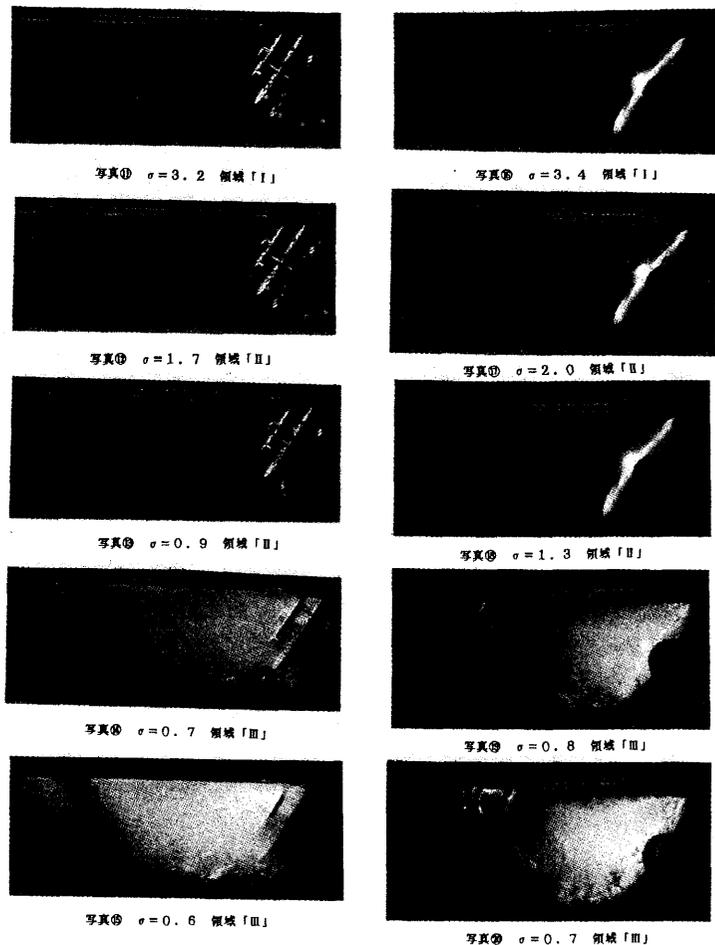


図16 キャビテーション撮影結果 (弁開度40度)

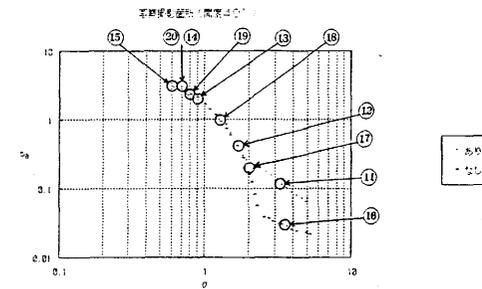


図17 キャビテーション写真撮影の箇所 (弁開度40度)

4. 4 Sライン弁体による騒音測定

今回ディスク付き弁体による比較のほかSライン型の弁体についても騒音測定を行った。この中で弁体の設置方向による騒音測定を試みたところ興味深い結果となったのでここにその状況を述べる。図18にあるように流れに対し弁体をS字型に設置した場合と逆S字型に設置した場合の比較であるが、その測定結果は図19のとおりである。ここでも開度10度~20度までの低開度とそれ以降の開度ではキャビテーション騒音とキャビテーション係数の関係が異なっている。低開度における逆S字方向の弁体では早くから発達段階の「II」の領域に入る。また「II」の発達段階の領域での騒音レベルの増加の幅にちがいがみられ、「III」の領域でも騒音レベルの増加の程度が違っている。つまり逆S字方向では発達段階で大きく騒音レベルが上昇するが、その後の騒音レベルの上昇は少なく、一方S字方向では発達段階では逆S字方向ほど上昇しないがその後もキャビテーション係数の減少とともに騒音レベルが上昇していく。30度から40度の弁開度ではキャビテーション騒音とキャビテーション係数の関係は相似形であり逆S字方向の方がキャビテーション係数の高い領域へ平行移動する結果となっている。なぜこのような状況となるか理由は不明であるが、今後キャビテーションの可視化により検討を進める考えである。

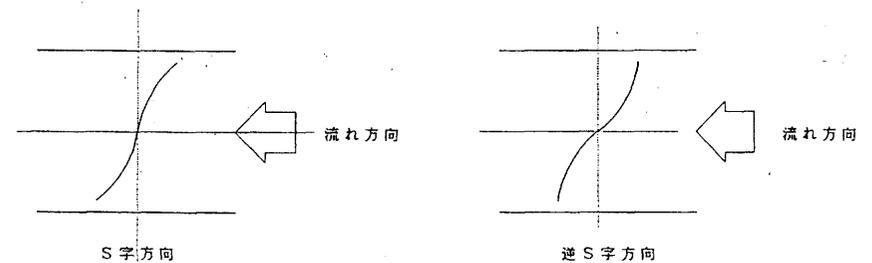


図18 Sライン弁体設置方向図

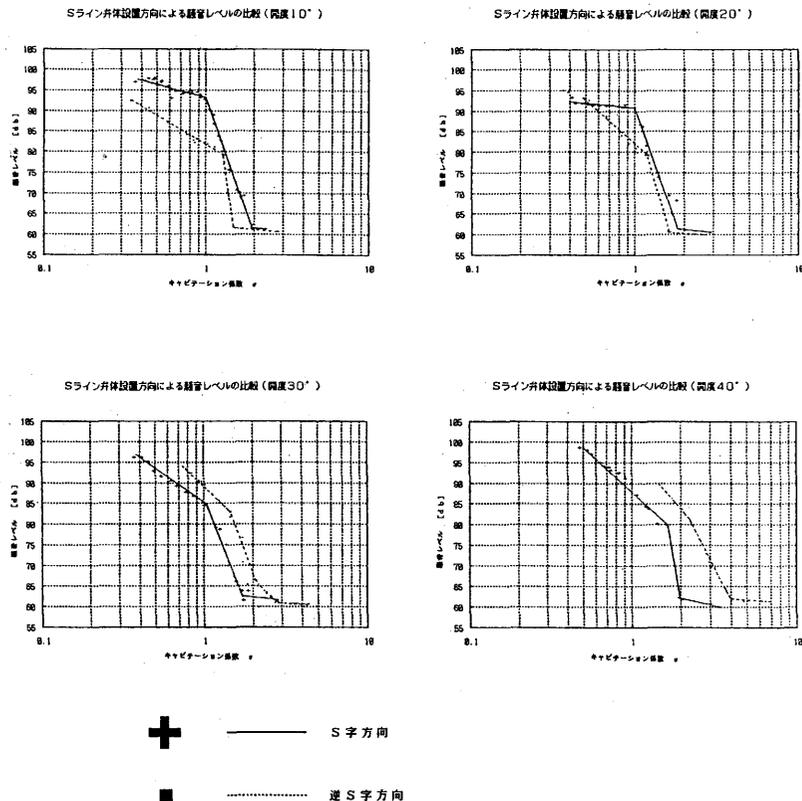


図19 S字弁体におけるキャビテーション係数と騒音レベルの関係

5. まとめ

今回キャビテーションを抑制する目的でディスクを設けたバタフライ弁を使用しキャビテーション騒音を精密騒音計と水中マイクロホンにより測定するとともに可視化の様相からキャビテーションの定量化を試みた。その結果をまとめる次のようになる。

- 1) ディスク付きバタフライ弁とディスクなしバタフライ弁について精密騒音計および水中マイクロホンによる一定時間の平均音圧測定では両者の著しい差異がみられなかった。また聴覚においては両者間の明瞭な違いを感じることができることから、周波数分析による定量化が必要である。
- 2) ディスク付きバタフライ弁とディスクなしバタフライ弁についてキャビテーションの可視化より10度および20度の低開度では両者に著しい差異は認められなかったが、開度40度においてディスクのない弁体のみられた「特異渦キャビテーション」と考えられる紐状のキャビテーシ

ンがディスク付き弁体ではみることができなかった。

- 3) 以上のことからディスク付きバタフライ弁では壊食を引き起こすと考えられている「特異渦キャビテーション」の発生を抑制することができるが、音圧の強さからみたキャビテーション騒音の抑制には著しい効果は得ることはできなかった。

なおこの実験の遂行ならびにまとめるにあたり大阪府立工業高等専門学校機械工学流体研究室の柳井田教授から、随所に有益な御教示を賜りました。また県内のバルブ製造事業所の技術者の方からもアドバイスや御協力を得ました。併せてここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 辰巳・太田・北村・山崎、バタフライ弁における流れの可視化、産業用バルブに関する調査研究分科会成果報告書 (1987、8)
- 2) 村口・西川、バルブ製品の性能に関する研究 (キャビテーションの定量化に関する研究)、平成2年度滋賀県立機械金属工業指導所業務報告書 P68
- 3) 佐藤・丸本・森岡・吉居、水道用バタフライ弁のキャビテーション特性の改善について、昭和63年度滋賀県立機械金属工業指導所業務報告書 P37
- 4) 同 上
- 5) G.K.Batchelor, 入門流体力学、東京電機大学出版局 P484
- 6) 同 上記 3)
- 7) 木村・小川、ちょう形弁のキャビテーション振動および騒音測定、日本機械学会論文集 (B編) 52巻474号 (昭和61-2) P502
- 8) 加藤、キャビテーション増補版、楨書店 (1990、6) P336
- 9) 山崎、キャビテーション工学、日刊工業新聞社、(昭和53、7) P10
- 10) 辰巳、バルブのキャビテーション、水道協会雑誌第53巻第3号 P80
- 11) 同 上
- 12) 同 上記2)
- 13) 伊藤他5名、ちょう形弁のまわりに発生するキャビテーション流れパターンの観察、日本機械学会論文集 (B編) 54巻508号 (昭和63-12) P3317
- 14) 宮川他、CAEによる低キャビテーションバルブの開発研究(2)、平成3年度滋賀県立機械金属工業指導所業務報告

CAD/CAMシステムによるバルブ

加工の合理化・省力化研究

(CNC旋盤、精密平面研削盤)
における試削と操作について

樋口 英司
松川 進
酒井 一昭

1. はじめに

地場産業の人手不足対策と若年労働者の確保とバルブ加工の合理化、省力化、高精度化を図るため、CAD/CAM(コンピュータ支援による設計、生産)システムとNC工作機械をドッキングした設計から加工までの自動加工技術の確立をめざした研究を実施しておりますが、その一環としてCNC(コンピュータ制御付数値制御)旋盤および一軸NC付き精密平面研削盤を導入、これら新鋭設備の操作法習得のため、若干の試削・研削を行い加工精度チェックを行いましたので報告します。

2. 設備の概要

2-1、CNC旋盤

機種 株式会社 オークマ製
LB25C

能力・容量

制御軸数 X、Z軸2軸

ベッド上の振り $\phi 620$

最大加工径×長さ
 $\phi 360 \times 650$

軸直径/貫通穴径
 $\phi 120 \times \phi 80$

回転速度と変換数
65~3500(rpm)無段×自動
2段

刃物台 型式 V12

油圧心押台

心押軸直径/移動距離
 $\phi 100/120$

早送り速度 X軸12000mm/min
Z軸15000mm/min

NC制御装置 OSP 5020L

らくらく対話キット(新IGF)

リーダーパンチインターフェイス
(RS232C)

フロッピー入出力機能可搬形インターフェイス

2-2、一軸NC付き精密平面研削盤

機種 株式会社 長瀬鉄工所製
SGC-95

能力、容量

テーブル作業面 900×500mm

テーブル上面から砥石軸芯まで700mm

テーブル左右最大移動量
1100mm

テーブル左右送り速度
1~25mm/min

サドル前後最大移動量560mm

サドル前後早送り速度1000mm/min

砥石サイズ $\phi 510 \times 50 \times \phi 127$

砥石回転数(インバータ可変)
MAX 1300rpm

特別付属品

バランスベクター(NB-55)
(バランス測定器)

ブレンツルアー(RS-50H)
(ツルニング、ドレッシング装置)

サインバー式永磁チャック

ダイヤモンドホイール
SDC#140
SDC#320
SDC#600

アルミナ系PA砥粒砥石
HA454H

3. CNC旋盤における試削

3-1、試削品

図1に示す口径65mm用ボールバルブのボール弁体を試削品として選定した。これ以外の試削品では、水道用ダクタイル鋳鉄仕切弁(JWW A B 122)の口径75用および口径200用の弁棒(SUS304)、試削モデル2種類(S45C)の加工を行った。

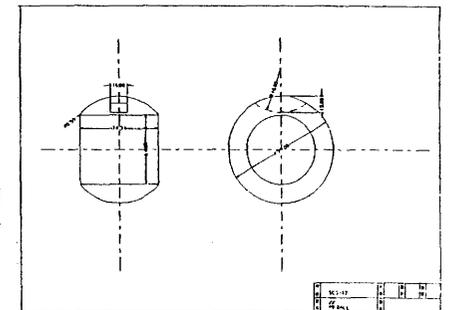


図1 $\phi 65$ ボール弁体

3-2、作業の流れ

図2にNC旋盤の運転操作の手順を示しましたが、これら一連の作業が終わって始めて製品の加工ができるのです。それでは主な作業の概要の流れにそって説明します。

(1) 生爪の加工

加工物を主軸につかんで回転させ、その外周や内面を刃物で切削したり、ドリルを使って穴を明ける作業が旋盤の仕事になるわけで、この加工物をつかむ部分をチェックと呼び3個の爪によって加工物をがっしりとつかむわけですが、この爪を加工物の大きさに合わせて切削、成形する作業で以降の原点設定の基準となります。

この作業は簡単な動きですが、プログラムを作って自動運転で作業をします。また、生爪の加工が終わってワークを取付けた時、ワークのつかみ状態を確認することが必要でこの場合、主軸を手動で回転させるためMD I運転を行います。

NC旋盤運転操作の手順

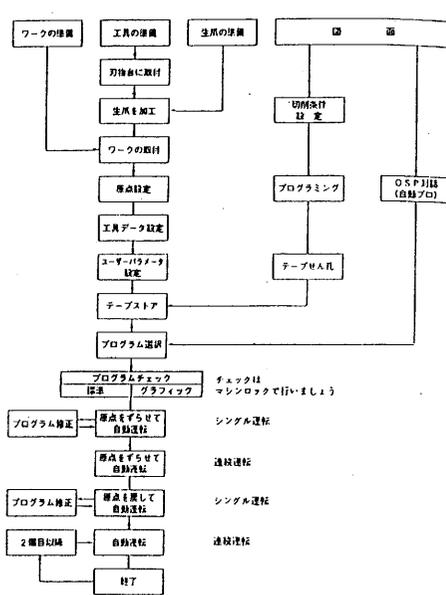


図2 NC旋盤の運転操作手順

このMD IとはManual Data Inputの略でオペレーターが操作パネルのキーボードより、プログラムを直接入力して機械を動かす方法です。

(2) 原点オフセット

プログラムの基準点(0位置)を機械原点からどれだけの位置にするか設定する。

加工に必要な刃物の中から、どれか1本を選んで基準バイトとして原点の設定に使います。通常は、外径の荒加工用バイトが使用される。作業原点を図3に示す。

X軸の原点設定は、機械毎の管理カードに検査、設定値がNC基準データ値として記載されており、その値を入力します。

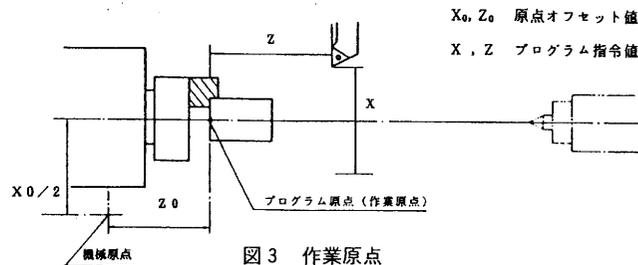


図3 作業原点

Z軸の原点設定は、基準バイトにより図4のX軸のように加工物の端面を1回削り、長さを測ってその測定値を入力して原点設定が完了します。

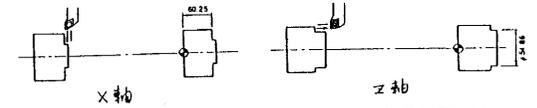


図4 X・Z軸の工具オフセットの設定

(3) 工具データ設定(工具オフセット)

工具オフセットとは、加工に必要な工具をタレットに取付けたとき、それぞれの工具の長さの違いを、原点設定に使ったバイトを基準(0)として工具データ設定に入力する作業です。

X軸、Z軸の工具オフセットの設定を図4に示す。

(4) ユーザーパラメーター設定

加工するワークが変わるごとに必ず設定するパラメータで、チャックやセンターに衝突しないで加工できる最大可変位置をセットする作業でバリエーションをはるとも云う。図5にX軸の最大可変位置を示す。

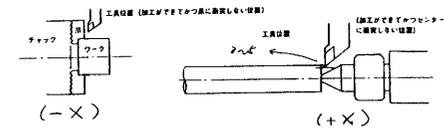


図5 ユーザーパラメータ設定

以上で機械側の準備を終了し、プログラムの作成に入りますが、今回導入したNC制御装置には最近の労働環境情勢に即応したインテリジェント化技術が盛り込まれている。

労働環境の中でも今後特に深刻化して行くであろう工場現場の作業員不足に対応する生産システムの自動化を進めるためには、人間の代役をするためのインテリジェンスを持った制御システムが必要となってくる。

(5) プログラミング

図6は人工知能(AI)を応用し、旋削工程の工程設計システムAPP(Aotomatic Process Planning)が行えるCNCシステムの対話型NCプログラミング手順を示したもので、これが『らくらく対話キット』である。

現在、コンピュータ支援設計(CAD)システムにより設計製図の作業は非常に高能率化されている。しかしここで作成された図面は、完成部品形状を示したものであり、精密寸法加工のための加工代をもった素材からNC加工を行うための情報は与えられない。

そこで、切削技術の心得のある機械のオペレーターが、CADから出力された完成部品図から加工形状を分析し、加工領域、加工工程、加工順序を決定し、その加工順序に従って、対話形式のCNC装置に入力しなければならなかった。この作業が工程設計であり、これを自動化しない限りCADとCAMのリンクは果たされない。

図6に示したAI応用のAPPシステムを備

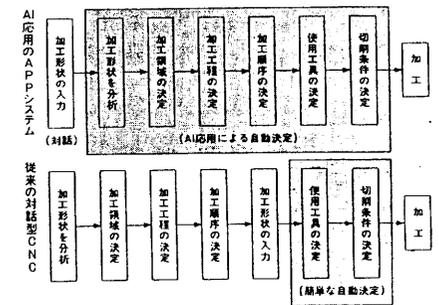


図6 人工知能(AI)応用の施削工程の自動設定(APPシステム)

4. 精密平面研削盤における研削加工

4-1. 加工品

- 一般構造用圧延鋼板 (SS41)
 - 500×280×16 (A×B×T)
- ステンレス鋼鋼板 (SUS304)
 - 300×200×20 (A×B×T)

プラズマ溶射セラミック皮膜鋼材 (母材 SUS304 鋼板にチタニアおよびクロミアを約600 μm溶射) について研削加工を行った。

4-2. 作業の流れ

研削に使用した砥石については2項でも述べたように、アルミナ系PA砥粒砥石とダイヤモンドホイールであるが、ここでは今回初めて使用したダイヤモンドホイールによる研削加工について述べる。

加工品については、ステンレス鋼板を表裏両面研削を行い片面にチタニアおよびクロミアをそれぞれ約600 μm溶射した物を用いた。

機械加工において高能率で高精度な加工を行う場合刃物の選択、つまりいかに刃物を上手に作るかが重要な技術であるが、研削の場合には作業の目的に合わせて砥石の切れ刃をいかにうまく調整するかが問題となる。

ダイヤモンドホイールやCBN砥石 (これらを超砥粒ホイールと呼ぶ) を用いて研削作業を上手に行うためには、これら砥石の切れ刃の調整が重要となる。この作業がツルイニングおよびドレッシングと呼ばれる。

(1) ツルイニング

研削作業において、超砥粒ホイールを交換した時、ホイールの外周面や側面に振れを生じるのが普通であり、この振れを除去する「振れ直し」が必要となる。ホイールの外周面や側面に振れがあると、その一部の作動面によって加工物が断続的に研削されるため、研削面にうねりが生じたり、セラミックスの場合はクラックやチッピングが発生しやすく、ホイールの摩耗量も著しく多くなる。

また、研削中にホイールに摩耗が生じ、摩耗量に部分的な差がある場合には、再び振れが生じるようになる。この様にホイール作動面の部分的な摩耗によって、ホイール外周面の真円性が失われると、研削面にうねりや研削焼け、割れなどが発生するようになる。このためホイールの真円性を回復する「形直し」が必要となる。このような超砥粒ホイールの振れ直しや形直し作業を「ツルイニング」と呼ばれる。

(2) ドレッシング

通常の研削砥石の場合、ほぼ50%の気孔を含んでいるので、これらが切屑を排出する隙間を作っているが、超砥粒ホイールの場合には、ほとんど気孔を含まないので強制的に隙間を作ることが重要となる。

研削をはじめの前や研削過程で摩耗した切れ刃の形状を正常な形に整えたり、隙間につまった切屑を取り除いたり、砥粒を保持する結合剤を削り取り、砥粒の突き出し高さを調整し、適度な隙間を作る調整作業を「ドレッシング」と呼ばれる。

(3) ツルイニング・ドレッシングの方法

数多い方法がある中で、当所が導入したブレンツルアは駆動形砥石研削法で、モーターで駆動されたC系砥石あるいはA系砥石を超砥粒ホイールで研削することにより、ツルイニング・ドレッシングを行うもので、剛性が高い立形である。図13にブレンツルアを、表2にブレンツルアの仕様、表3にツルイニングとドレッシングで使われる工具を示す。

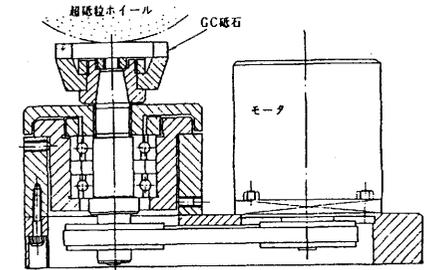


図13 ブレンツルア

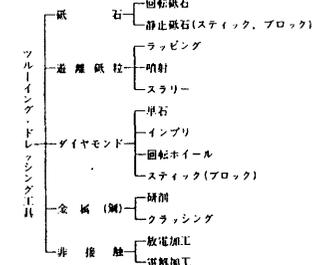


表3 ツルイニングとドレッシングで使われる工具

仕様及項目	内容		
品名	ブレンツルア		
型式	RS-50		
モーター			
定格出力	5.0W (3000rpm, 1.7kg/cmの時)		
定格回転数	3000 rpm		
定格トルク	1.7 kg/cm		
瞬間最大トルク	2.5 kg/cm		
絶縁等級	E種 (モーター巻線)		
時間定格	連続		
使用周囲温度	0~40℃		
電圧	単相100V ± 10% (50/60Hz) 3A以上		
速度制御範囲	300~3000 rpm		
速度制御範囲	-3% (3000rpm, 1.7kg/cmの時)		
対電圧	±2% (AC100V ± 10%)		
対温度	±2% (0~40℃)		
保護機能	1. 7kg/cm を越える負荷が、約5秒間加わるとアラーム機能が発します。 モーター電流OFF/コントロールユニット加熱保護、過熱保護/アラームLED点灯		
絶縁抵抗	ケース・電流入力 (コイル) 間をDC500Vメガーにて測定した値が100MΩ以上		
カップ砥石	寸法	外径×内径×長さ 90×70×30	備考
	ボンド	ビトリファイド	レジン、メタル等は保持できず、ダイヤモンドも可
	砥粒	GC	
	粒度	＃150 (他の粒度も取り揃えてあります)	
結合剤	結合剤	()	
	埋中剤	レジンボンドダイヤモンドの場合 2.5	
	外形寸法	本体 307x120x94 ユニット 170x215x65	
重量	本体 5kg ユニット 2.5kg		

表2 ブレンツルアの仕様

(4) ツルイニング・ドレッシング条件

ブレンツルアを用いたツルイニング、ドレッシングについては、まったくはじめての作業であることから、研削盤メーカーの指導を受け表4の条件で実施した。

ツルイニングとドレッシングでは、それぞれの砥石回転数とカップ砥石の回転数が逆に設定され、使用するカップ砥石の粒度はツルイニングにおいて超砥粒ホイールの粒度より粗めを使い、ドレッシングにおいては超砥粒ホイールと同粒度のカップ砥石が一般的に使用されるようである。

① ツルイニング条件	
砥石回転数	700~900 rpm
ツルイニング	
カップ砥石	1. 420 rpm (ボリュウム50) *ダイヤモンドホイールの外周面にマジックを塗る。 *塗布したマジックが取れるまで、(1600--->4500, 400)
カップ砥石の数量	ダイヤモンドホイールの粒度より粗目を
切込み	最少切込みを使用 2~3 μm
ターラント	少なく (カマの磨き方の要無)
② ドレッシング条件	
砥石回転数	1. 200~1. 300 rpm (逆方向回転)
カップ	500~600 rpm
*此条件には2割1度	
ダイヤモンドホイール回転数 (＃140)	1. 200 rpm
カップ砥石回転数 (＃150)	60 rpm
テーブル左右送り	3/4
切込み	3 μm
送り速度	1.5 μm
メーティングアウト	3割

表4 ツルイニング・ドレッシング条件

4-3、研削加工

本機における研削モードとサイクル研削パターンはモードで「手動」と「自動」の選択を行い、研削パターンでは「手動」モードで①ブランジ、②トラバース（ステップ）、③トラバース（ジグザク）、④ドレスの設定がスイッチの切替えて行うことができます。「自動」モードでは①ブランジ、②トラバース（ステップ）、③ブランジ+トラバース、④トラバース（ジグザク）の設定ができます。

自動運転モードでは、すべての設定データに従って運転されますので、設定データの間違ひのないことを確認することは当然ですが、設定デジタルスイッチの設定値の内容が理解できていないと暴走と云う大失敗につながる危険性があり、細心の注意力が必要となる。自動運転モードの動作フローチャートおよび手動運転モードの動作フローチャートを図14に、自動研削サイクルのシステム図を図15に示し、図16に研削加工パターンを示す。

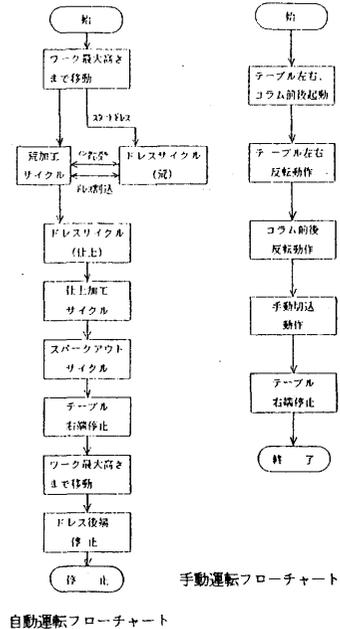


図14 自動運転フローチャート
手動運転フローチャート

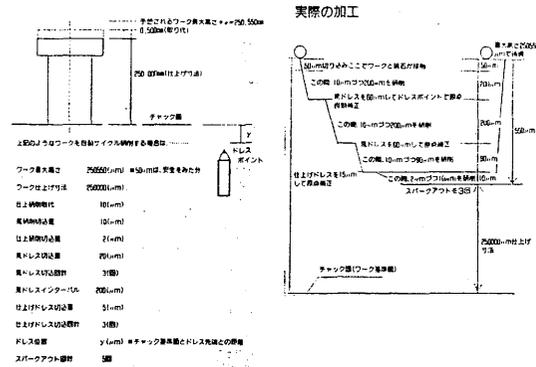


図15 自動研削サイクルシステム

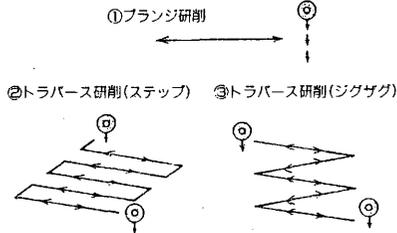


図16 研削加工パターン

4-4、研削結果

(1) 一般延焼鋼材の研削

アルミナ系PA砥粒砥石H A 4 5 4 Hを用いて、自動サイクル研削を行った結果と研削条件の概要は図17のとおりですが、荒ドレスが中間2回入り、1ドレスの切込みが10 μ m/回で4回ドレス研削を行ってドレスサイクルが終了となります。このサイクルを全研削代の中で2回行い、仕上げドレスを1回実施するドレスパターンを設定しております。このドレスサイクルを図22に示しております。

切込み量等、研削条件的に甘い設定値のデータをのせてありますが、作業の効率化から切込み量を30 μ mまで上げて研削を実施、今後は切込み量と表面あらさの関係等高能率、高精度研削データの収集を進めなければならないと考えております。現状での研削面の表面あらさについては、十分に満足できるデータだと思っておりますが、研削面に直交する面の表面アラサが若干悪いと考えられるため、ジグザグ研削での砥石前後送り量とドレス条件の関係など収集すべきデータは山ほどある。

また、両面研削を行った場合の平行度についても若干データ取りは行っておりますが、一面研削から表裏の両面研削と平行度は上昇しており、図18の(1)は一面研削の平行度(2)は両面研削した場合の平行度で65mm間で1.55 μ mと3 μ m程、平行度が

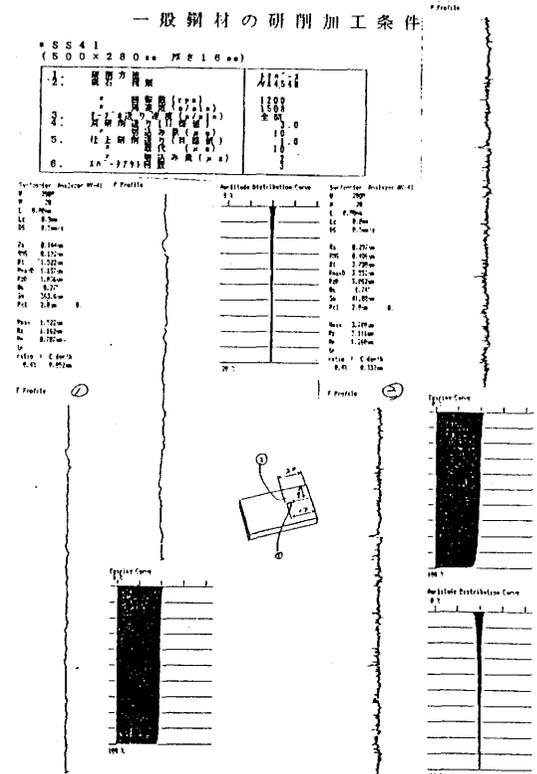


図17 SS41研削結果

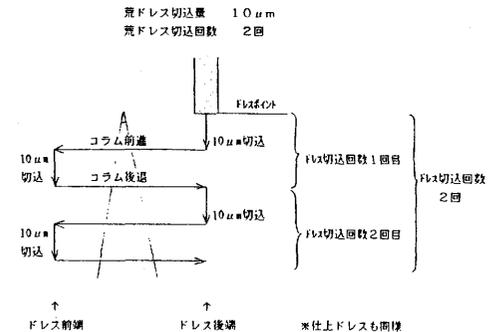


図22 自動サイクルドレス加工図

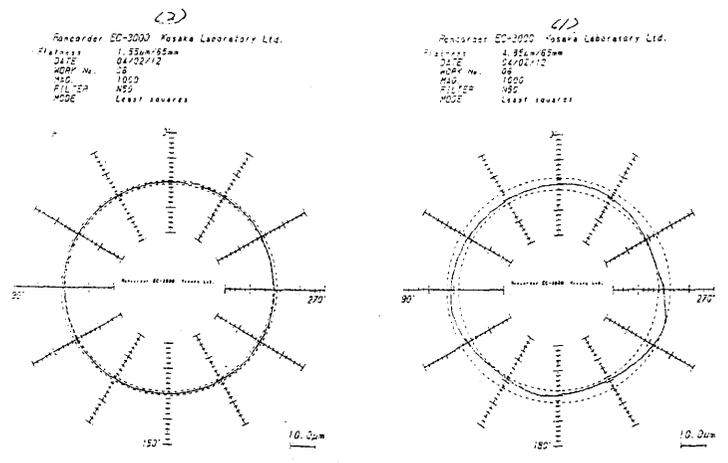


図18 研削後の平行度

アップしていることがわかる。通常は3面合わせと云って再度、最初の一面を研削することで平行度、平面度および表面あらさを向上させる研削法が行われている。

(2) ステンレス鋼板の研削

SUS304を一般鋼材と同一の砥石で研削を行っておりますので、条件的にはさらに甘く設定しております。

表面あらさの測定データでは粗く、荒れた面の性状が結果として明らかです。やはり難削材でしょうか。

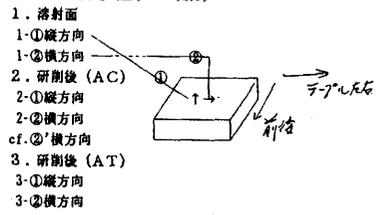
材質にマッチした砥石の選定、研削条件等さらにはドレッシング技術が一番重要ではないかと考えられる。

(3) セラミックスの研削

図20に示した研削条件の中でもツルニング時の切込み回数とクラーントの量およびそのかけるタイミング等、熟練を要する作業である。

また、この場合も自動研削モードでジグザグ研削を行っておりますが、操作上、ダイヤモンドホイールの場合、自動ドレスができないため、設定データの設定とその手順になれないと間違いを起

*セラミックス溶射面の平面研削盤による研削結果
表面粗さの測定(全データ出力)



1. 研削方法	トラン-X
2. 砥石 種類	SDC(ﾀﾞｲﾔﾓﾝﾄﾞ)
" 回転数 (rpm)	#320、結合剤B5
" 周速度 (m/min)	1200
3. ﾉｰﾌﾞﾙ送り速度 (m/min)	1508
4. 荒研削送り(目盛値)	全開
" 切込み量(μm)	4.0
" 切込み量(μm)	5
5. 仕上研削送り(目盛値)	2.0
" 取込(μm)	3
" 切込み量(μm)	1
6. ﾏﾝｸﾞ外回数	4
7. ﾀﾞｲﾔﾓﾝﾄﾞ 砥石 種類	WA 粒度#320 G
" ﾉｰﾌﾞﾙ目盛	40
" 切込み量(μm)	1
" 回数	4
" 研削砥石の回転数 (rpm)	1200

図20 セラミックスの研削条件

こす危険率が高い。要するに図22で示した自動ドレスサイクルでテーブル上面からの上下位置設定のところを手動で実行、位置設定を行ってドレスサイクルを飛ばしてしまう作業である。

図21の表面あらさデータからも一般鋼材やステンレス鋼とは違った、超砥粒ホイールの特徴を明確に表していることがわかる。

つまり、研削の方向に影響されていないことで、いずれのデータもRaに大きな差が生じていない。

このことはバブルの舟体シート面等の研削あるいは切削の方向性が問われる箇所へは有効な手段となる。

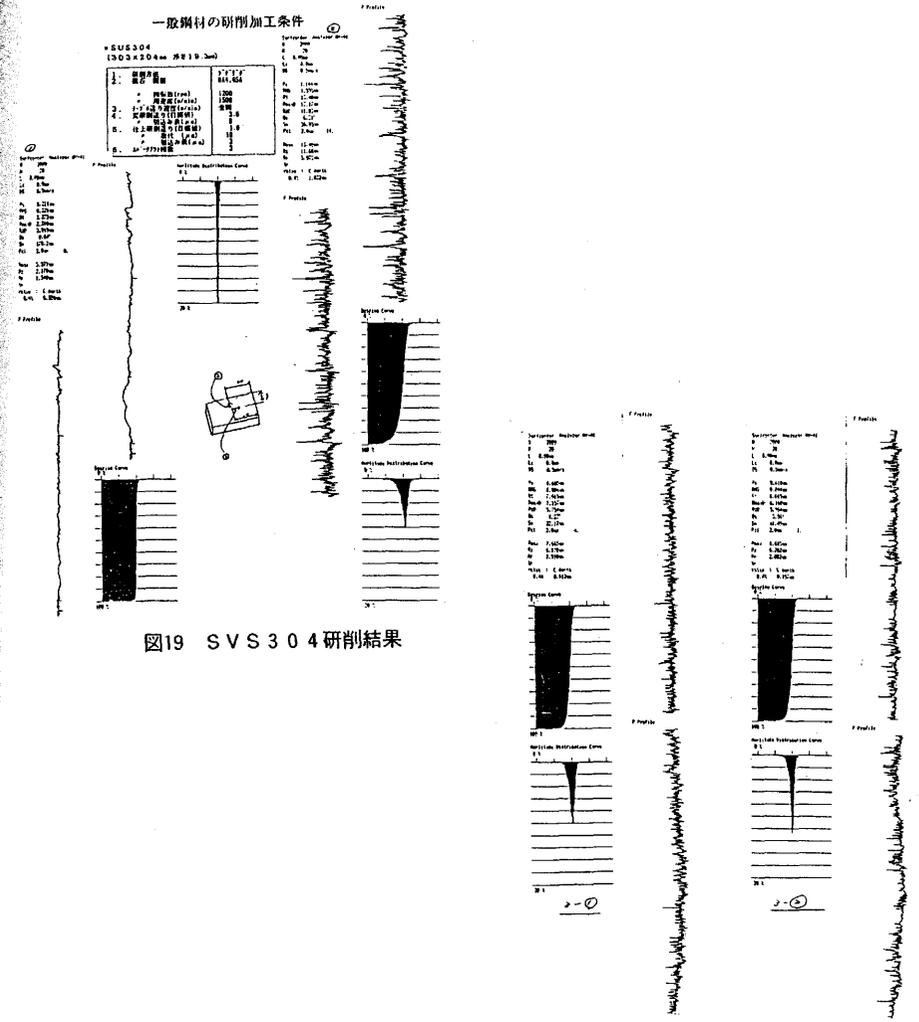


図19 SVS304研削結果

図21 セラミックスの研削結果

5. まとめ

今年度の新規導入加工設備の操作法の習得と各設備での試削および研削を実施した範囲での問題点や今後の課題をまとめてみると。

- ① いずれの設備にしても、十分な使い込みを行って、加工データの収集（データベースとして必要な切削および研削条件）をできるだけ数多く蓄えてゆかなければならない。
- ② 設備のもつ機能をフルに生かして、高能率、高精度加工の実施とデータ収集。
- ③ AI応用のらくらく対話を用いたNCプログラムの作成とプログラミング技術の指導。
- ④ らくらく対話で作成されたNCプログラムの他メーカーNC機への融通性について、検討と確認。
- ⑤ 超砥粒ホイールによるセラミックスの研削実験を行い、ツルーイングやドレッシング条件および研削条件の把握とデータ収集の実施。
- ⑥ 超砥粒ホイール研削において、研削の方向性がどんな条件でも影響されないのか確認実験が必要。
- ⑦ CAD/CAMシステムによる旋削プログラムの作成とCNC旋盤へのデータ通信実験。

参考文献

- (1) 海野邦昭：CBN、ダイヤモンドホイールの使い方、(株)工業調査会、1991、12
- (2) オークマ(株)サービスセンター：OSP5020L取扱説明書、1991、4

自動制御弁の開発研究

「既存弁による駆動特性の把握と制御ソフトの基本設計」

指導係長 樋口 英司
試験研究係長 松川 進
主任技師 酒井 一昭

1. 目的

各産業界におけるコンピュータ化への流れは、バルブ業界においても配管系の高度化となって波及してきている。流体の多様化と各種環境下での応用面においては、バルブ単体製品から配管システムの一部として扱うことの認識が不可欠な要素になってきており、コントロールできるバルブの重要性は増す傾向にある。

一方、彦根バルブ産地の製品で、水道用弁は公共水道用に多く使われるが、近年の都市開発によって、山上あるいは地下の配管が多く見られるようになり、水道水の送水圧力も大きな差を生じるに至っている。また、一日に使用される水量は時間帯によって異なり、流量や送水圧力の変動が著しい。流量（圧力）を常に一定に保ち、かつ能率的、効果的な水供給に自動弁の役割は大きいと言える。また産業用、船用弁についても、高層ビルや船舶のインテリジェント化、高級化など、一層精度の高い流量調節が重要になってきている。このほか、電力や化学プラント関係では多方面にわたる省力化はもとより、使用する流体の多様化、流体流量の高精密化が進行し、自動化バルブの必要性は高まっている。そこで、昨年度に産地の活性化と技術者の養成、つまり、技術開発力を高めて優れた流体制御システム機器として、センサ・エレクトロニクスも含めた総合技術による付加価値の高いバルブ開発に取り組むことの重要性から、バルブの自動化に関するユーザー・ニーズの調査把握、そして制御に関する技術調査を実施した。結果を要約すれば、自動制御弁の市場は広く、その使用範囲はあらゆる業界にわたっていること。製品の製造プロセスにおける装置の一要素になっていること。また、ユーザー仕様が多種多様であって、製品の種類が極めて多く、さらに営業活動が非常に困難で、セールスエンジニアリングの役割が重要になっていることなどが明らかにされた。

特に、自動化バルブの開発上のポイントを検討したが、メーカー間の相互協力が重要であり、技術力をアップすれば、中小企業のメリットを生かした付加価値化製品の開発は十分可能であると考えられる。しかし、中小企業単独では種々の問題が懸念され、制御関連メーカー等とタイアップして、セールスエンジニアリング的要件は部分的に担ってもらうことが得策であり、体系的なメンテの困難は避けた方がよい。このように、計装関連メーカーに適度に負担してもらうことがこの種の弁開発には近道と言えそうである。以上により、高度な製品スペックに対しても克服できるのではないかと考えられる。

既に、制御用バルブの弁本体部と駆動部の構造などの実態調査は終えているので、今年度はコンピュータ搭載型の自動制御弁開発に際して、まず弁本体部における流体特性を把握するため、既存調節弁による実流性能試験を実施して、制御ソフト開発時に必要となる基礎データを収集したので報告する。

2. 調節弁の仕様決定について

過去の調査では調節弁の構造を把握していたが、その際に「彦根型自動制御弁」というものについて、次のような制御対象機種を設定していた。

- ①弁の種類 —— 玉形弁 ②口径 —— $\phi 100$ 前後
- ③材質 —— FCD (流体が水で低圧なら、特に材質的な問題はない)
- ④制御因子 —— 流量 (圧力) ⑤制御方式 —— 空圧式

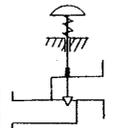
そこで、これらの条件を参考にし、図1のような仕様を決定した。まず、弁本体部の構造は調節弁で最も代表的であり、小口径の場合や差圧が余り大きくない時、あるいは閉時の漏れをできるだけ小さくしたい場合によく用いられる単座弁にした。調節弁の弁全体としての動作は、駆動部の動作と本体部の動作との組合せで決定されるが、駆動部と本体部にはそれぞれ正・逆の動作があるため、弁全体としての動作はこれらとも単純な正動作が可能ないようにした。駆動部は、信号量の増加に従って駆動部が突出するものが正、そして本体部の場合は、外部から弁棒を引けば弁体が開くものが正である。結局、弁全体は信号量の増加するに従い弁体が閉まるもの (正動作) にした。

次に、流体特性と制御機構の関連性において、調節弁を設計する際には、プロセス条件から容量係数 (Cv値) を算出し、最適口径を決定する。そして、最適な弁形状 (種別) を選択しているようである。そこで、予め口径は試験するのに適当なサイズとして $\phi 50$ に決めた。

また、弁開度と流量の関係は流量特性といわれるが、一般的には固有特性と有効特性に区別され、制御性との係わりでは、リフトと流量との関係におけるイコールパーセント特性、リニア特性、クイックオープニング特性が示されている。配管系に関係したリニアシステム特性なども知られている。ここでは、より実用的と考えられるイコールパーセント特性が大半を占めていたため、この弁種を対象にした。

アクチュエータによる弁棒の駆動とポジションナの役割、調整機能という点では、調節弁の弁軸を動かすのがアクチュエータであり、全体的に、空気圧式のもの機種・仕様面で充実している。また、防爆性に優れ、供給圧も $1.2\sim 4.0\text{kgf/cm}^2$ といった小さな値であるため、市販のコンプレッサーで容易に対応できる。しかし、空気圧式もさらにロータリー、リニアの2タイプがあって、アクチュエータについてもシリンダーとダイヤフラム、そして作動方法によって単動と複動がある。これらもよりシンプルなものにした。

特に、調節弁に欠かせない付属品がポジションナである。アクチュエータと組み合わせると弁の制御性が向上し、与えた信号に対応した任意の弁開度に行うことができる一種の変換器である。アクチュエータに必要な操作量を伝え、電一電式ポジションナといったものもある。調査した限りでは殆ど空一空あるいは電一空であったので、リニアリテイ、ヒステリシスといった点で電一空タイプの

弁本体部の構造		駆動部の動作
		
作用エネルギー	空気圧式	
作用機構	ダイヤフラム型	
ポジションナの種別	電一電式	
ポジションナの入力信号	4~20 mA DC	
フェイリアポジション	調節弁開	
口径	50A	
規格	JIS 10K	
供給空気圧	2.8 kgf/cm ²	
適用流体	水	
適用	弁全体	弁本体
正作用	+	+
逆作用		+

*備考; + → 正作用

図1 調節弁の基本仕様

方が幾分優れていそうなことから、プログラム開発を考慮して、電一空式ポジションナにした。この他、弁開度の認識方法としてリミットスイッチがある。コントロールバルブの全開または全閉位置を遠隔位置に伝達したり、プラントの安全位置やインターロックとして、さらには電磁弁の起動・停止、そしてシーケンス制御の採用等に使用される。バルブの開・閉を遠隔表示したり、シーケンスのインターロックに使いたい時は、バルブのストロークの位置を示すリミットスイッチが必要になるので、これも付属させることにした。

3. 試験方法

3.1 試験装置

試験にはバルブ性能試験装置を使用した。これは設置以来、研究・指導に大いに利用されているものであり、指導所の業務報告書等においても度々紹介されている。そこで、ここでは参考にできる程度として、おもな仕様を示すにとどめた。

○主な仕様

- ・試験配管長さ 17.8m
- ・水槽の有効容量 8 m³
- ・最大流量 約7 m³
- ・最大流速 3.2m/sec (配管径200Aの場合)
- ・最大圧力 2.2kgf/cm²
- ・計測用マイコン YEWMAC-50V3

3.2 供試弁

対象機種の調節弁は最も一般的な制御用バルブである。図2に、その構造と弁に付属しているポジションナの動作原理を示した。この実験では、図中の弁本体部の流体特性とポジションナに信号を与えた時の弁軸の移動量、およびポジションナによって電気信号が空気信号に変換されてからアクチュエータに伝達される時の空気圧の変動が調べられるように、圧力センサと変位センサを取り付けた。

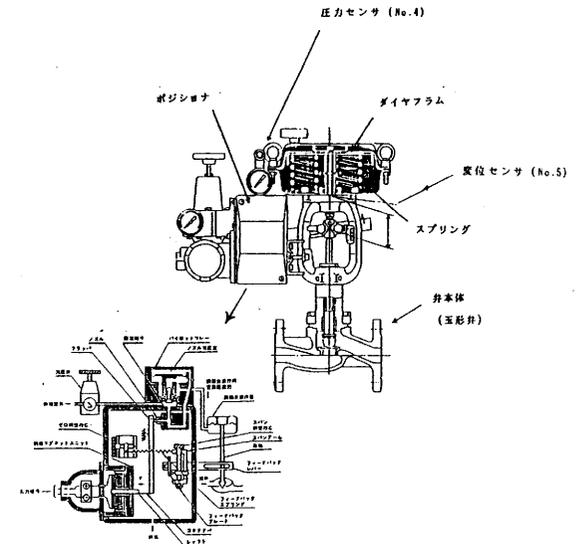


図2 供試弁の構造とポジションナの動作原理

3. 3 通常の性能試験によるデータ収集

JIS B 2005に規定されている「バルブの容量係数の試験方法」に従った弁本体部の性能試験を実施するため、まず既存弁を図3のように取り付けた。手動操作で通常の実流試験が実施できるように供試弁に適した配管にした。弁のすぐ上・下流側には1mの透明管を、また上流側には10Kφ50用の3mの接続用鑄鉄管1つを接続した。容量係数の測定では、まず試験する所定の開度にするため、ポジションには所定の信号を与えておく。全開位置から1/10毎(0~24mADCで各2.4mA毎)にポジションの信号を増加させ、それぞれの信号(設定開度)に対応したデータを収集する。結局、各開度において、試験時の全開時および中間開度でのレイノルズ数は $4 \times 10^4 \sim 1 \times 10^6$ の値になるように差圧を設定し、また差圧の値は規定に従って、74kPaから順次減じつつ、各設定差圧での流量を測定した。

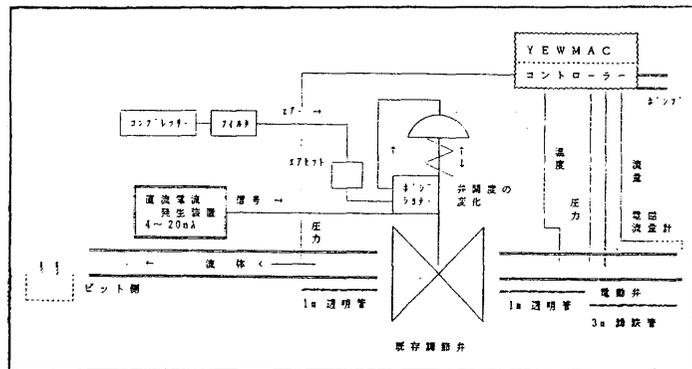


図3 通常の実流実験

なお、圧力センサの調整は静水時の状態とコンピュータCRT上の監視データと一致するように次のように補正した。

①零点補正の手順

ア.まず、画面の監視データで上・下流の圧力センサの出力状態を確認。

(この時、センサの出力値をメモ) →例1

イ.流水状態で、配管内及び各圧力センサのエア抜きを十分行う。

ウ.流れを静止させる。

エ.再び監視データで上・下流の圧力センサの出力値をチェックする。

(出力値はメモ) →例2

ここで、先のメモしたデータとの差を入力し直すことにより補正を施す。

cf上流の圧力センサ1の場合、

$-0.71 - 0.85 = -1.56$ となるから、数値を改めて入力する。

例1

上流	圧力センサ1	-0.71
	〃 2	-7.88
下流	圧力センサ1	-4.00
	〃 2	-3.85

例2

上流	圧力センサ1	0.85
	〃 2	6.47
下流	圧力センサ1	2.59
	〃 2	2.29

②確認

全て再入力を終えたら、再度、監視データに戻して、データが"0.00"となっていることを確認。

又、弁軸の位置は、アクチュエータへの供給空気圧を 2.8 kgf/cm^2 に設定して、ポジションに単発的な信号を手動操作で与えて変化させることにより、この時の変化量をレーザ変位計で調べた。

これにより、信号と弁軸の移動量、すまわち、信号と弁開度の関係を把握した。

3. 4 アナライジングレコーダによるデータ収集

次に、アナライジングレコーダに圧力(上・下流)、流量、駆動弁の空気圧、弁軸の変位量の各センサを取り付け、実流試験に伴う各種駆動特性のデータを収集した。図4に実験図を、また各センサのレコーダへの取付箇所と出力特性の範囲を図5に示した。測点は6箇所である。出力が電流のものは 250Ω の計測用精密抵抗をつけて電圧に変換した。また測定したデータは後で解析できるようにフロッピーディスクに格納した。ポンプの電源周波数は60Hzまでは支障ないが、弁上流の圧力が 3 kgf/cm^2 に程度になってしまうので、安全を見込んで設定値は50Hz(1450rpm)迄とした。

結局、アナライジングレコーダでは次の2種類の実験を行った。

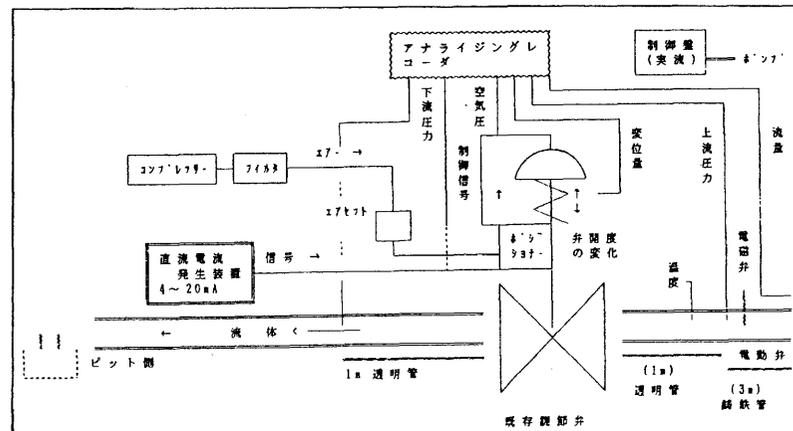


図4 アナライジングレコーダによる方法

①TEST 1: 中間開度で静水状態からポンプ出力を上昇させる試験

②TEST 2: 信号に対するポンプシヨナ部の空気圧及び弁軸変化の遅延時間を調べる実験

①では、弁を中間開度のままにしておき、上流側にあるポンプの出力状態を変化させた場合の各センサ出力の変化を調べるものである。また②は、無負荷時の弁単独での実験であり、弁はできるだけ絞った状態(ここでは、信号MAX19.2mA[開度:20%相当])から信号を除去した時の各種特性値の変化を測定するものである。

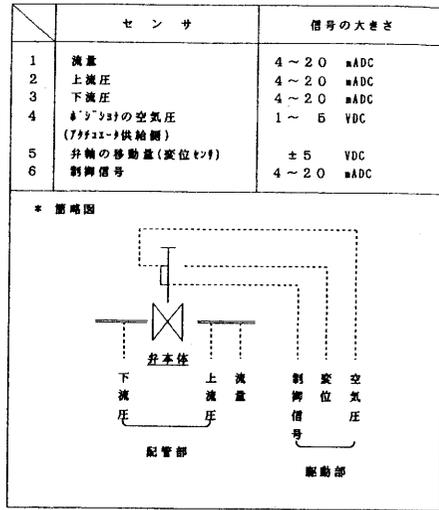


図5 アナライジングレコーダとの接続

4. 試験結果

4.1 制御信号と弁軸の位置との関係

表1に信号と弁軸の位置変化の測定結果を示した。弁軸の変化は開度制御の信号に対して、流水状態であっても静水状態と大差のない結果が得られ、流水状態においても的確な位置決めができることが分かった。また、図6の⑤から、全開から全閉の変位量は24.4mmであり、変位量については信号2.4mA(開度90%)から19.2mA(開度20%)の範囲でリニアであるが、これ以外の外側の領域では、

開度 (%)	制御信号 mA (DC)	流れの停止時	
		変位計の読み (mm)	変位計の読み (mm)
100	0.0	51.2	51.2
90	2.4	51.1	50.5
80	4.8	47.0	47.7
70	7.2	44.0	44.8
60	9.6	41.0	41.1
50	12.0	38.3	38.3
40	14.4	35.3	35.3
30	16.8	32.1	32.1
20	19.2	28.8	28.8
10	21.6
0	24.0	...	28.8

(備考: 77922への供給空気圧は2.8kgf/cm²)

表1 制御信号と弁軸の位置変化との関係

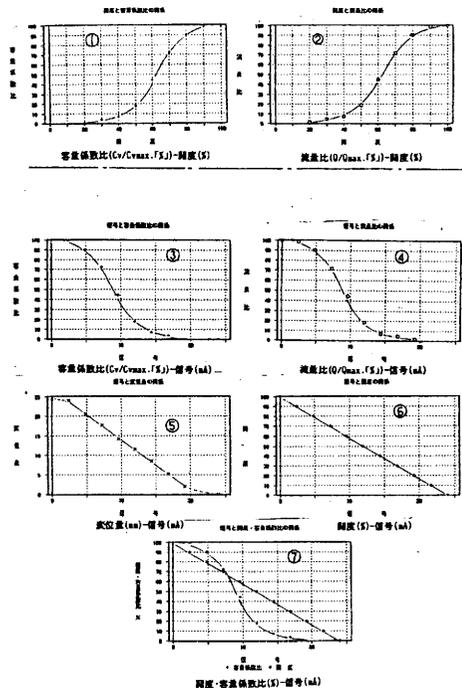


図6 信号に対する弁軸の変位量、開度及び流量比と容量係数比

変位量から単純に判断して、殆ど全開あるいは全閉状態の弁軸位置となっていることが分かる。ただし、⑥では信号に対して開度との関係が完全な比例関係となっていることから、全開から全閉の制御信号としては全領域使用できることが分かる。

4.2 弁本体部の流体特性

図6は信号に対する弁軸の変位量、開度及び流量比と容量係数比の関係を示した。なお、容量係数はすべてCv値で表し、次式に従った。

$$Cv = 1.167 Q \sqrt{\frac{G}{\Delta p}} \quad \dots \dots \dots (4.2.1)$$

ここに、Cv:容量係数 (m³)
 Q:流量 (m³/hr)
 Δp:差圧 (kgf/cm²)
 G:水の比重 (1)

また、損失係数については次の式で計算した。

$$\zeta = \frac{2g \cdot \Delta H}{v^2} \quad \dots \dots \dots (4.2.2)$$

ここに、ζ:損失係数
 g:重力加速度 (9.80665m/sec²)
 ΔH:差圧 (mH₂O)
 v:流速 (m/sec)

図7では各弁開度における差圧と流量の関係を、また図8に参考として、流速と流量の関係を示した。さらに、図9には損失係数とレイノルズ数の関係を示した。特に図7は、開度が小さいと差圧

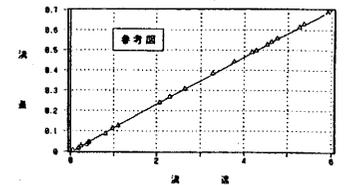


図8 流量 (m³/min) - 流速 (m/S)

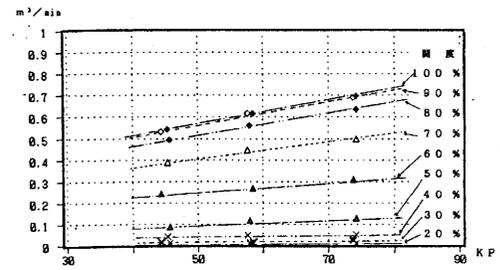


図7 流量 (m³/min) - 差圧 (KPa)

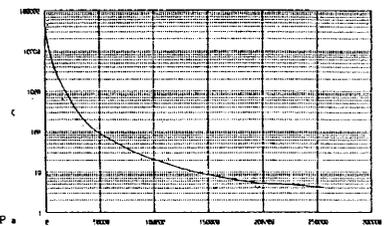


図9 損失係数 ζ - レイノルズ数 Re

を大きくしてもほとんど流量は得られないが、開度が大きいと設定差圧を大きくすれば、より大きな流量が期待できることを示している。

調節弁のカタログや技術資料などで良く見受けられるような開度（リフト）と流量の関係は図10で示した。図11のような参考図から、今回の実験がイコールパーセンテージ特性になっていることが理解できる。

図12は各測定差圧での損失係数とレイノルズ数の関係を両対数で表現したものであり、対数上では明確な直線関係となることが分かる。差圧の違いも明確である。これは、損失係数と開度の関係を示した図13においても容易に理解できる。即ち、開度が小さいほど損失係数が大きく、それだけ流速、つまりレイノルズ数も小さくなって、流れは非常に流れにくいものとなっている。

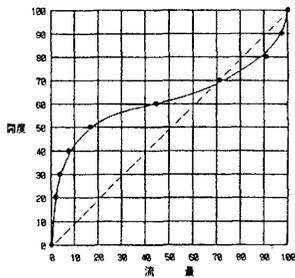


図10 開度と流量の関係

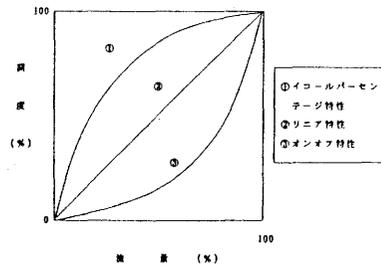


図11 調節弁の流量特性

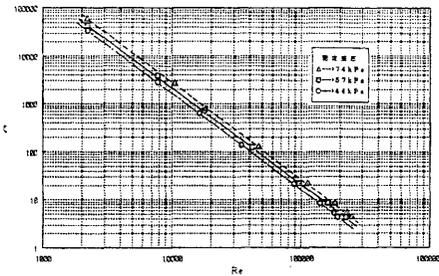


図12 損失係数5-レイノルズ数 Re

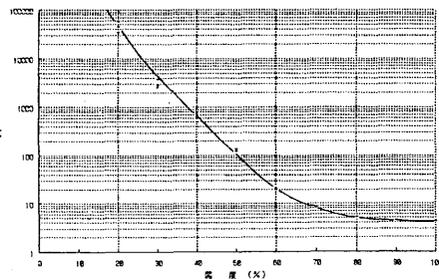


図13 損失係数5-開度 (%)

4. 3 各種センサの出力特性 (アナライジングレコーダによる測定)

弁軸位置を固定したままでポンプ出力を上昇させた時の出力特性 (TEST 1) を図14と図15に示した。各測定値は、通常の実流試験の場合と同様の関係が認められ、出力電圧は小さい。

図14は上流圧の変化に対する各センサの出力状態を、図15では時間経過に伴う各種センサの出力変化を示したものである。また図16では、ポンプ出力の増大に従ってポジション部の空気圧も上昇しているが、弁軸位置が変化していないことが分かる。図17のTEST 2は無負荷時の弁軸とポジション部の出力空気圧の関係である。この場合は、空気圧の増加に伴い弁軸位置が変化している。これら2図の比較から、如何にうまくポジションが与えられた信号に対して弁軸位置を維持させているかが理解できる。なお、各センサの出力範囲を把握するため、図の縦軸は電圧表示とした。"TEST 2"の信号に対するアクチュエータの出力状態については後述した。

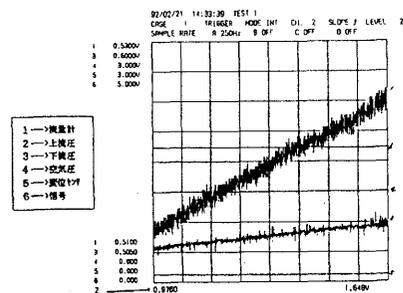


図14 上流圧の変化に対する各センサの出力状態 (TEST 1)

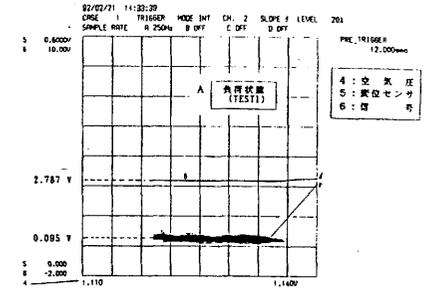


図16 弁軸位置とポジション部の出力空気圧の関係

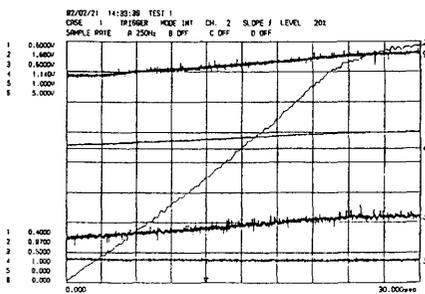


図15 時間経過に伴う各センサの出力変化 (TEST 1)

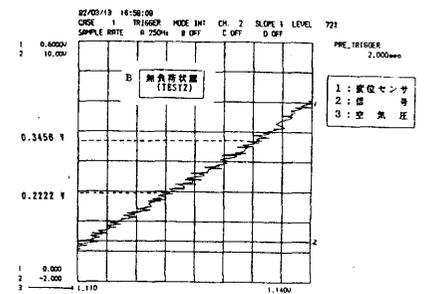


図17 弁軸位置とポジション部の出力空気圧の関係

5. 考 察

5.1 流量特性の推定

図18はバルブ性能試験で得られた特性について実験値と各推定値の比較を行ったものである。

図中のA曲線は、一般に知られているイコールパーセント特性の関係式に弁の開度値を代入することによって求められる流量(%)をプロットしたものである。計算は次式によった。

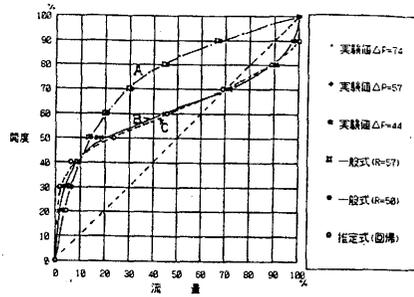


図18 イコールパーセント特性の推定式の比較

$$y = R^{x-1} \dots \dots \dots (5.1.1)$$

ここに、 y : 弁容量 (Cv/Cv_{MAX} %)
 X : 弁開度 (L/L_{MAX} %)
 R : 固有レンジアビリティ

固有特性は弁前後の圧力降下一定状態で流した時の特性であるから、上式で示した弁容量は4項の(4.2.1)式から分かるようにQ/Q_{MAX}と置き換えても同じになる。また、固有レンジアビリティについてはR=Cv_{MAX}/Cv_{MIN}の関係より、本実験ではR=57となるが、一般的R=50の場合も示した。

なお、B曲線は実験値を表したものである。C曲線については、実験データのうちで差圧と開度の関係として作成した表2の流量データを回帰分析した結果である。分析結果は次式で示されるが、ここで扱ったデータの変数が複数個(開度と差圧の2つ)あるため、通常の単純な回帰分析では推定が不十分と考えられる。そこで、直交多項式を用いた回帰分析を行った。

(単位: m³/min)

開度 %	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈	M ₉	M ₁₀
2.0	0.01	0.02	0.04	0.08	0.16	0.32	0.64	1.28	2.56	5.12
3.0	0.01	0.02	0.04	0.08	0.16	0.32	0.64	1.28	2.56	5.12
4.0	0.01	0.02	0.04	0.08	0.16	0.32	0.64	1.28	2.56	5.12
5.0	0.01	0.02	0.04	0.08	0.16	0.32	0.64	1.28	2.56	5.12
6.0	0.01	0.02	0.04	0.08	0.16	0.32	0.64	1.28	2.56	5.12
7.0	0.01	0.02	0.04	0.08	0.16	0.32	0.64	1.28	2.56	5.12
8.0	0.01	0.02	0.04	0.08	0.16	0.32	0.64	1.28	2.56	5.12
9.0	0.01	0.02	0.04	0.08	0.16	0.32	0.64	1.28	2.56	5.12
10.0	0.01	0.02	0.04	0.08	0.16	0.32	0.64	1.28	2.56	5.12

表2 調節弁の各設定差圧における流量データ

【回帰式】

$$Y = +0.30037 + 0.05431 * F[P;1] + 0.71880 * F[M;1] + 0.12705 * F[M;1] * F[P;1] + 0.04261 * F[M;2] + 0.00472 * F[M;2] * F[P;1] - 0.16859 * F[M;3] - 0.02802 * F[M;3] * F[P;1] \dots \dots \dots (5.1.2)$$

ただし、

$$\begin{cases} F[M;1] = -0.77460 + 0.01291 * M \\ F[M;2] = +1.67142 - 0.06838 * M + 0.0005698 * M^2 \\ F[M;3] = -3.84563 + 0.25479 * M - 0.0047673 * M^2 + 0.000026485 * M^3 \end{cases}$$

$$F[P;1] = -2.74175 + 0.04700 * P$$

y : 流量 (m³/min)
 M : 弁開度 (%)
 P : 差圧 (kPa、図中ではP=57kPa)

[注: 式中の"*"と"^"印は各乗算及びべき乗の指数を表す。]

以上から、曲線の推定には、一般式でなく実験で得た固有流量特性が必要であり、推定値には実験値を分析して得られる当てはめ曲線を使用した方が良く考えられる。このような当てはめ曲線を利用することによって、流量の推定値はかなりのところまで近似させることが可能になる。

5.2 アクチュエータの信号に対する遅延時間

図19、20はTEST2の実験結果である。図20からポジションへの信号が変化してから488 msec後に空気圧が変化し始め、この後、さらに116msecを経過して弁軸の変位が変化することが分かる。即ち、信号の変化に対して、弁軸変化はかなり緩慢である。トリガの与え方は表3に示した。このことから、信号の入力あるいは出力には十分このことを配慮する必要がある。ただし、弁軸変化に対する弁本体部の流体特性は良く追従しており、弁のみの制御を考えた場合には信号を与えるタイミングが重要になる。なお、今回の試験は単純かつ単発的な信号であるため、各種の信号の与えて、出力状態の違いを十分調べる必要がある。

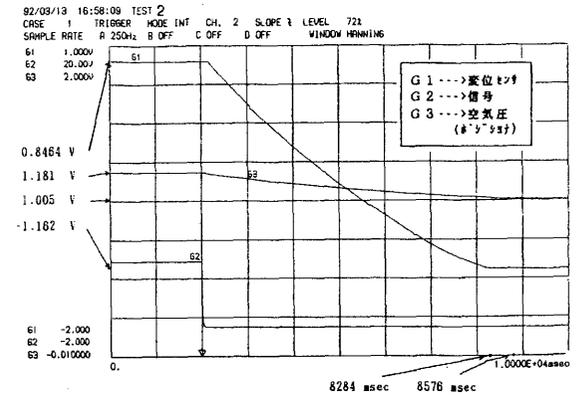


図19 弁駆動部の出力状態

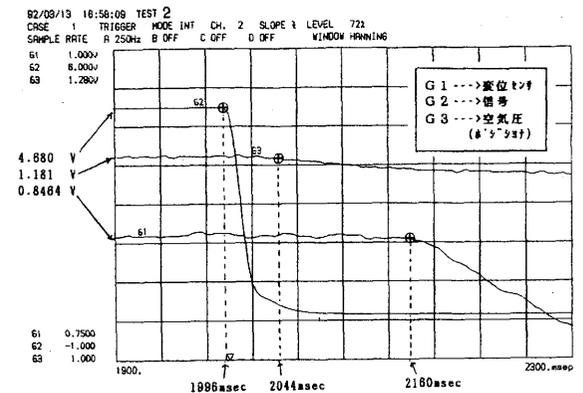


図20 アクチュエータの信号に対する遅延時間

TEST 1	TEST 2
*** TRIGGER SET MENU ***	*** TRIGGER SET MENU ***
1. TRIGGER : ON	1. TRIGGER : ON
2. PRE-TRIGGER COUNT : 3000 POINT	2. PRE-TRIGGER COUNT : 500 POINT
3. TRIGGER MODE : IMT	3. TRIGGER MODE : IMT
4. TRIGGER LEVEL : 20 %	4. TRIGGER LEVEL : 72 %
5. TRIGGER CHANNEL : 2 CH	5. TRIGGER CHANNEL : 2 CH
6. TRIGGER SLOPE : UP	6. TRIGGER SLOPE : DOWN
7. AVERAGING : OFF	
8. NO. OF AVERAGES : 2	

表3 アナライジングレコーダによる各試験でのトリガの与え方

6. まとめ

自動制御弁のプログラム開発に際し、まず一般的なアクチュエータ、ポジションといった付属品のついた調節弁において、弁本体部の流体特性を把握する実験を行い、既存弁上・下流の流体特性と弁の駆動特性との関係を調べた。その結果、制御ソフト開発時に必要となる基礎データを収集することができた。要約すると次のようになる。

1). 容量係数試験の結果について

ポジションに信号を与えて弁軸位置を変化させて実験したところ、実験時の弁軸位置は流れがある場合と静止した場合とでは大差がなく、流水中であっても空運転時と同様に位置決めできる。

2). 弁の固有流量特性について

実流実験によって弁固有の流量特性を把握でき、イコールパーセンテージ特性を得た。また、データを解析し曲線の当てはめを行うことにより、流量特性は推定式を利用できることが分った。

3). アナライジングレコーダによるデータ収集結果について

アナライジングレコーダに圧力（上・下流）、流量、駆動弁の空気圧、弁軸の変位置など各センサを取り付けて、実流試験で各種特性データを収集し、各種センサの出力状態を同時計測でき、時間領域での比較では弁軸変化と流量特性は良く追従している。しかし、信号に対して、ポジション部の空気圧、弁軸変化にはかなりの遅延時間が認められた。

なお、課題として、信号の与え方が単純だったので、もう少し詳しく信号の変化率と弁軸変位置の関係を探られるようにする必要がある。

(参考文献)

- 1) 竹中俊夫、椎木晃：調節弁の特性 (1)、バルブ技報、第1巻第2号、1986年7月
- 2) 椎木晃：アクチュエータ・インタフェースの動向と、標準化の状況、バルブ技報、第5巻第1号、1990年5月
- 3) 三浦徹郎：調節弁の化学工業における応用、バルブ技報、第5巻第1号、1990年5月
- 4) 本山のコントロールバルブ「エンジニアリングハンドブック」、(株)本山製作所
- 5) 「山武ハネウエルカタログおよび技術資料」、山武ハネウエル(株)
- 6) 伊勢雅男：調節弁の種類と選定、配管技術 '86. 増刊号
- 7) 松川・酒井：自動制御弁の開発研究「市場および制御技術に関する実態調査」、滋賀県立機械金属工業指導所業務報告書(平成2年度)