

# 業 務 報 告 書

平成2年度

滋賀県立機械金属工業指導所

彦根市岡町5番地

## まえがき

企業を取り巻く環境は年々きびしくなりつつあります。ますます強化される環境対策人手不足の問題、時短、週休制の問題、少ロット短納期など従来の諸要因に加えて、厳しい難題が山積しているのが実情であります。

しかしこのような環境変化は対応如何によっては新たな発展の可能性を秘めていることから適確に、しかも機敏な対応が必要であります。

それには、如何に経営者がリーダーシップを発揮し、21世紀をリードして行くかが問われている昨今であります。

指導所では、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致しております。

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。

ここにその研究の成果を取りまとめましたので、御高覧いただき、新しいバルブ開発のため、少しでもお役に立てば幸いに存する次第であります。

平成3年7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	13
2 設備使用件数および使用料	13
III 指導業務	
1 技術アドバイザー指導事業	14
2 一般巡回技術指導	14
3 簡易巡回技術指導	14
4 技術相談	15
5 調査	15
6 技術普及講習会	16
7 新技術技術者研修	16
8 出版刊行物	17
9 生産技術研究会	17
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	18
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)	68
3 自動制御弁の開発研究 (バルブの制御技術に関する実態調査)	85

## 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、ジグボーラ室、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

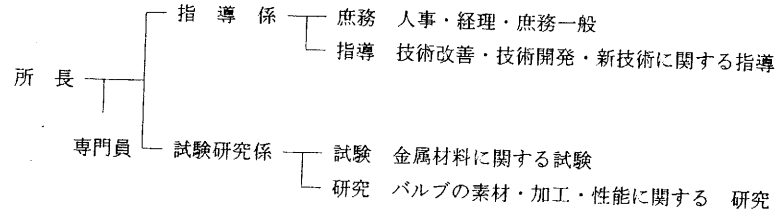
## 2. 規模

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3年4月1日現在）



### 3. 組織 (平成2年4月1日現在)



### 4. 職員

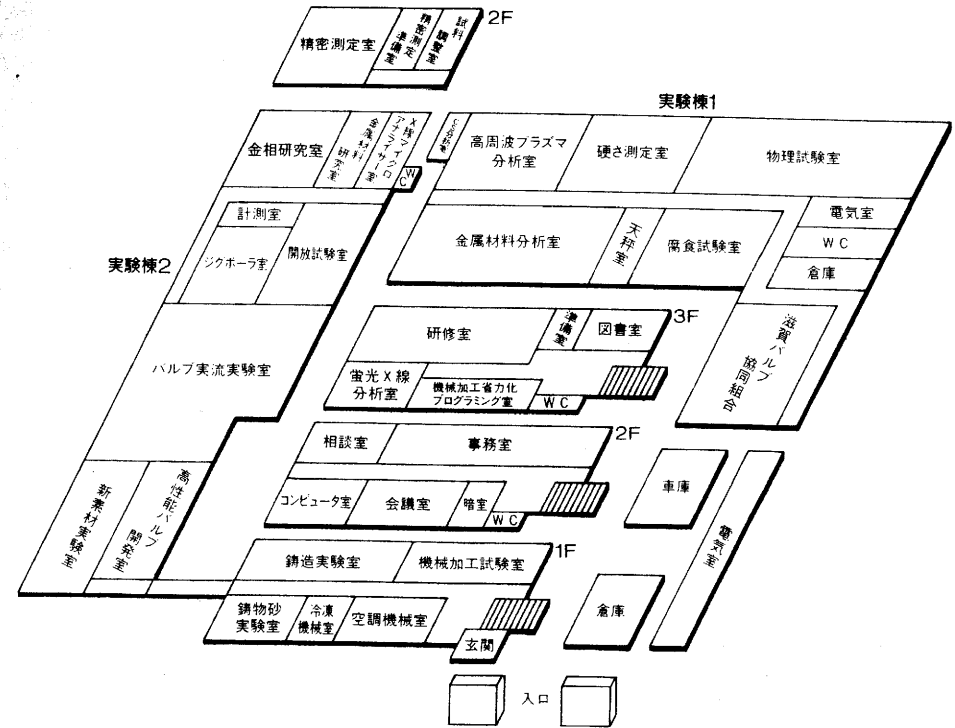
#### 4.1 職員構成 (平成2年4月1日現在)

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

#### 4.2 職員の異動 (平成3年4月1日)

新	旧
宮川栄一 主査	主任技師
西川哲郎 "	"

建物配置図



5. 予算および決算

(1) 平成2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 欠損額	収 入 未済額
款	項	目	節					
06	使用料及び 手数料			4,061,000	4,025,500	4,025,500	0	0
	01	使用料		894,000	924,300	924,300	0	0
		07	商工使用料	894,000	924,300	924,300	0	0
			05 機械金属 工業指導所	894,000	924,300	924,300	0	0
	02	手数料		3,167,000	3,101,200	3,101,200	0	0
		04	商工手数料	3,167,000	3,101,200	3,101,200	0	0
			05 機械金属 工業指導所 試験	3,167,000	3,101,200	3,101,200	0	0
08	財産収入			120,000	120,000	120,000	0	0
	02	財産 売却収入		120,000	120,000	120,000	0	0
		02	物品 売却収入	120,000	120,000	120,000	0	0
			24 機械金属 工業指導所	120,000	120,000	120,000	0	0
12	諸収入			120,000	108,013	108,013	0	0
	07	雑入		120,000	108,013	108,013	0	0
		05	雑入	120,000	108,013	108,013	0	0
			41 経営技術等 研修講習料	120,000	108,000	108,000	0	0
			93 雑入	0	13	13	0	0
合		計		4,301,000	4,253,513	4,253,513	0	0

(2) 平成2年度 歳出予算執行状況

(単位：円)

科 目				予算台達額	支出済額	残 額	備 考
款	項	目	節 細 節				
02	総務費			638,600	638,600	0	
	01	総務管理費		638,600	638,600	0	
		07	財産管理費	638,600	638,600	0	
			13 委託料	72,100	72,100	0	
			26 設計管理委託	72,100	72,100	0	
			15 工事請負費	566,500	566,500	0	
07	商工費			39,470,071	39,470,071	0	
	01	商工業費		1,455,881	1,455,881	0	
		01	商工業総務費	58,225	58,225	0	
			09 旅 費	50,000	50,000	0	
			14 使用料及び 賃借料	8,225	8,225	0	
		03	工業振興費	1,397,656	1,397,656	0	
			01 報 酬	528,000	528,000	0	
			08 報 償 費	133,100	133,100	0	
			09 旅 費	654,556	654,556	0	
			11 需 用 費	64,000	64,000	0	
			01 食 糧 費	5,000	5,000	0	
			02 その他需用費	59,000	59,000	0	
			12 役 務 費	18,000	18,000	0	
			02 その他役務費	18,000	18,000	0	
	02	中小企業費		38,014,190	38,014,190	0	
		02	中小企業 指 導 費	476,920	476,920	0	
			08 報 償 費	81,000	81,000	0	
			09 旅 費	139,520	139,520	0	

科		目			予算令達額	支出済額	残額	備考
款	項	目	節	細節				
			11	需用費	198,000	198,000	0	
				01 食糧費	4,000	4,000	0	
				02 その他需用費	194,000	194,000	0	
			12	役務費	16,400	16,400	0	
				02 その他役務費	16,400	16,400	0	
			14	使用料及び賃借料	42,000	42,000	0	
	04	工業技術センター費			651,000	651,000	0	
			09	旅費	46,000	46,000	0	
			11	需用費	10,000	10,000	0	
				02 その他需用費	10,000	10,000	0	
			12	役務費	114,000	114,000	0	
				02 その他役務費	114,000	114,000	0	
			18	備品購入費	481,000	481,000	0	
	07	機械金属工業指導所費			36,886,270	36,886,270	0	
			01	報酬	999,046	999,046	0	
			04	共済費	130,590	130,590	0	
			08	報償費	432,044	432,044	0	
			09	旅費	1,891,368	1,891,368	0	
			11	需用費	14,258,330	14,258,330	0	
				01 食糧費	431,284	431,284	0	
				02 その他需用費	13,827,046	13,827,046	0	
			12	役務費	2,129,708	2,129,708	0	
				02 その他役務費	2,129,708	2,129,708	0	
			13	委託料	3,831,486	3,831,486	0	

科		目			予算令達額	支出済額	残額	備考
款	項	目	節	細節				
				01 電気保安業務委託	273,396	273,396	0	
				02 恒温恒湿点検委託	184,370	184,370	0	
				03 整備業務委託	505,200	505,200	0	
				04 浄化槽等維持管理業務委託	112,270	112,270	0	
				05 ボイラー整備検査委託	86,100	86,100	0	
				06 火災報知設備保安検査委託	35,844	35,844	0	
				07 排出水の分析委託	118,656	118,656	0	
				08 冷凍機保安点検委託	159,650	159,650	0	
				09 パルプ性能試験装置ソフト改造委託	2,356,000	2,356,000	0	
			14	使用料及び賃借料	159,588	159,588	0	
			18	備品購入費	12,904,910	12,904,910	0	
			19	負担金補助及び交付金	124,000	124,000	0	
				01 滋賀県冷凍設備保安協会負担金	7,000	7,000	0	
				02 会議等負担金	117,000	117,000	0	
			27	公課費	25,200	25,200	0	
			合	計	40,108,671	40,108,671	0	

6. 試験研究設備の整備 (平成2年度)

設備名	数量	型式	製造者	備考
バルブ流体解析 CAEシステムソフトウェア ハードウェア	一式	FLUENT/BFC S-4/1	米国Creare.x社 富士通(株)	中小企業庁補助物件
バルブ設計CAD/C AMシステムソフトウェア ハードウェア	一式	AutoCADGX-III PC-H98	オートデスク(株) 日本電気(株)	"
水中マイクロホン	1台	8103	B & K	単
溶存酸素計	1台	DOL-40	電気化学計器(株)	"
ドラフトチャンバー	1台	DP-5	(株)ダルトン	"
純水製造装置	1台	SWAC-500	島津理化器械(株)	"
精密万能投影機	1台	V-12A	(株)ニコン	"

主要設備

品名	規格	購入年月日	備考
器具中ぐり盤	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	"
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-MCL 2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 オプテメーター	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
キヤス試験機	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	"	"
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
デジマイクロ	オリンパス製DM253 顕微鏡STM	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	東京衛機製力量500kg	47.10.31	"



品名	規格	購入年月日	備考
直示式鋳物砂熱膨張計	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	"	"
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3063 P4	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30kg f-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DP U-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社制 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 PMODEL G	"	"
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	"
ロックウェル硬度計	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-20AHI	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 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	"
ドラフトチャンパー	(株)ダルトン製DP-5	2. 9.14	"
純水製造装置	島津理化器械(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	"

## 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 3,101,200円

(1) 材料試験	355試料 (797試験)
(内 訳)	抗 折 61試験
	引 張 269 "
	耐力・降伏点 52 "
	伸 び 191 "
	硬さ (H B) 154 "
	硬さ (その他) 40 "
	そ の 他 30 "
(2) 分析試験	157試料 (670成分)
(内 訳)	ね ず み 鋳 鉄 8試料
	球 状 黒 鉛 鋳 鉄 10 "
	青 銅 鋳 物 98 "
	そ の 他 41 "
(3) その他の試験	138試料 (263試験)
(内 訳)	組 織 249試験
	そ の 他 14 "
(4) 成績書複本	186 通
(内 訳)	和 文 163通
	英 文 23 "

## 2. 設備使用件数および使用料

使用料 924,300円

(内 訳)	25 t オートグラフ	101回
	100 t 万能試験機	112 "
	ブリネル硬さ試験機	85 "
	高周波プラズマ分析装置	86 "
	C S 同時定量装置	13 "
	電子天秤	52 "
	そ の 他	25 "

### 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
長浜プレス工業(株)	プラスチックの射出成形方法に関する技術的問題点について	永井芳治
エスビーバルブ工業(株)	JIS規格に基づき板弁の強度計算について	神沢一吉
湖北電子(株)	タンタルコンデンサー素子溶接作業の合理化・省力化	中川悟孝
エスビーバルブ工業(株)	工場環境の整備と工場レイアウトについて	丸尾和好
官部鉄工(株)	バルブの閉止速度とウォータハンマの関係について	柳井田勝哉
協和工業(株)	鋳物素材の肉厚測定の自動化について	武田和忠
中嶋バルブ工業(株)	ティルチング逆止弁の弁座漏れ検査方法について	中川悟孝
相川バルブ製作所	調節弁における流量特性の選定と目安について	竹下常四郎
清水合金製作所	キャビテーションの評価方法について	柳井田勝哉
キャンマディーゼル(株)木ノ本工場	物流等の生産効率の向上改善方法について	丸尾和好

## 2. 一般巡回技術指導

MC、NC工作機械における省力、自動化と加工技術の改善および生産性の向上について

期 間 平成3年3月18、19、26～28日

指導員 長津工業株式会社 取締役部長 丸尾和好

ヤマザキマザック システムセールス株式会社

京滋テクニカルセンター 所長 瀬口正

滋賀県立機械金属工業指導所

指導係長 樋口英司

試験研究係長 松川進

主任技師 宮川栄一

指導企業 株式会社三水

澤村バルブ工業株式会社

前次精機株式会社

岡村精機製作所

松林合金株式会社

## 3. 簡易巡回技術指導

指導対象 平成元年度設備貸与、近代化資金貸付企業

期 間 平成2年8月20日～9月7日

指導員 元滋賀県立短期大学工業部 教授 山田 始

滋賀県立短期大学工業部 助教授 武 隆 教

滋賀県立機械金属工業指導所職員

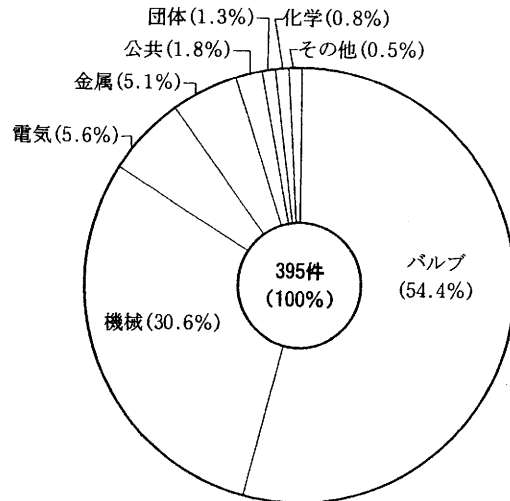
指導企業 15社 (湖北居金型製作所ほか14社)

#### 4. 技術相談・指導

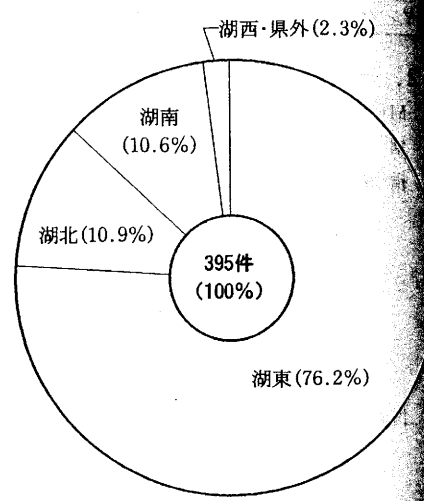
(1) 専門分野別件数

項目	件数	比率	項目	件数	比率
金属材料	29	7.3%	分析技術	5	1.3%
熱処理技術	7	1.8%	防食技術	13	3.3%
機械加工	25	6.3%	制度金融	22	5.6%
試験法	156	39.5%	実地指導	4	1.0%
鑄造技術	13	3.3%	その他	89	22.5%
金属組織	32	8.1%	計	395	100.0%

(2) 業種別



(3) 地域別



#### 5. 調査

- (1) 彦根バルブ動向調査 22企業 (4回/年)
- (2) 制度融資等にかかる事前調査
  - 中小企業設備貸与調査 5企業
  - 技術改善費補助金・技術開発資金等にかかる調査 7企業
  - 工場診断 1企業

#### 6. 技術普及講習会

年月日	内容	講師	場所	参加人員
2.6.8	失敗しないCAD/CAMシステムの導入と運用	大阪産業大学工学部 情報システム学科 助教授 前川 佳徳	指導所 研修室	52名
2.10.2	平成元年度 当所の研究発表会 (4題)	機械金属工業指導所職員	"	39名
2.12.4	ニューセラミックの特徴と活用事例 - 構造用・機構用部品としてうまく使いこなすために -	日本特殊セラミック ㈱技術開発部長 藤田 洪太郎	"	42名
3.2.1	最近の経済情勢と今後の展望	しがぎん経済文化センター 部長 阪井 靖史	"	38名
3.3.20	国際化時代における製品開発 - その発想とポイント -	㈱京都試作研究所 所長 中川 悟孝	"	28名

#### 7. 新技術技術者研修

- (1) コース名 プログラマブルコントローラによる自動制御入門コース
- (2) 研修期間および時間数 平成2年10月8日(月)、9日(火) 12時間
- (3) 場所 機械金属工業指導所
- (4) 受講者および修了者
  - 受講者 18名
  - 修了者 18名
- (5) 講師 オムロン(株) FAシステム事業部 森 茂
- (6) 科目と時間配分

科目	時間	科目	講師	内容
10.8 (月)	10:00 ~ 12:00	プログラマブルコントローラの基礎知識	オムロン(株) FAシステム事業部	プログラマブルコントローラの概要、構成 (講義)
	13:00 ~ 17:00	プログラマブルコントローラの基礎的使用方法	森 茂	プログラマブルコントローラの動作原理、コンソールの操作、基本命令 (講義、実習)
10.9 (火)	10:00 ~ 12:00	プログラマブルコントローラにおけるプログラムの実習(1)	同 上	プログラマブルコントローラを使用したプログラムの作成演習(1) (実習)
	13:00 ~ 17:00	プログラマブルコントローラにおけるプログラムの実習(2)		プログラマブルコントローラを使用したプログラムの作成演習(2) (実習)

## 8. 出版刊行物

平成元年度業務報告書

SHIGA機工指ニュース №39、№40

## 9. 生産技術研究会

### (1) 平成2年度役員

会 長	島 村 満 生 (大洋産業)
幹 事	加 藤 光 男 (安治川鉄工建設)
	清 水 重 信 (協和工業)
	山 崎 春 美 (昭和バルブ製作所)
	澤 田 満 (新和工業)
	松 井 繁 徳 (大日本スクリーン製造)
	山 口 昌 求 (中嶋バルブ工業)
	宮 川 栄 一 (機械金属工業指導所)
会計監事	北 川 一 男 (相川バルブ製作所)
	澤 村 直 幸 (澤村バルブ工業)
事務局	松 川 進 (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)	6回
エ 会報発行	2回

## IV 研 究 業 務

1. CAEによる低キャビテーションバルブの開発研究
2. 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)
3. 自動制御弁の開発研究  
(バルブの制御技術に関する実態調査)

# CAEによる低キャビテーションバルブの開発研究

指導係長 樋口英司

試験研究係

主任技師 宮川栄一

指導係

主任技師 西川哲郎

## 1. はじめに

バタフライ弁は、他の仕切弁・玉形弁に比べ軽量コンパクトで扱い易いため、市場でのニーズが高まる傾向にある。また、バタフライ弁はその詳細部については規格化されておらず、設計の自由度が高く、新製品開発への余地が大きい。一方、バタフライ弁の使用目的が遮断等のON-OFF以外に、流量および圧力調節用としても使用される。この場合、中間開度、とりわけ低開度での使用が多くなる。このため、特に弁体と配管との隙間から高速噴流域を形成し、その内側乱流域の低圧部に発生するキャビテーションの、後流部において集中的に壊滅するときのエネルギーによって配管系へ及ぼす悪影響が、新製品開発上の技術的問題点となっている。

本研究は、既存バタフライ弁の低キャビテーション化を実現するため、流体解析システムを導入し、各種形状の既存バタフライ弁の性能試験結果に基づいて、主として弁体形状に改良を加え、コンピュータ上でその改良前後の弁体の流体特性を解析することによって、キャビテーション性能の向上した新製品の開発を目的としている。

上記の目的を達成するため、既存バタフライ弁弁体について各種性能試験を行うとともに、バタフライ弁ユーザー実態調査を行い、改良に必要なバタフライ弁の現場での使用条件、および、騒音・振動公害、配管の壊食等、キャビテーション問題の発生とその使用条件の把握も併せて行った。以上の結果をもとにキャビテーション特性が改善されると思われる形状を考案した。

その後、流体解析システムを使用し、既存弁体の流体解析を行うことによって、解析結果とキャビテーション発生領域との相関関係から推定方法の糸口を見だし、考案した改良弁体の解析を試みた。この改良弁体は、現在実用新案申請中である。

同時に、バルブ設計CAD/CAMシステムを導入し、NC工作機械との一体化の可能性を追求することによって、開発期間の大幅な短縮、コスト低減、設計作業の省力化、図面品質の向上と標準化を目指し、設計・自動加工技術の向上を図ったので併せて報告する。

## 2. 試験装置

### 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<sup>1)</sup>」に規定されている試験装置に準拠して製作したものを用いた。主要部の概要を図1に示す。



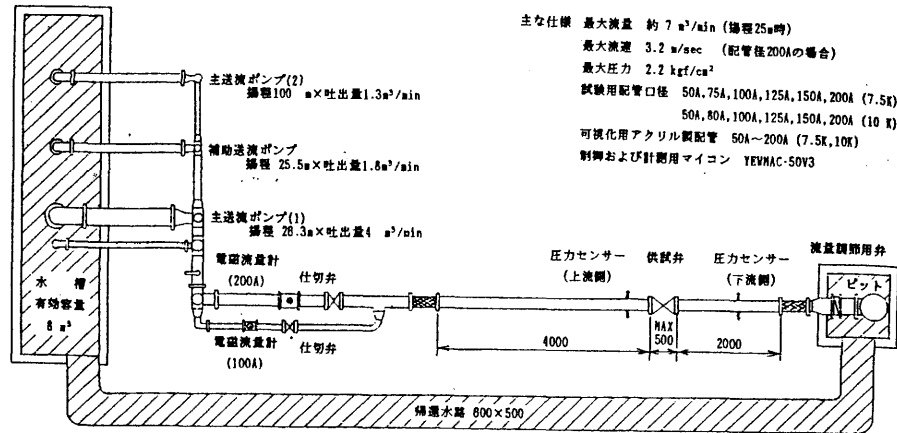


図1 バルブ性能試験装置

## 2.2 CAEシステムによる流体解析

バルブ流体解析に使用したシステムの主なものを以下に示す。

### (1) ソフトウェア

1. 流体解析ソフト 米CREARE社 FLUENT/BFC Ver3.02
2. OS SUN OS Ver4.0.3
3. グラフィックソフト SUN-PHIGS

### (2) ハードウェア

1. 本体 富士通(株) S-4/1
2. CPU 25MHz SPARCチップ (15.8MIPS)
3. 主メモリ 16MB
4. 磁気ディスク装置 669MB
5. 磁気テープ装置 150MB 1/4インチカートリッジ型
6. レーザーライター 富士通(株) LW-101型
7. カラーハードコピー セイコー電子工業(株) CH5503型
8. 無停電電源装置 富士通(株) FACOM-987F型

## 2.3 CAD/CAMシステムによるバルブの設計・自動加工

バルブ設計・自動加工に使用したシステムの主なものを以下に示す。

### (1) ソフトウェア

1. CADソフト オートデスク社 Auto CAD-GXⅢ
2. 機械部品CAD/CAMソフト AMM-ST
3. FANUC P-G接続ソフト JPG
4. CAD図面/ライブラリ呼出、管理システム LCC

## 5. 文書ファイルのCAD図面化ソフト ATD

6. OS 日本電気(株) 日本語MS-DOS Ver3.3B PS98-H1001-51
7. ランタイムサポート 日本電気(株) 373HMW

### (2) ハードウェア

1. 本体 日本電気(株) PC-H98 model 70-002 1.5MB 33MHz
2. 数値データプロセッサ 日本電気(株) PC-H98-E01 33MHz
3. カラーCRT 飯山電機 MF-5021 21インチ
4. フロッピーディスク 5インチ×2
5. ハードディスク ICM(株)SRC-131 3.5インチ 80MB
6. 入力タブレット 日立精工 HDG-1212D
7. 4ボタンカーソル CGG-4F
8. A1プロッター ローランド GRX-300AR
9. プリンター 日本電気(株) PC-PR201GS

図2にCAD/CAM/CAEシステムを含めた当所のネットワーク構成を示す。

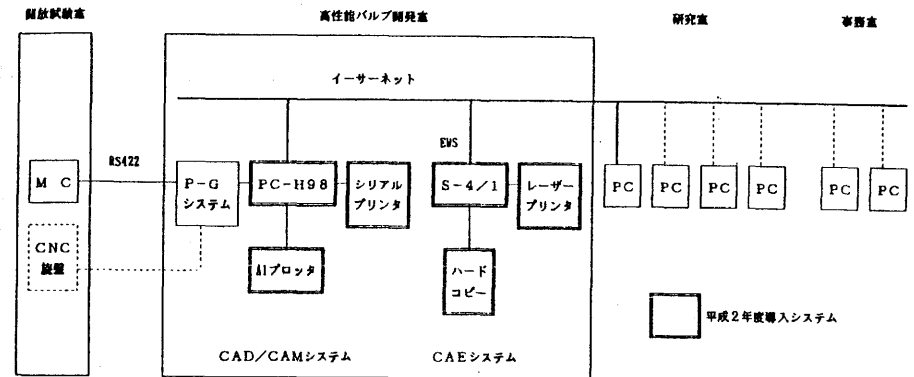


図2 ネットワーク構成

## 3. 実験方法

### 3.1 供試弁<sup>2)</sup>

バタフライ弁は弁体の形状によって、概ね図3のように分類される。すなわち、(1)弁体の中心が軸と一致し、軸が貫通していない弁体(軸非貫通同心型)、(2)同心型で中心部に軸が貫通した弁体(軸貫通同心型)、(3)同心型で上流側と下流側の形状が非対称の弁体(非対称型)、(4)中心が軸と一致しない弁体(軸上流および軸下流偏心型)、(5)軸に対して傾いた弁体(傾斜型)、(6)表面が曲面でできている弁体(変形型)、(7)表面に歯状の突起物がある弁体(整流型)の7種類のバタフライ弁である。

本試験は、(1)~(7)の弁体中、傾斜型を除いて、現在彦根バルブ産地で製造されている陸用およ

び水道用の口径100mmを主体とした6種類のバタフライ弁を用いた。また、口径による差異をみるため、軸非貫通同心型バタフライ弁を中心に、口径50mm、80mm、100mm、125mm、150mmの5種類のバタフライ弁を使用した。供試用バタフライ弁を表1に示す。

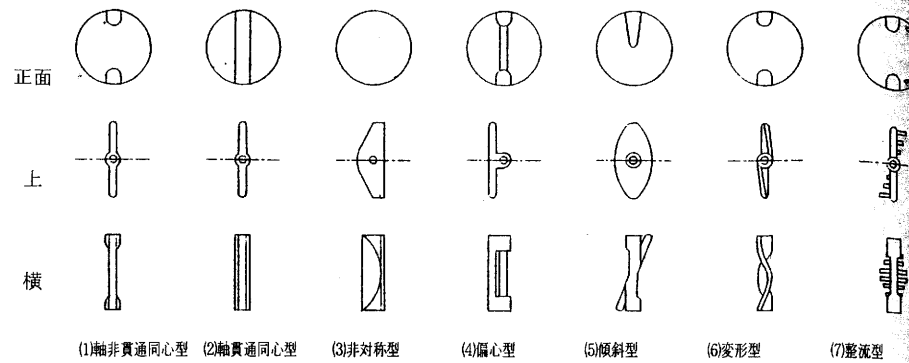


図3 バタフライ弁の基本構造

表1 供試用バタフライ弁

種類 (用途)	離用	離用	離用	離用	離用	離用	離用	離用	離用	離用	水道用
口径 (mm)	50	80	100	100	100	100	100	125	150	150	
弁体の構造	非貫通同心型	非貫通同心型	非貫通同心型	貫通同心型	非対称	変形型	偏心率	非貫通同心型	非貫通同心型	変形型	
材質	本体	FC25	FC25	FC25	FRP	FC25	SCS 13	FC25	FC25	SP504	
	弁体	SUS304	SUS304	SUS304	FRP	SCS 13	SCS 13	SUS304	SUS304	PC045	
シートリング	NBR	NBR	NBR	NBR	NBR	NBR	PTFE	NBR	NBR	なし	
面取寸法 (mm)	43	48	50	50	58	52	52	54	59	52	
*1 重量 (Kg)	2.50	3.90	5.35	5.10	2.80	4.85	5.80	8.15	10.55	22.50	

\*1 駆動部分を除いた弁本体のみの重量を示す。

### 3.2 キャビテーション係数試験

一般的に用いられているキャビテーション係数 ( $\sigma$ ) を次式により算出して求めた。しかし、現段階では、初生キャビテーション現象を定量的にとらえる方法が確立されていないため、複数の人間の聴覚による定性的方法により実験を行い評価した。具体的には、5~10秒間にキャビテーション気泡が壊れる時に発生する「ピチピチ」という音が1回確認された時点を超生点とした。

$$\sigma = \frac{H_2 + (H_a - H_v)}{(H_1 - H_2) + (V^2 / 2g)}$$

$\sigma$  : キャビテーション係数  
 $H_a$  : 760mmHg, 20°Cの大気圧 (10.332mH<sub>2</sub>O)  
 $H_v$  : その温度における飽和蒸気圧 (mH<sub>2</sub>O)  
 $H_1$  : 弁上流圧力 (mH<sub>2</sub>O)  
 $H_2$  : 弁下流圧力 (mH<sub>2</sub>O)  
 $V$  : 流速 (m/sec)  
 $g$  : 重力加速度 (9.80665m/sec<sup>2</sup>)

### 3.3 Cv値試験

JISの「バルブの容量係数試験」に基づく試験結果から、次に示す式により算出して求めた。

$$C_v = 1.167Q \sqrt{\frac{G}{\Delta P}}$$

$C_v$  : Cv値 (容量係数) (m<sup>2</sup>)  
 $Q$  : 流量 (m<sup>3</sup>/hr)  
 $\Delta P$  : 弁上流と弁下流の差圧 (kgf/cm<sup>2</sup>)  
 $G$  : 流体の比重 (1)

### 3.4 損失係数試験

次の計算式により算出して求めた。

$$\zeta = \frac{2g \cdot \Delta H}{V^2}$$

$\zeta$  : 損失係数  
 $g$  : 重力加速度 (9.80665m/sec<sup>2</sup>)  
 $\Delta H$  : 弁上流と弁下流の差圧 (mH<sub>2</sub>O)  
 $V$  : 流速 (m/sec)

## 4. 結果および考察

### 4.1 バタフライ弁のキャビテーション

#### 4.1.1 キャビテーションの発生機構

工学では一般に、常温での沸騰現象と区別して、主に流体の運動によって起こる圧力低下が原因で、圧力がその時の蒸気圧以下に低下した時に起こる沸騰現象をキャビテーション (Cavitation) と呼んでいる<sup>3)</sup>。

この圧力低下は、流体の流動あるいはその時生じた渦の中心部に発生し<sup>4)</sup>、高速で流体が物体を通過した際、剪断力が大きくなり、その境界面に真空の空隙を生じ、そこに流体が蒸発する、いわゆるキャビテーションを引き起こすことになる。従って、この現象は隣接した流体の分子間に働いている分子間引力に打ち勝つだけの張力を作用させて分子を引き離し、この空隙を満たすために流体分子自身が蒸気状態になると考えられる。すなわちバタフライ弁の低開度においては、弁体の微小な隙間から弁体下流側に強烈な噴流が発生し、弁体下流側で渦とともに剪断層が形成される。この渦のため、弁体エッジの裏側に極度の低圧部を生じ、その部分で流体が急激的、爆発的に蒸発を引き起こす現象がキャビテーションの発生である。

その後このキャビテーションは急速に成長し、極めて短時間で壊滅していく。Knappら<sup>5)</sup>は物理的な性質により、キャビテーションを移動型、固着型、渦型、振動型の4種類に分類している。

このように発生したキャビテーションは、すべて弁体本体や配管系へ悪影響を及ぼすわけではない。配管系で騒音・振動の発生や壊食を伴うキャビテーションは、図4に示すように特にオリフィス側後流 (1~1.5D付近) で極度に成長

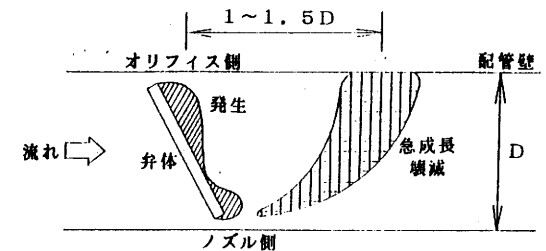


図4 キャビテーション壊滅の確率の高い領域

する「特異渦キャビテーション<sup>6)</sup>」と呼ばれている悪性のキャビテーションが、圧力回復部において衝撃の速さで壊滅する時に、機械的、電気化学的、化学的作用する場合である。この壊食性衝撃圧力分布を知るには、感圧紙<sup>7)</sup>を用いる方法などが知られている。

新製品開発にあたっては、この壊食性キャビテーション気泡の発生、成長および特定部分での集中的な壊滅を抑制する形状が必要となる。また、弁体の表面形状の微小な差異（企業マーク等）があることで、周囲と速度差が生じ、これによっても渦や共振する所が発生し、キャビテーション発生に微妙な影響を及ぼすことが考えられるため、製品化にあたって注意を要するファクターとなる。

#### 4. 1. 2 キャビテーション発生に及ぼす空気核の影響

流体の蒸気圧以下でキャビテーションが発生することについては、流体の激しい運動による張力の低下があることはもちろんであるが、流体中に含まれる空気が大きく影響している。このことは、溶存気体の量は液体の圧力に比例するというHenryの法則によっても説明でき、図5に基づき平衡圧を $P_E$ とするならば、

$$(P - P_E) = (P - P_v) - (P_E - P_v)$$

で表わせ、圧力差 $(P - P_E)$ は蒸気圧との差 $(P_E - P_v)$ だけ小さい圧力差でキャビテーションが発生することを示すことから裏付けられる。<sup>8)</sup>その影響や測定方法については沼知、椎名<sup>9)</sup>によって報告されている。空気の中でも溶存空気量（水20℃、飽和状態で1.9%）については、含有することによりキャビテーション気泡壊滅領域において増殖核効果<sup>9)</sup>があることがすでに明らかにされており、しかも微細気泡に著しく効くとしている。

これに加えて、流体と共に流れている目では確認できない微小の空気核（数 $\mu$ レベルのバブル）がキャビテーションの発生に大きく寄与していることも、東北大学の大場らの研究<sup>7)10)</sup>で明らかにされ、その核がキャビテーション発生の重要なパラメータとなっていると考えられる。

その測定方法については、次の方法がある。

- (1) 1  $\mu$ 秒単位のスロボスコープによる写真（ビデオ）撮影
- (2) 市販のコールターカウンター装置による計数（電気的方法、機械的振動空気分離法）

今後、バルブにおけるキャビテーション発生メカニズムの解明や、キャビテーションを定量化するための実験においては、騒音、振動測定とともに、この微小空気核の影響（測定）は欠かすことのできない要素となる。つまり、キャビテーションの発生には、流体中の溶存空気や微小の空気核が大きく影響してくるため、測定時には、これらの空気を極力除去した後流入核分布<sup>9)</sup>を求め、測定条件を統一した時の測定データによる比較が重要であり、今後の実験の課題となっている。

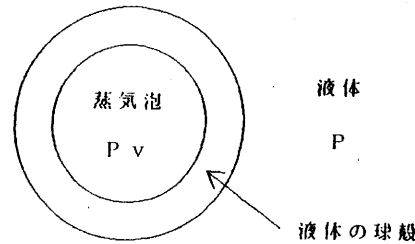


図5 液中の球状気泡の模型

#### 4. 2 既存バタフライ弁の性能試験

供試弁について、初生キャビテーション係数試験、Cv値試験、弁開度ごとにRe数を変化させたときのキャビテーション係数試験、損失係数試験を実施した。

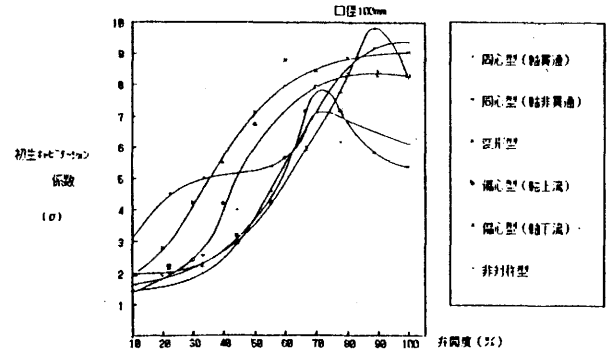


図6 バタフライ弁の初生キャビテーション係数

##### 4. 2. 1 初生キャビテーション係数試験

初生キャビテーション係数の測定結果を図6に示した。

この結果、同心型系の弁体は、開度70%くらいまでは他の弁体と比べて初生キャビテーション係数 $\sigma$ は小さい値を示すが、70%以上になると急激に高くなる傾向がみられる。

変形型の弁体では、開度70%前後で多少同心型系より高くなるものの、全開度を通して最も $\sigma$ が小さい傾向を示している。

今回実験を行った軸下流偏心型の弁体では、多少 $\sigma$ の値にバラツキがみられるものの、全開度にわたり、軸上流偏心型の $\sigma$ の少し高めにほぼ並行した結果が得られた。偏心型の弁体は、開度40%~80%の中間開度で実験した弁体の中では最も高い $\sigma$ を示しており、これは弁体構造上の影響が非常に大きいことを示していると考えられる。

非対称型の弁体は、他の弁体と大きく異なった性状を示しており、10%~60%の低开度で変化率の小さい高めの $\sigma$ を示した後、開度70%付近で最大値を示し、全開にいくに従って急激に低下する。また、開度80%以上では実験した弁体中 $\sigma$ が最も小さいという結果が得られた。

##### 4. 2. 2 Cv値試験

弁体形状ごとの実験結果を、図7に示す。

開度70%付近では、どの弁体もほぼ同じCv値を示すが、70%を境にして低开度側、高开度側にいくに従って大きく曲線が広がる傾向を示しており、非対称型を除いてイコールパーセントまたはパラボリックな弁体固有の流量特性を持っている。これは、使われるプロセスで大きな

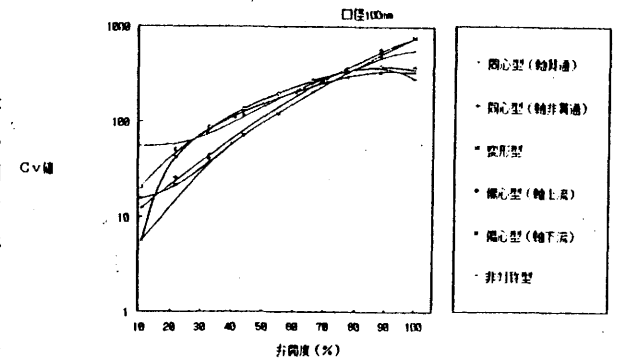


図7 バタフライ弁のCv値

圧力降下がある場合に適した形状といえる。また、開度20%以下の低开度では、非対称型のCv値が最も大きく、開度30%~70%の中間開度では、偏心型弁体が大きい値を示している。また、90%以上の全開付近の部分では、配管に占める弁体投影面積が小さい同心型系、変形型の弁体が最も大きい値を示しており、開口面積（弁体投影面積）に比例したものともみることができる。

口径別の実験結果を図8に示す。

結果は各弁体とも相似曲線となり、開口面積に比例した順当な値が得られた。

また、今回のCv値測定実験の結果をもとに、開度30%における差圧（差圧の平方根）に対するCv値の安定性を、図9により検討した。

これによると、Cv値そのものは開口面積に依存しているため、値に大小がある。しかし、差圧の変化に対しては、軸貫通同心型、変形型、軸下流偏心型の弁体では、Cv値はほぼ一定の値で徐々に小さくなっていく傾向を示す。軸上流偏心型も、低差圧で急激なCv値の低下がみられるものの、先に述べた弁体と同様の傾向を示している。これとは対照的に、軸非貫通同心型、非対称型の弁体では、差圧の平方根8KPa付近をピークにしてCv値が大きく膨らむ性質がみられる。

#### 4. 2. 3 損失係数試験

弁体形状ごとの実験結果を、図10に示す。

Cv値試験の結果と同様、開度70%付近ではどの弁体もほぼ同じ損失係数を示すが、70%を境にして低开度側、高开度側にいくに従って大きく曲線が広がる傾向を示している。Cv値と対照的に、開度20%以下では非対称

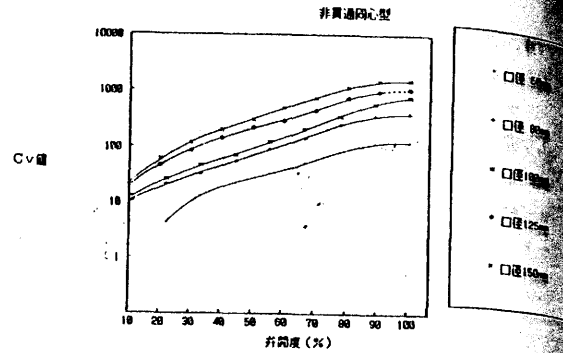


図8 バタフライ弁口径別Cv値

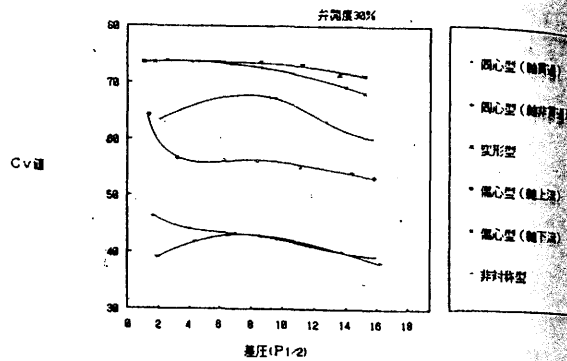


図9 バタフライ弁の差圧とCv値の関係

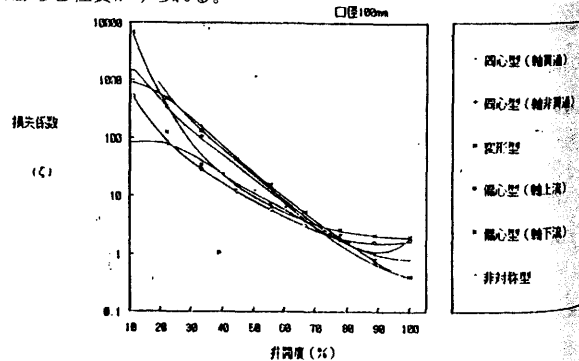


図10 バタフライ弁の損失係数

型が最も小さく、30%~70%の中間開度では偏心型が小さな値となっている。90%以上の高开度でも同様、同心型、変形型が最も小さくなっている。今後、口径200mmの弁体を実験する予定である。

#### 4. 2. 4 Re数とキャピテーション係数との関係

この実験は、初生キャピテーション係数よりも、特に実用域でのキャピテーション発生を抑制する形状を開発することが大切であるため、Re数が比較的大きい実用域付近でのキャピテーション係数実験結果が、新製品開発前の重要な比較データと考えてこの実験を行った。

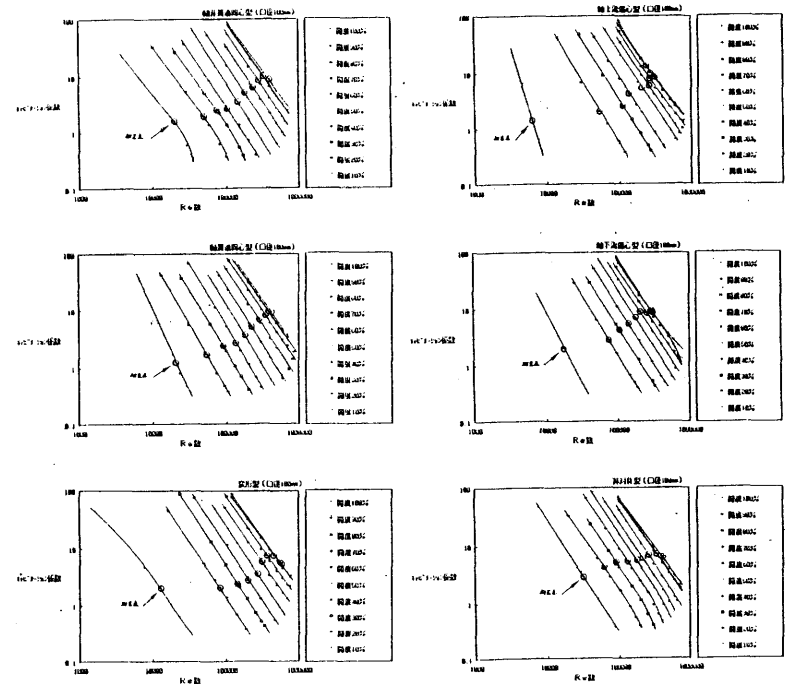


図11 Re数とキャピテーション係数の関係

図11に口径100mmの個々の弁体についてのRe数とキャピテーション係数の関係を示す。図中○印の点は、キャピテーションの初生点を示す。また、この初生点より左上部ではキャピテーションが発生していない領域を示し、右下部でキャピテーションが発生している領域であることを示す。

これらの各図を全体的に見ると、同心型弁体では特性曲線が幅広く広がっているが、変形型、偏心型、非対称型の弁体では、低开度側の曲線が高Re側にシフトしていることが分かる。

曲線の位置としては、開度80%以上では、同心型弁体のσが大きく、偏心型が小さい傾向を示しており、中間開度では、軸下流偏心型が最も大きいσを示している。

図12、13は口径125mm、150mmの同心型弁体について実施したもので、100mmの弁体と同様の傾向であるが、150mmでは大きく高Re数側にシフトしている。



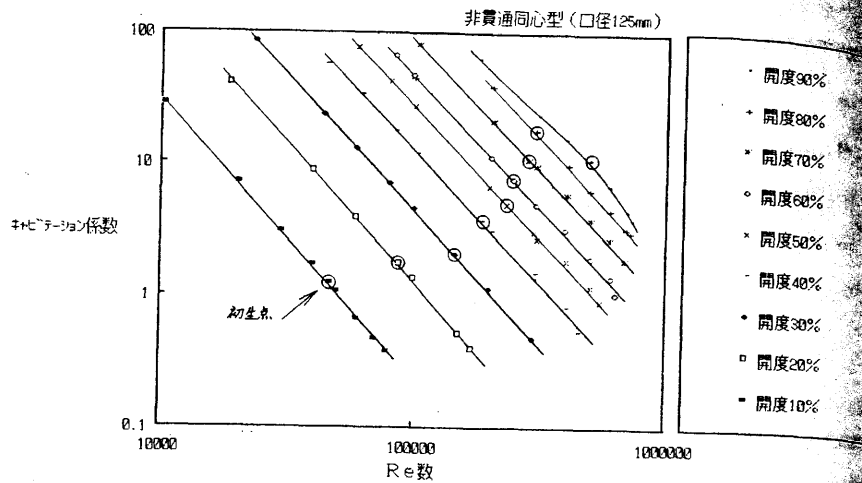


図12 Re数とキャビテーション係数の関係

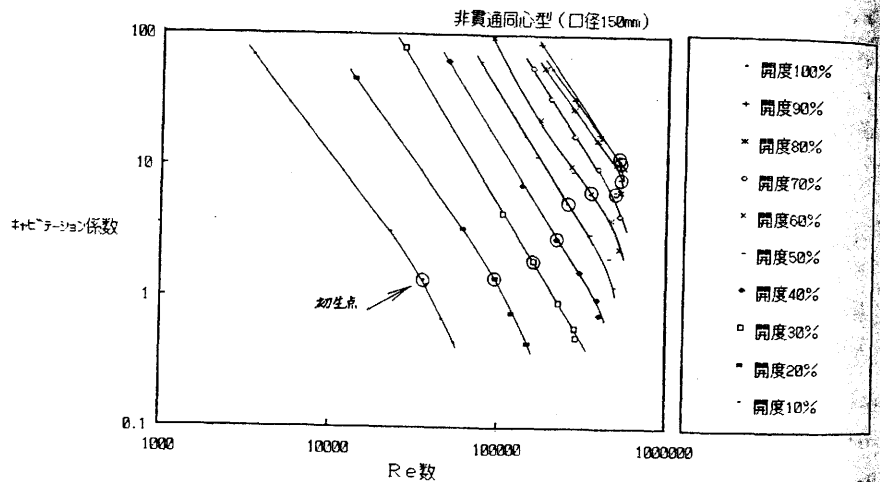


図13 Re数とキャビテーション係数の関係

#### 4. 2. 5 低開度における形状ごとの性能比較

特に開発にあたって重要な開度となる開度30%における6種類の弁体(口径100mmのみ)のキャビテーション特性を比較したものを図14に示す。

なお、供試弁体は、口径100mmで統一しているので、横軸のRe数は、流速あるいは流量と置き換えて特性の傾向をみてさしつかえない。ただし、実験した日が異なっているため、測定はしていないが流体中の空気量(核分布)が違ふと考えられ、また同じ開度でも弁体形状によってエッジ

の形状が異なって、投影形状や配管に占める開口面積も違うので、このことを念頭において図を見る必要がある。

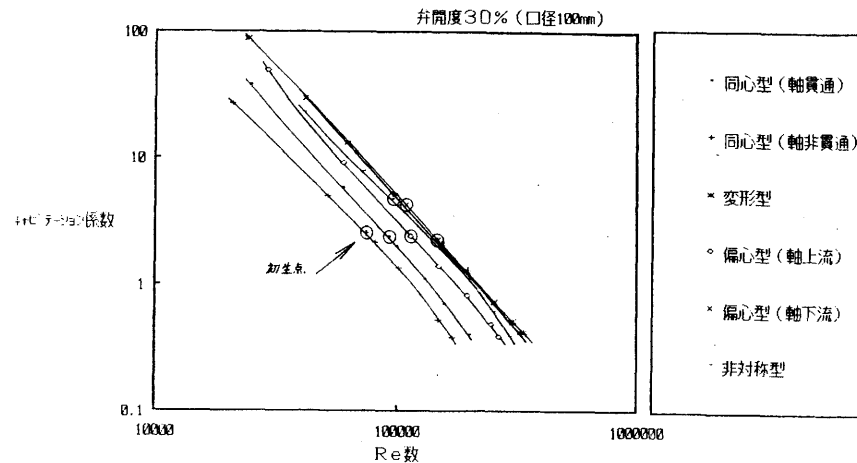


図14 Re数とキャビテーション係数の関係

実験した弁体の開度30%における開口部の寸法について以下に記す。

	弁体エッジの幅	配管と弁体エッジの距離
軸非貫通同心型	9 mm	5 mm
軸貫通同心型	10 mm	5 mm
変形型	4 mm	8 mm
偏心型(エッジ傾斜)	8 mm	ノズル側0 mm    オリフィス側10 mm
非対称型	6 mm	ノズル側0 mm    オリフィス側8 mm

この図から、Re数を徐々に上げていくと、まず軸非貫通同心型が初生点に達しキャビテーションが発生し始める。次いで、軸貫通同心型、非対称型、軸下流偏心型、軸上流偏心型と続き、変形型が最も大きいRe数でキャビテーションが発生することが分かる。また、非対称型と軸下流偏心型は、他の弁体に比べ差圧が小さい状態で( $\sigma$ が大)キャビテーションが発生していることも分かる。これらの弁体の中では、変形型が最もRe数が大きく(流速が大)、差圧が大きい( $\sigma$ が小)状態でキャビテーションが発生していることが分かる。

ところが、30%の開度ではCv値がかなり小さいことを考え合わせると、単純なキャビテーション特性の比較としては難しく、しかもこの比較図では初生位置しか示していないので、実用上の使用領域や限界位置でのキャビテーション成長状態が分からず、傾向は分かっても実用領域での単純な性能比較は困難である。つまり、初生が早くても、それが成長しやすいかどうかの判断は困難である。

#### 4. 2. 6 改良弁体の性能試験

更に今回、既存バタフライ弁に加えて、考案した改良弁体の供試弁が完成次第、可視化水用いた性能試験を追加して実験を行う予定である。

供試弁体の詳細については後述するが、次に示す口径150mmの2種類の改良弁体である。

- (1) 非対称型の改良弁体（上流面溝付き）
- (2) 軸非貫通同心型の改良弁体（複数の穴開き整流ディスク付き）

試験内容は、改良前後のキャピテーション特性を直接比較したいため、前述した従来の性能試験に加えて、騒音測定や写真撮影も行う予定である。

#### 4. 3 低キャピテーションバタフライ弁の考案（改良弁体）

##### 4. 3. 1 ユーザー使用条件

低キャピテーションバタフライ弁の新製品を開発するにあたり、現場での低キャピテーションバタフライ弁の使用実態を把握するため、水道用バタフライ弁ユーザーの最大手であるT水道局調査した。ここでは、キャピテーション対策として、現在市販されている溝付き、あるいは溝付き整流型を中心として、低キャピテーションバタフライ弁が導入されている。

調査結果の概要は次に示すとおりである。

##### (1) 使用目的

キャピテーションによるゴム弁座破壊防止と配管の壊食（穴）防止、および都心部の場合、中間の騒音公害防止が主な導入目的である。

##### (2) 使用箇所

高台の貯水池や浄水場濾過ポンプ出口などの高圧域から、給水用配水池などの低圧域へ送水される所や、市街地の末端配水所での流量および圧力（減圧）制御が主な設置箇所である。

##### (3) 弁座構造

弁座構造は、剝離損傷や異物噛み込みが考えられるゴム弁座より、主に金属弁座のものが多く好まれて用いられている。遮断など、それ以外の目的では、通常のバタフライ弁が用いられる場合が多い。

##### (4) 要求される性能（新製品へのニーズ）

開度30%以下の絞り運転でキャピテーションの発生が少なく、減圧効果に優れ、しかもある程度の流量が得られることである。ただし、構造上全開時での損失係数が大きくなるのはやむを得ない。

また、ユーザーとしては、特に大きな浄水場で、使用流量の適用範囲が広い方が望ましい。これは、多段階または並列減圧による弁使用個数が増え、購入予算額が増えるためである。既存の低キャピテーションバタフライ弁では、実用上の流量で1/10 (min/max) 程度しか制御できなく、理想的には1/50程度まで望まれている。

##### (5) 需用

騒音公害およびキャピテーション壊食の発生箇所への導入、既存ゴム弁座低キャピテーションバタフライ弁破損時の更新、低キャピテーションバタフライ弁の高性能化（開発新製品）に伴う新規導入と入れ替え等必要性は非常に高いが、採用量は比較的少ない。口径は150～500mm（300～500mmが中心）である。

次にT水道局の末端給水所および浄水場における低キャピテーションバタフライ弁の使用箇所の圧力・流量条件を例として示す。

	A給水所	B給水所		C浄水場	
口径	300mm	300mm	400mm	400mm	500mm
弁座構造	ゴム	ゴム	メタル	メタル	メタル
設置台数	2	1	1	6	2
一次圧	3.2～3.5kg/cm <sup>2</sup>	3.8～4.2kg/cm <sup>2</sup>		50m	
二次圧	0.3kg/cm <sup>2</sup> （開放）	0.3kg/cm <sup>2</sup> （開放）		18.5～35m	17.5～39.4
使用流量	700～1500m <sup>3</sup> /hr	150～800m <sup>3</sup> /hr		1750～2700m <sup>3</sup> /h	2550～4100m <sup>3</sup> /h

##### 4. 3. 2 バタフライ弁のキャピテーションに関する特許

低キャピテーションバタフライ弁を開発するにあたっては、これらに関する特許情報を調査することが重要である。既存の低キャピテーションバタフライ弁では、その構造が全て申請済みであるため、彦根パルプ産地として製造販売するためには、これに含まれないものが必要となる。すなわち、この研究によって開発した弁体については、特許申請することによって、産地の保護と活性化を促すことにつながることを意味している。

パトリスを利用し、関連のある特許を調査した結果、バタフライ弁やキャピテーションに関する特許は非常に多いため、キャピテーションや形状に関するものを中心に、公開特許および公開実用新案を含め354件を出力した。キーワードごとの件数は次のとおりである。（平成2年9月28日現在）

キーワード	該当件数
バタフライ弁	1,110 件
バタフライ弁×形状	32 件
バタフライ弁×弁体	288 件
バタフライ弁×弁座	84 件
バタフライ弁×形状×弁体	12 件
キャピテーション	2,793 件
バタフライ弁×キャピテーション	25 件
キャピテーション音	9 件

キャピテーションの改良項目としては、大きく分けて次の4項目に分類され、ほとんど考えられる全ての改良方法について特許申請済みであり、改良の余地を見つけるのが難しいくらいである。具体的な改良内容については、次に示すとおりである。

##### (1) 弁体を改良したもの

弁体に、櫛歯状突起物、櫛歯状溝、回転軸中心の溝ガイド、弁体全体に長い櫛、整流用リブとウィング、外周補助板、通液孔プレート、整流翼補助板、内周面に多孔帯部材等を付けたもの、および中空円筒にしたもの。

##### (2) 弁箱を改良したもの

弁箱に流線型の櫛歯状突起物、通液孔添え板、ガイド状突起物、内壁に複数の仕切板、多孔プレー

ト等を付けたもの。

(3) その他を改良したもの

2枚弁体、弁体を流れに垂直に多弁分割、弁体に整流板を付けた2枚弁体、流体のバイパス構造、後流配管の内径を弁体より大きくしたもの。

(4) 系内に空気を吹き込んだもの

弁体から空気を吹き込んだもの、弁軸から空気を吹き込んだもの、上流ノズルから空気を吹き込んだもの。

### 4. 3. 3 改良の考え方

既存バタフライ弁の性能試験、ユーザー実態調査、特許調査を基にして総合的に検討を行う結果、次のような考え方によって開発することにした。

(1) 使用目的

低開度での圧力制御（減圧）および流量制御

(2) 開発にあたっての考え方

低開度でのキャビテーションの発生は不可避であるため、流体を引っかき混ぜることによってキャビテーション壊滅時の衝撃圧力エネルギーの集中を細かく分散させ、キャビテーションによる騒音・振動・壊食を減少、抑制させる形状を開発する。

理想的には、バタフライ弁に固執せず、全く新しい発想で考えた方がよいのかもしれないがこの研究では、既存バタフライ弁を基準にして改良を進める方法とする。

(3) 開発方向

改良の方向としては、低開度における弁体後流に発生する壊食性キャビテーション、特にオリフィス側後流壁面に、垂直で集中的に発生する特異渦キャビテーションと呼ばれる悪性のキャビテーションの発生を抑えるか、もしくは分散させるために、強烈なオリフィス噴流をかき混ぜることによって、エネルギーを拡散する形状に改良する。

特許上、既にその効果が明確な弁体に突起物状のものをくっつける方法はまず困難であるため今までのキャビテーションに関する性能試験結果を参考にして、中間開度での抵抗が大きい形状とする。また、商品化する場合や加工上の問題も考えて、試験に供した既存弁の内で、若干の改良で行ける形状も検討する。

### 4. 3. 4 改良弁体と実験用弁体の試作

4. 3. 3で述べた考え方にに基づき、次に示す弁体形状を考案した。

(1) 非対称型弁体の改良

改良形状を図15、および改良前の形状を写真1に示す。

この弁体は、特に既存弁からの改良が簡便で、試作加工のし易さに重点をおいたもので、オリフィス噴流を攪乱させる効果を狙ったものである。

改良部分は、上流側平面部に同心円状または放射状の角型の溝を彫ったものであり、加工する溝は、3mmの幅および深さで4mm間隔である。ただし、加工後はバリは

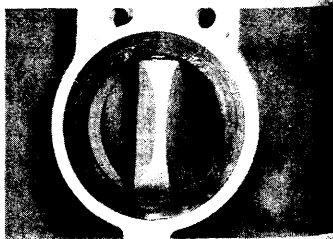


写真1 改良前非対称型弁体

全て除去し、影響の出ないように改良作業を行う。

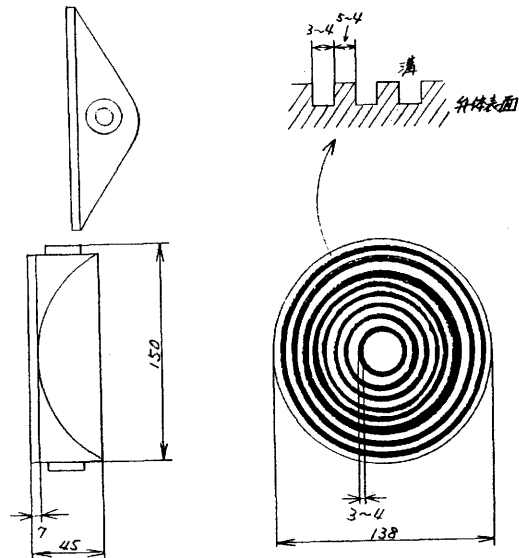


図15 非対称型弁体の改良（溝付）

(2) 軸非貫通同心型弁体の改良

改良形状を図16および写真2に示す。

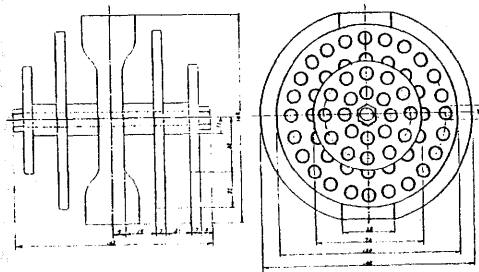


図16 軸非貫通同心型弁体の改良型（整流ディスク付き）

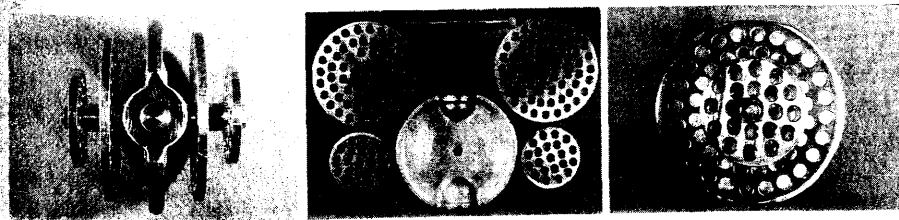


写真2 軸非貫通同心型弁体の改良型（整流ディスク付き）

この弁体は、多数の穴の開いた整流ディスクを弁体の回りにボール状に付属した弁体である。これは、バルブを流量調整用として用いる場合、中間開度で大きな抵抗が得られることが必要のため、これにも対応できる形状である。キャビテーション対策については、複数の穴開き整流ディスクによって、弁体下流側においては、キャビテーションの原因となる強烈なオリフィス噴流形成を困難にし、しかも流体攪乱性能を極端に大きくしている。このため、発生したキャビテーションが微細となり、後流配管での、集中的なキャビテーションの壊滅を防ぐ形状となっており非常に大きな効果が得られると考えられる。写真3に穴無しディスク付き弁体を示す。

以上のように、2種類の改良弁体で開発を進めるわけであるが、試作したモデルで性能試験を実施した場合、最良の形状であることは言い切れないため、後述するCAEシステムにこの改良形状をモデリングし、順次流体解析を行い、速度ベクトル、圧力分布等を求めることによって、キャビテーション発生領域を推測し、改良の確認作業を進める。特に、試作弁体を実際に寸法を変更しながらの実験（溝の寸法や形状細部）は困難なため、CAEシステムの威力を借りることとなる。

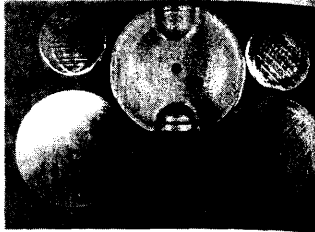


写真3 穴無し整流ディスク付同じ型弁体

## 5. CAEシステムによる流体解析

### 5. 1 FLUENT/BFCの構造と解析流れ

当システムは、コンピュータによって流れを解析し、製品を試作・実験をせずして、高性能バルブの新製品を開発しようとするものである。導入したソフトFLUENT/BFCは、米CREAR社が開発したもので、解析手法として差分法（有限体積法）を採用している。この手法は、流体解析においては最も標準的な解法で、精度の評価が確立されている。

また、従来の差分法では、解析Cellとしては規則的な格子状Gridが基本で、曲線（曲面）形状についての解析Grid作成が困難であったが、このソフトではBFC機能（Body Fitted Coordinate）があり、Bezier Curveを作ることによって、曲がった形状に沿った滑らかなGridが可能となりより正確に現象を再現した解析結果が得られる。またキャビテーション発生条件下での解析への応用として、有限要素法（FEM法）ではレイノルズ数で $10^4$ が限度であるが、この差分法では、バルブにおいてキャビテーションが発生、成長する $10^5$ 領域でも安定した解が得られ、衝撃波を伴う高速流（音速付近）でも解析が可能である。また、FEM法に比べてはるかに短時間（約1/10）で計算できて、経済的であるという特徴を有する。

しかし、複雑な形状のモデルについては、FEM法のようにGridの自由分割ができないため、モデルによっては、最適Gridを生成することが困難であるという欠点があるが、平成3年度中にこの機能を追加したバージョンがリリースされる予定である。

上記ソフトがインストールされているマシンは、計算スピードが15.8MIPSと極めて速く、特データの多い技術計算用として向いているEWSである。

このシステムの使用により、様々な条件下での流体シミュレーションを行うことができ、高性能バルブ開発にあたって、得られた流体解析結果からキャビテーション発生領域の推定を行うことにより、試作することなくキャビテーションを抑制する弁体形状を開発できる。

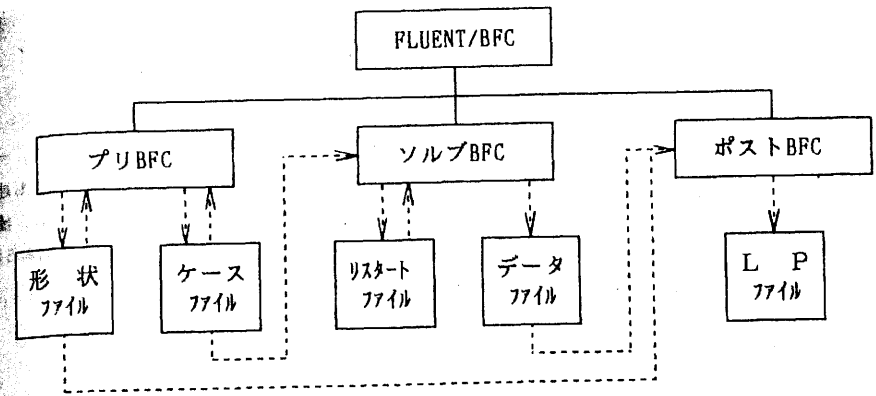


図17 FLUENT/BFCの構造

以下にこのシステムの性能を示し、図17にその構造を示す。

- (1) 2次元/3次元
- (2) 単相流
- (3) 一般曲線座標（非直交座標）
- (4) 定常状態/非定常状態
- (5) 層流/乱流（K-εモデル）
- (6) 圧縮性流体/非圧縮性流体（マッハ数 $\leq 0.9$ ）
- (7) 自由/強制対流

次に、当ソフトを用いての流体解析の流れを図18に示す。

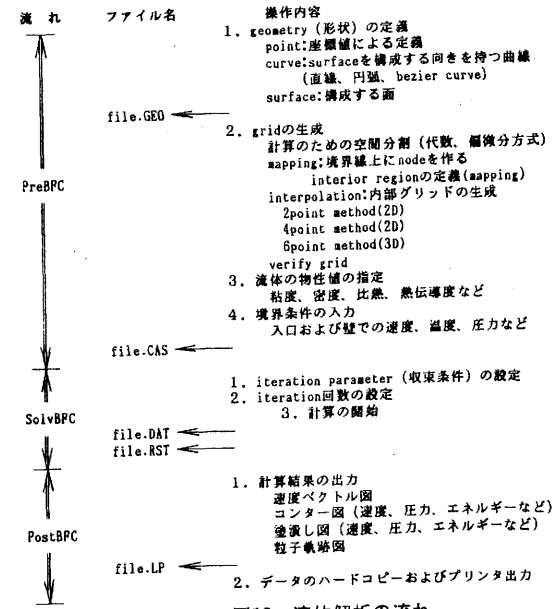


図18 流体解析の流れ

5. 2 FLUENT/BFCの解析理論<sup>1)12)13)</sup>

流れの数値シミュレーションにおける解析手法としては、多種多様な手法が採用され、一般的に用いられる手法としては次の3つのグループに分類される。この中で、差分法は先にも述べたように、基本的かつ重要な数値解法であり、シミュレーション技術として最も確立され、流れ問題においては最も多く利用されている。しかし、汎用性に乏しく、複雑な形状の計算をずる場合有限要素法には及ばない。

- (1) 有限差分法 (FDM法)
- (2) 有限要素法 (FEM法)
- (3) 境界積分法 (BIM法)

FLUENT/BFCの数値解法は、コントロールボリューム法に基づく有限差分法を用いており、差分スキームは精度が高く、すべてのレイノルズ数に対して安定なPower-Lowと呼ばれるスキームか、または2次の風上差分法のいずれかを使用できる。以下に述べる基礎方程式は、SIMPLEと呼ばれる繰り返し法のアルゴリズムで解かれ、これらは十分検証されている。

1. 基礎方程式

FLUENT/BFCは、質量、運動量およびエネルギーの3つの基礎方程式を解くことによって流体解析を行っている。これらの基礎方程式を直角座標系で表現したものを以下に示す。

(1) 質量方程式

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

- $\rho$  : 流体密度
- $t$  : 時間座標
- $x_i$  : i方向の座標成分 (i=1,2,3によりx,y,z方向を表す)
- $u_i$  : i方向の速度成分

上記左辺第2項のように添え字iが二つある場合はその項の先頭にΣが省略されている。

すなわち左辺第2項は

$$\frac{\partial (\rho u_1)}{\partial x_1} + \frac{\partial (\rho u_2)}{\partial x_2} + \frac{\partial (\rho u_3)}{\partial x_3}$$

を表す。

(2) 運動方程式 (ナビエ・ストークス方程式)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i u_j) = \frac{\partial}{\partial x_i} \mu \left[ \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \rho g_j + F_j \quad \dots\dots\dots (2)$$

- $\mu$  : 粘性係数
- $p$  : 圧力
- $g_j$  : 重力加速度のj方向成分
- $F_j$  : 二相間の運動量交換項のj方向成分

式(1)、(2)の左辺は移流項、式(2)の右辺第1項は拡散項、右辺第2項～第4項は順に圧力項、重力項等の体積力および二相流の場合の相間の運動量交換項である。

(3) エネルギー方程式

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i h) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \frac{\mu \partial h}{\sigma h \partial x_i} \right] + Sh \quad \dots\dots\dots (3)$$

- $h$  : 比エンタルピー=CpT
- $C_p$  : 定圧比熱
- $T$  : 絶対温度
- $\sigma h$  : エンタルピーhでの乱流プラントル数
- $Sh$  : 化学反応による発熱、相変化での潜熱および輻射による熱源項

以上の3方程式は標準的なものである。

エネルギー式(3)中の $\mu/\sigma h$ は通常交換係数と呼ばれている。

2. 乱流モデル

FLUENT/BFCにはk-εモデルと代数応力モデルと呼ばれている二つの乱流モデルが用意されている。

(1) k-εモデル

i方向の速度 $u_i$ を平均流 $\overline{u_i}$ とそこからの乱れ $u_i'$ との和で表す。

$$u_i = \overline{u_i} + u_i' \quad \dots\dots\dots (4)$$

これをナビエ・ストークス方程式(2)に代入して時間平均をとり $\overline{u_i} = u_i$ と書き直すと次式を得る。

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_j) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \mu \left[ \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] - \frac{\partial}{\partial x_i} \overline{\rho u_i' u_i'} + \rho g_j + F_j \quad \dots\dots (5)$$

$\overline{\rho u_i' u_j'}$  : レイノルズ応力

式(5)で平均流速 $u_i$ を求めるにはレイノルズ応力を評価する必要がある。これにはブシネスク近似として知られる次式を用いる。

$$\overline{\rho u_i' u_j'} = \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} - \mu t \left[ \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \quad \dots\dots\dots (6)$$

$k$  : 乱流の運動エネルギー = (1/2)  $\overline{u_i' u_i'}$

$\mu t$  : 乱流粘性係数

上式(6)における乱流粘性係数 $\mu t$ はプラントル・コロモゴロフの仮定と呼ばれる次式で評価される。

$$\mu t = \rho C_\mu k^2 / \epsilon \quad \dots\dots\dots (7)$$

$\epsilon$  : 単位時間あたりのkの散逸率

$C_\mu$  : 比例定数 (=0.09)

上式(6)、(7)でのkおよび $\epsilon$ は式(5)からはじまる以下の連立方程式から求められる。

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \frac{\mu \partial k}{\sigma_k \partial x_i} \right] + Gk - \rho \epsilon \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \frac{\mu \partial \epsilon}{\sigma_\epsilon \partial x_i} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} Gk - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad \dots\dots\dots (9)$$

$C_1, C_2, \sigma_k, \sigma_\epsilon$ : 定数 (実験により決定された標準的な値が内蔵されている。)

$G_k$  :  $k$ の生成項で次式で与えられる。

$$G_k = u_i \left[ \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right] \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (10)$$

### (2) 代数応力モデル

上記K- $\epsilon$ モデルでの乱流粘性係数 $\mu_t$ は、式(7)で表現されるように、空間的には等方的に表現されている。しかし、強い旋回流のような複雑な流れでは、乱流は等方的でないことが知られている。そこでレイノルズ応力の式(6)を、ナビエ・ストークス方程式に忠実に評価するためにレイノルズ応力モデル(RSM)が考案された。RSMでは、乱流の等方性は仮定されておらず、K- $\epsilon$ モデルに対して、さらに6個の偏微分方程式を追加してレイノルズ応力が評価される。しかしこのモデルは、計算時間がばかにならないという問題点がある。そこでRSMで追加された6個の偏微分方程式を代数方程式で近似することにより、計算時間を短縮したものが代数応力モデル(ASM)である。ASMは、RSMとほぼ同等な解が得られ、計算時間はK- $\epsilon$ モデルと比べ高々約30%の増加に抑えられている。

## 5. 3 パルプ解析の流体物性値、境界条件と収束条件

### (1) 流体物性値

今回解析を実施した時の流体物性値を次に示す。流体は293.15°Kの水として設定した。

#### CONDUCTIVITY (熱伝導率)

ON ENERGY EQUATION

CONSTANT METHOD

0.5988 CONDUCTIVITY VALUE W/m·°K (0.515 kcal/m·h·°C×1.16279)

#### DENSITY (密度)

CONSTANT METHOD

998.2 DENSITY VALUE kg/m<sup>3</sup> (T=293.15°Kの時)

#### VISCOSITY (粘度)

TURBULENT VISCOSITY

YES MODIFY-TURBULENCE

0.42 VW-KARMAN CONSTANT

1 K.E.-PRANDTL-NUMBER

1.3 F.D.-PRANDTL-NUMBER

1.44 C1-CONSTANT

1.92 C2-CONSTANT

CONSTANT METHOD

1.005E-3 DYNAMIC-VISCOSITY VALUE Pa·S (1.005cP×10<sup>-3</sup>)

#### SPECIFIC HEAT (比熱)

CONSTANT METHOD

4182 SPECIFIC HEAT VALUE J/kg·°K (0.999kcal/kg·°C×4.18605×10<sup>3</sup>)

### (2) 境界条件

FLUENT/BFCでの境界条件は以下のように設定することができる。

1. 流体の入口では速度、温度等の独立変数を入力指定できる。
2. 流体の出口では直前のNodeとの間での各独立変数の傾きが延長されるという仮定により境界条件が自動的に設定される。
3. 流体の体積が変化しない方向への移動境界とすべり壁/非すべり壁を指定できる。
4. 非すべり壁では壁面剪断応力が壁面粗さを考慮した内蔵壁関数で評価される。
5. 壁面での熱的境界としては、等温壁、等熱流束、等熱伝達係数または断熱のいずれかを選択できる。

今回指定した境界条件は次のとおりであり、この時のレイノルズ数は、約260,000である。

#### WALL (配管等の壁の条件)

##### VELOCITY-B.C.

1-13 WALL ZONE

CONSTANT VELOCITY METHOD

0 X-COMPONENT OF VELOCITY V=0m/sec

0 Y-COMPONENT OF VELOCITY V=0m/sec

0 Z-COMPONENT OF VELOCITY V=0m/sec

YES NON-SLIP WALL

#### INLET (入口の条件)

1 INLET ZONE

CONSTANT VELOCITY METHOD

2 X-COMPONENT OF VELOCITY V=2m/sec(平均流速で一樣と仮定する)

0 Y-COMPONENT OF VELOCITY V=0m/sec

0 Z-COMPONENT OF VELOCITY V=0m/sec

### (3) 収束条件

解析を実施するにあたっては、各方程式の計算ごとの解の許容差を収束条件として設定し、この収束条件を満足するまで解析を繰り返し実行する。収束するまでは任意の収束回数を設定して計算を開始するが、今回の解析でのIteration(繰返計算数)は100回(改良前モデルの場合、解析時間は約10時間)とした。但し、設定した収束条件を満たす所まで解析できなかったが、300回、500回まで解析を再実行させた結果、ほぼ同じ結果が得られたので、これ以上の繰返計算は中止した。

今回使用した収束条件(解析手順)は次のとおりである。

1.READ CASE-FILE

2.ITERATION PARAMETERS

MOMENTUM-EQUATION

YES WC-USE IN OVERALL CONVERGENCE CHECK

YES WD-DISPLAY RESIDUAL IN OUTPUT TABLE

ENERGY-EQUATION

1.0E+05 OVERALL CONVERGENCE TOLERANCE

YES WC-USE IN OVERALL CONVERGENCE CHECK  
 YES WD-DISPLAY RESIDUAL IN OUTPUT TABLE  
 VISCOSITY-EQUATION  
 0 RELAXATION PARAMETER  
 CONDUCTIVITY-EQUATION  
 0 RELAXATION PARAMETER  
 MASS-CONVERGENCE-EQUATION  
 1E-03 OVERALL CONVERGENCE TOLERANCE

3. ITERATION=20 (単純モデルではITERATION=10) SOLVE—安定していれば次に進む

4. VISCOSITY-EQUATION  
 0.5 RELAXATION PARAMETER  
 CONDUCTIVITY-EQUATION  
 0.5 RELAXATION PARAMETER

5. ITERATION=10 SOLVE—単調減少したら次に進む。  
 MOMENTUM-EQUATION

0.7 U-RELAXATION PARAMETER  
 0.7 V-RELAXATION PARAMETER  
 0.7 W-RELAXATION PARAMETER

6. ITERATION=N SOLVE—収束するまで解析を繰り返す。

#### 5. 4 同心型改良前弁体の流体解析

弁体のモデリングから4. 4. 3の流体物性値、境界条件および収束条件による解析について以下に説明する。

##### (1) Geometryの定義

解析に使用する形状の定義は、一般座標系を使用してデカルト座標と1:1で対応がとれていることが必要である。また、一般的なFEM法による構造解析と異なって、解析Cellとして6本の直線またはBezier Curveにより構成された6面体を基本としている。従って、Cellの頂点部分を構成する8 Pointについて、3次元座標値の入力が必要とされる。しかし、ほとんどの場合、相似形の移動や拡大、円弧が多く、要素のコピーコマンドにより自動定義が可能なPointは入力を省略することができる(基本となるPointのみ入力)。また、ここで定義されるPoint、Curve、Surfaceは、全て命名が必要である。

##### 1. Pointの定義

形状定義に必要な基本的Pointの座標値を入力して定義する(今回92Point定義)。このPointは直接的にはGrid生成とは関係ないが、Grid生成に必要なPointは必ず含まれていなければならない。図19にPointを表示したComputational Domainを示す。

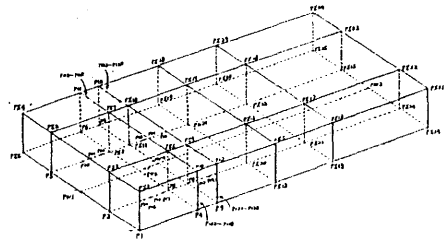


図19 Computational Domain (Defined Point)

##### 2. Curveの定義

Curveは、複数のPointを結ぶ直線または自然に滑らかに生成されるBezier Curveで定義され、Surfaceを構成する重要な要素となる(今回102 Curveを定義)。図20にCurveを表示したComputational Domainを示す。

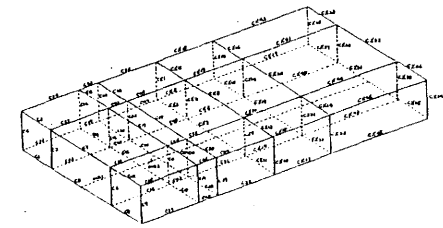


図20 Computational Domain (Defined Curve)

##### 3. Surfaceの定義

Surfaceは、4 Cornerと4 Edgeを持つ数学的な矩形で定義され、同時にBoundary Typeが定義される。(今回68面定義)つまり2組のU-CurveとV-Curveで構成される。

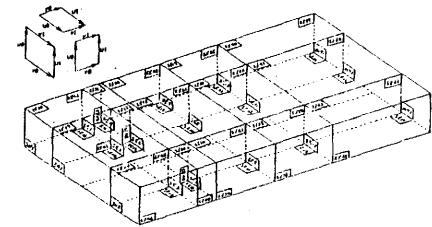


図21 Computational Domain (Defined Surface)

具体的な面の生成は、Patch、Arc、Sweep、Joinなどの機能を使用する(付加機能: Translate、Copy-Element、Rotate、Scale)。図21にSurfaceを表示したComputational Domainを示す。

##### (2) 有限差分Gridの生成

一般曲線座標において、Gridの計算には代数的方法(Mapping、Interpolation)とLaplace偏微分方程式(Point間のポテンシャルを計算し、分割を滑らかにする)による方法により生成される。まず、IJK方向のTotal Grid Sizeを指定した後、境界線上にMappingするためのNodeを指定し、その間に内部Gridを自動生成する。(Interpolation)

全Grid Node数は、 $46 \times 11 \times 21 = 10,626$ とした。

図22に定義したOuter Boundary Mapping

図23に計算上のGrid

図24に定義した形状のOutline

図25にInterpolateするために指定したRegion

図26に生成したFinite Difference Grid

を示す。

(Computational Domain)

(Computational Domain)

(Physical Domain)

(Physical Domain)

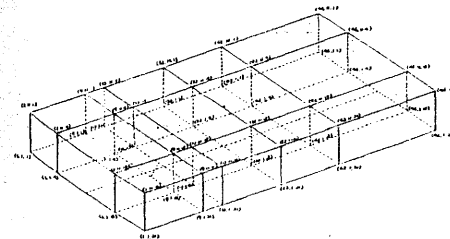


図22 Computational Domain (Boundary Mapping)

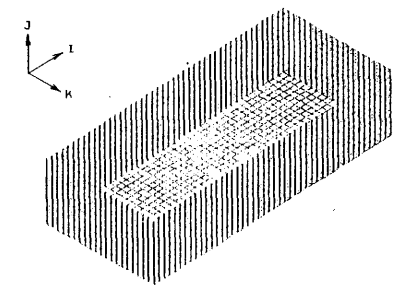


図23 Computational Grid



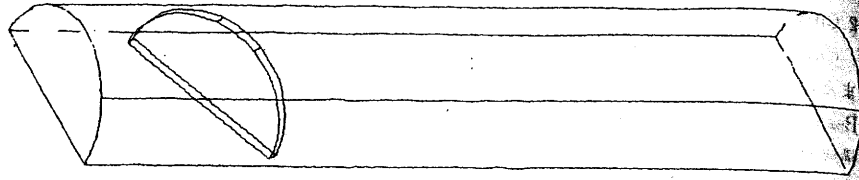


図24 Geometrical Outline (Physical Domain)

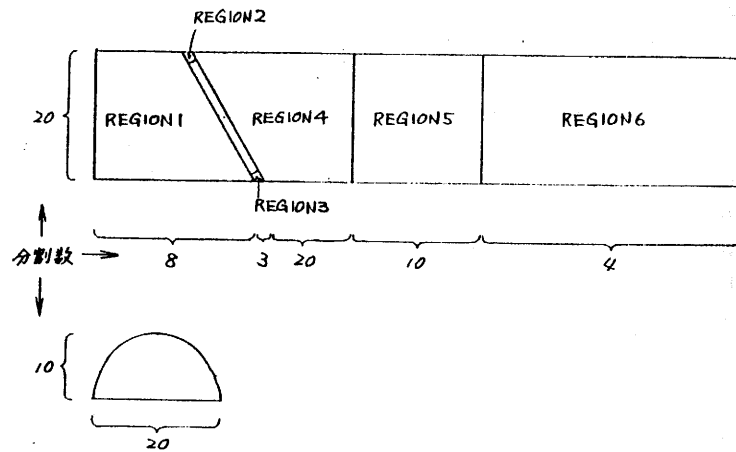
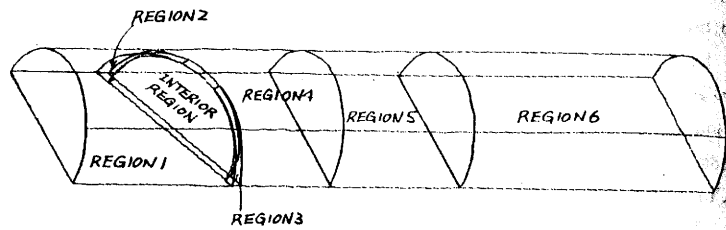


図25 Region of Grid Interpolation

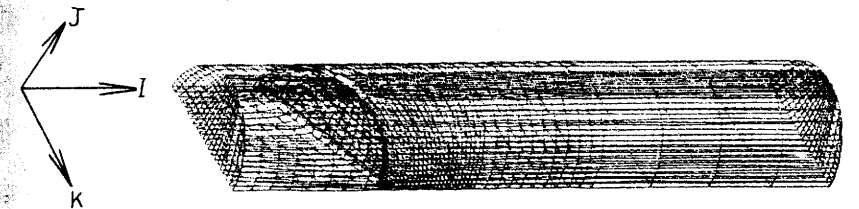
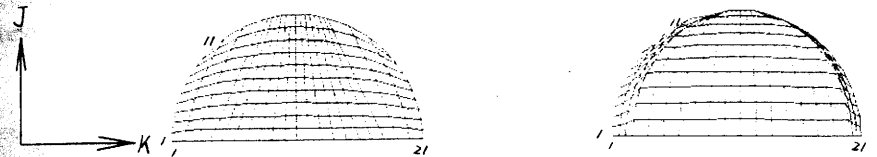
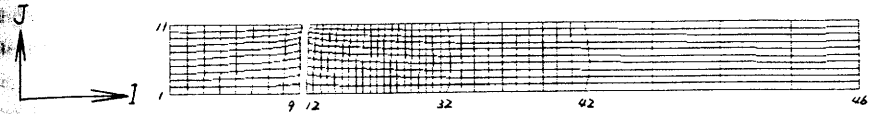
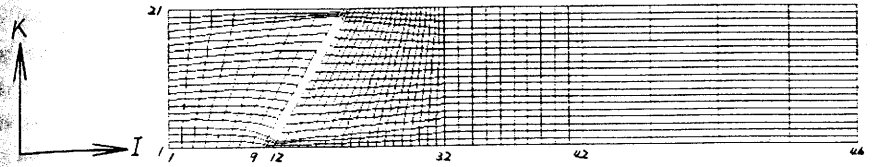


図26 Finite-Difference Grid (Physical Grid)

(3) 解析結果の出力と検討

解析の結果、解析項目の最大値および最小値は次のとおりである。

	MAX VALUE	MIN VALUE
VELOCITY MAGNITUDE	62.46949	0
U-VELOCITY	29.84986	-8.768053
V-VELOCITY	33.42448	-28.82180



W-VELOCITY	43.52272	-41.47859
PRESSURE	6262.362	-319486.6
TEMPERATURE	293.1505	293.1497
VISCOSITY	7.603580	0.001005
CONDUCTIVITY	45420.55	0.5988

1. 流れの解析結果 (速度ベクトル図、速度コンター図)

図27は、J軸でSliceした面でのI,K方向のU,W速度ベクトル図を平面表示したものを示す。

J=2,3の中心部分では、オリフィス噴流による1つの大きな渦と、オリフィス側、ノズル側との壁面近くで、壁面に沿った直線的で大きさが最も大きい流れのコアを形成している部分がはっきりと出ている。また、オリフィス側の弁体後流では、逆流現象がはっきりと現れ、コアとの境界極端な剪断層ができることも示されている。J=4~8の中間部分では、2~3個の複数の向きが反転した渦が形成されている状態が分かり、弁体後流部では、複雑な流れになっていることを示している。J=9,10の最も微小な隙間である壁面との接合部では、弁体エッジから後流部へ、オリフィス側は外側へ、ノズル側は内側へ激しく噴出している様子が分かり、後流中央付近に1つの強烈な渦が形成されていることが分かる。

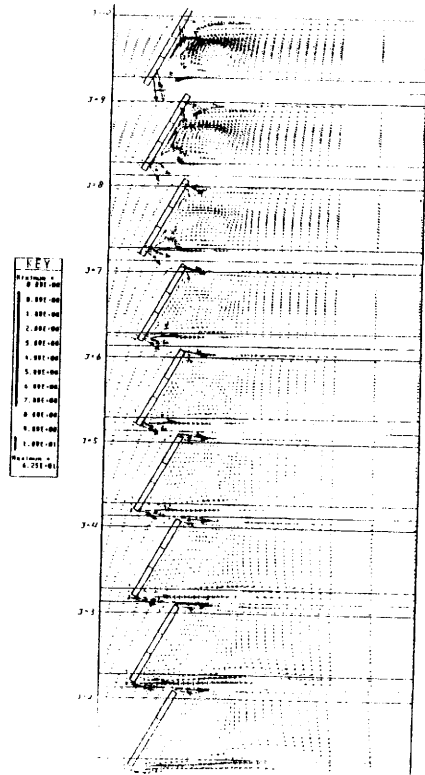


図27 U, W速度ベクトル図 (J軸スライス)

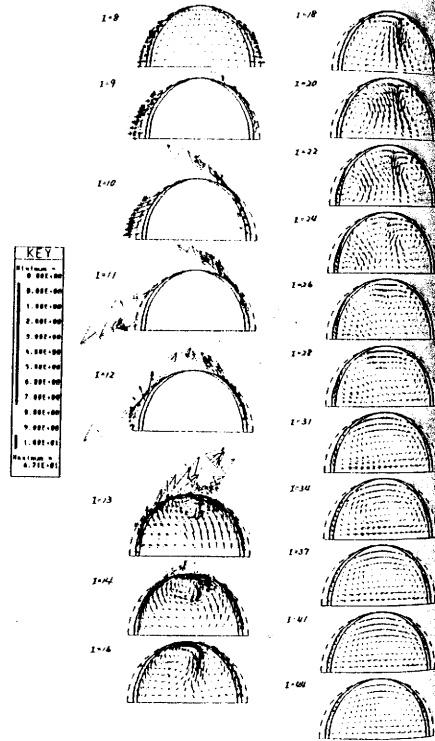


図28 U, W速度ベクトル図 (I軸スライス)

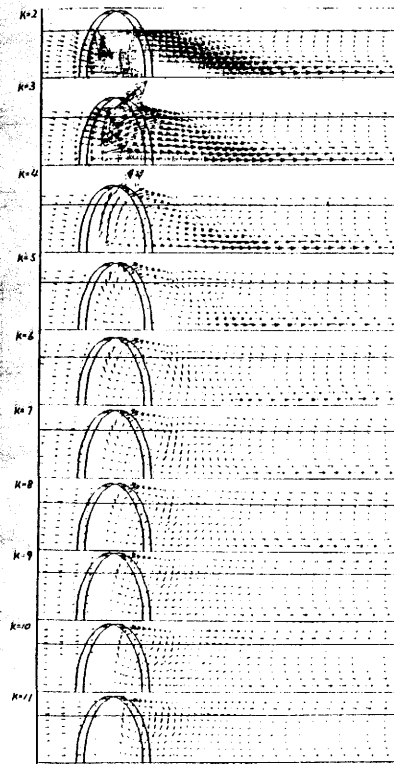


図29-1 U, W速度ベクトル図 (K軸スライス)

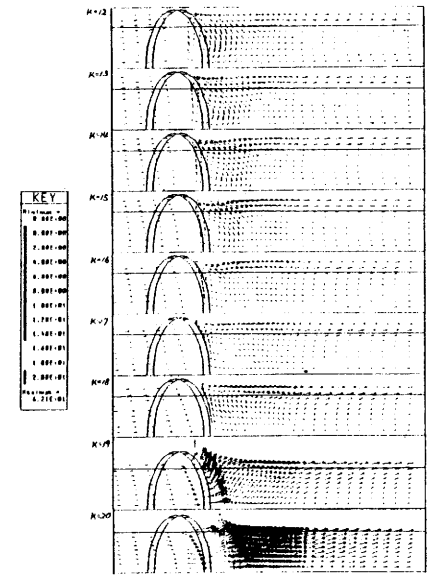


図29-2 U, W速度ベクトル図 (K軸スライス)

図28は、I軸でSliceした面でのJ,K方向のV,W速度ベクトル図を側面表示しており、図に向かって左側がオリフィス側、右側がノズル側である。I=8の弁体直前部では、オリフィス側で流体が分岐している様子が示され、開口面積の広い中央部へと流れが向いている様子が分かる。I=10~11は流体が弁体を通る部分の流れを示しており、オリフィス側は外側の方向で配管中央に向かって流れているのに対して、ノズル側は、内側の方向で、配管の接続部へ向かって流れており、対照的である。しかし、I=13,14の弁体のすぐ後ろの部分では、オリフィス側で急激に流れ方向が反転し、総じて配管中央から接続部への流れに変わり、ノズル流と合わさって接続部で鋭い渦を形成している様子が分かる。その後、I=16~18の部分になると、接続部への流れの戻りが配管中央方向へ変わり、オリフィス側とノズル側に配管中央に向かっての2つの渦が形成されているが、オリフィス側の渦の方がノズル側に比べやや優勢である。この2つの渦は、やがてI=22以降でノズル側の渦が支配的となり、オリフィス側の渦は、中央への流れ込みの流れが残り、渦はなくなり始める。I=28付近より後流になるに従って、オリフィス側の戻り流れは、ノズル側の渦に加わって完全に消滅し、しかも渦の中心はだんだんと配管の中央部に移動するようになる。I=44に至っては、緩やかな渦流となって、ベクトルの大きさも小さくなっていく。

図29-1、29-2は、K軸でSliceした面でのI、J方向のU、V速度ベクトル図を正面表示したものである。K=2がオリフィス側、K=20がノズル側である。K=2,3はまさにオリフィス流であり、壁面近では、激しく配管中央に向かって流れるが、弁体エッジ付近では、弁体を避けるように一旦外に向かって膨らむように流れている。K=4以降、弁体中央のK=10までの部分では、この膨らみある流れ（方向）が、渦の生成要因となっていると思われる。K=12~15の中央からノズル側に動すれば、弁体からの噴き出し流れが鋭角的に中央部に向き、オリフィス側と同じ方向の渦を成するようになる。K=17、18のノズル近辺の弁体後部では、はっきりとした渦は形成されず、中央から配管との弁体接合部分への流れに一本化されてしまう。K=19、20のノズル部分ではオリフィス側と全く流れが異なり、流れが配管中央部に戻ることなく、外側みの方向で激しく出している様子がよく分かる。

次に、図30~32の速度コンター図を用いて、この速度の大きさについて検討する。流体速度の解析結果については、全方向に対してはMAX62.5m/sec、U方向成分についてはMAX29.8m/secであった。単純に流体が弁体を通る際の平均流速は、開度30%の時で開口面積比が10.9%であるので、平均約20m/secとなる。つまり、ある部分においては、平均流速の約3倍の速度で流れていることが分かる。また、弁体下流においては、速度ベクトル図より逆流する部分があり、U方向に対してはMAX8.8m/secであるが、W方向でMAX41.5m/secという結果から、オリフィス側→ノズル側方向の渦の強さがうかがえる。

図30は、J軸でSliceした面でのI方向のU速度成分の大きさを示すものである。

オリフィス側の方に、速度の大きい部分が集中していることが分かる。しかも、接続部分では特に著しく多い。また、逆流している部分ははっきりと示され、中央付近では、弁体後部ではほとんどを占め、Jが大きくなるに従って、ノズル側に円形状の順方向流れが現れてくる様子が分かる。

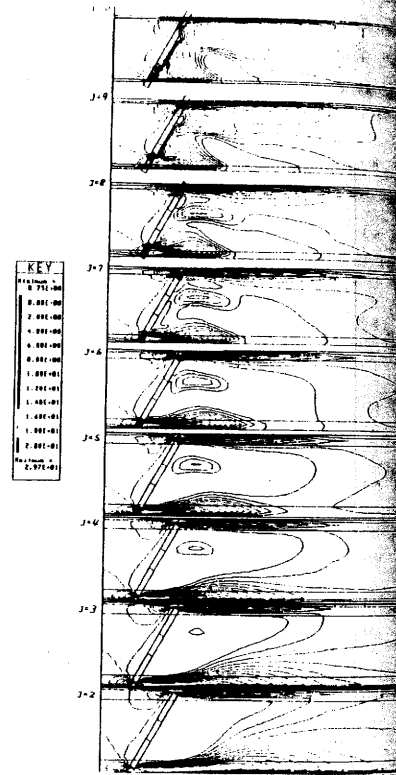


図30 U速度成分コンター図（J軸スライス）

図31は、同じくJ方向のV速度成分の大きさを示すものである。

Jが小さい中央付近では、速度の大きい分布はみられず、接続部の弁体エッジ部にいくに従って増えてくる。ノズル側では、特に中央から接続部に向かっての流れが配管に沿って長く伸びてい

る。また、後流部分では、ノズル側よりで、接続部から配管中央に向かった流れが渦で示されている。

図32は、同じくK方向のW速度成分の大きさを示すものである。

オリフィス側の流れが、中央から接続部にいくに従ってK/方向流れが逆転している様子がはっきりと示されている。ノズル側では当然ながらオリフィス側とは逆方向である。

以上の速度ベクトル図および速度コンター図から、弁体中央からオリフィス側領域のJ=5~10付近で、しかも、I=30~40近辺での速度の大きさが、いずれの方向にも小さくなる位置が存在しており、この部分はほかならぬ実験的に最もキャビテーションが成長する位置とほぼ一致する結果が得られている。キャビテーションの成長が、速度となんらかの相関関係にあることは間違いないと考えられるが、他の項目の解析結果を併せて後で述べることにする。

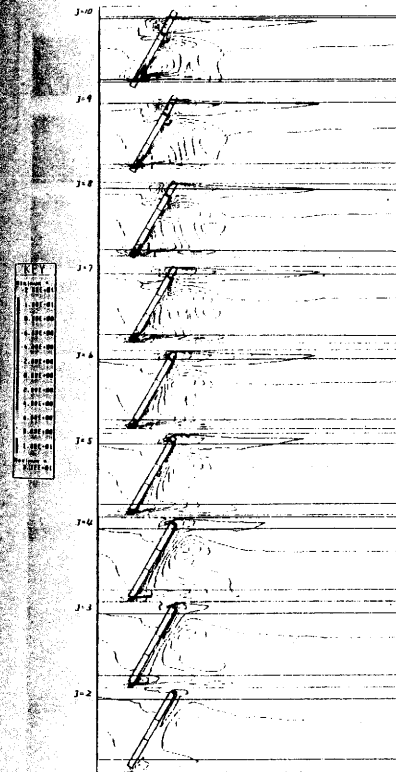


図31 V速度成分コンター図（J軸スライス）

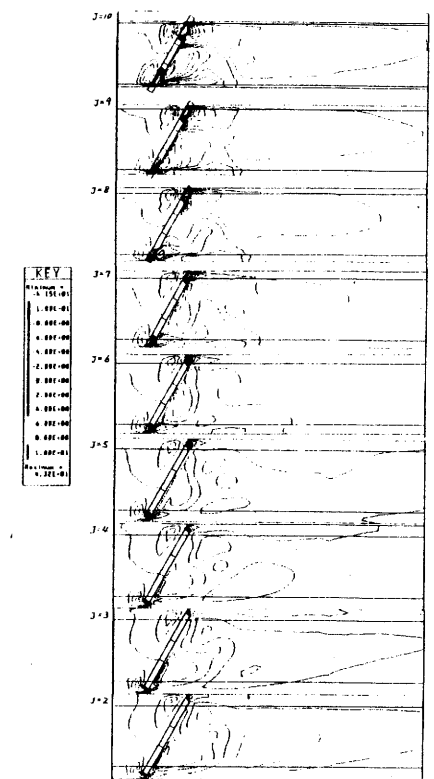


図32 W速度成分コンター図（J軸スライス）

2. 圧力の解析結果 (圧力コンター図)

図33は、J軸でSliceした面での圧力ラスタプロット図を示す。ただし、絶対圧力は示されず、弁体上流部を圧力0とした場合の相対圧力で示されている。最大差圧は、約319KPaであった。

この図からは、弁体のすぐ裏側は極端に上流圧に比べて低圧となり、特にノズル側、オリフィス側を問わず両方とも、弁体エッジ付近で集中して下がっている。すなわち、キャビテーションの発生はこの部分で核から発生の過程を引き起こすと考えられる。また、後流にいくに従ってしばらく低圧部が続いた後、徐々に圧力の回復がみられるようになり、キャビテーションの成長、壊滅に影響を与えていると考えられる。

3. 渦粘度の解析結果 (渦粘度ラスタプロット図、渦粘度コンター図)

図34は、J軸でSliceした面での渦粘度ラスタプロット図を示す。

この図からは、2つの領域を中心に弁体後流の一定の領域において、渦粘度が極端に大きくなった領域が発生することが分かる。この領域の内後流部分は、正に、キャビテーション気泡が壊滅する領域とほぼ一致する領域であり、相関があると考えられる。

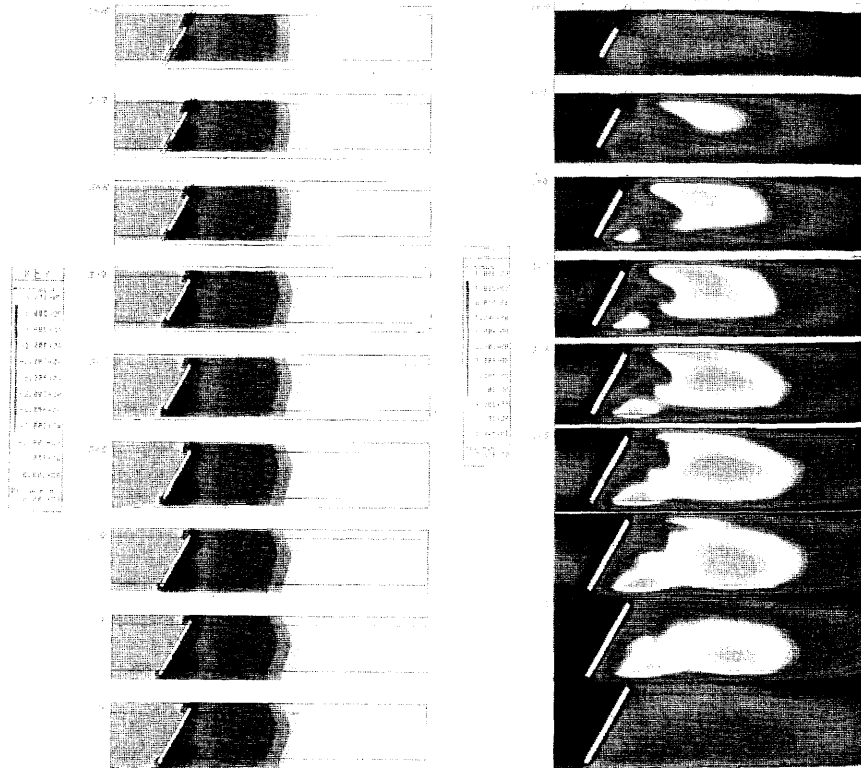


図33 圧力ラスタプロット図 (J軸スライス) 図34 渦粘度ラスタプロット図 (J軸スライス)

図35は、I軸でSliceした面での渦粘度ラスタプロット図を示す。

この図からも、先に述べたキャビテーションとの相関がはっきりと分かり、弁体後流部分において、ノズル側エッジ部分を始点に渦粘度の高まる領域が出現し始め、後流にいくに従ってこの領域が中央からオリフィス側へと移動する様子が明確に示されている。さらに、図36-1、36-2にK軸でSliceした面での渦粘度ラスタプロット図でもはっきりと示されている。

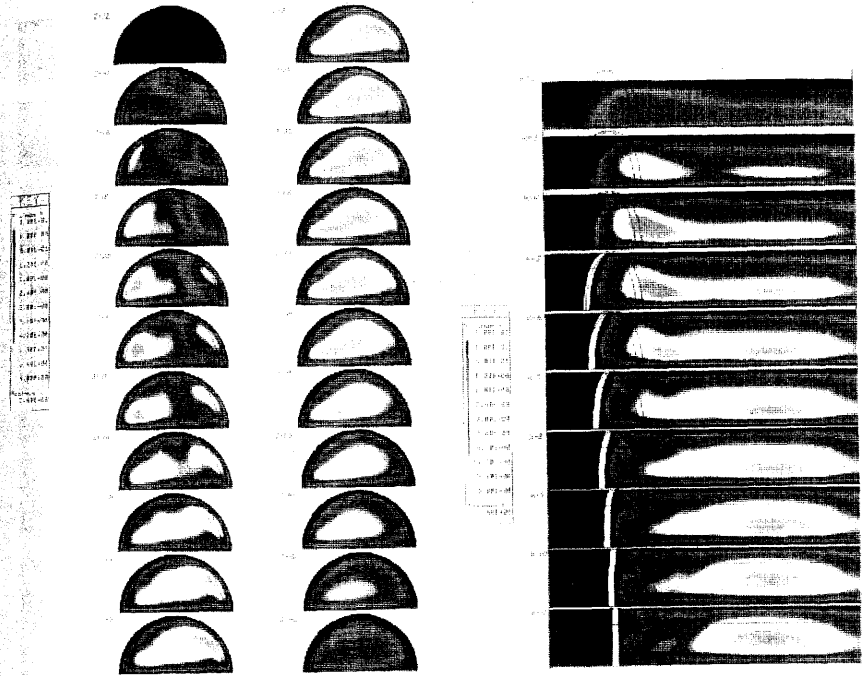


図35 渦粘度ラスタプロット図 (I軸スライス)

図36-1 渦粘度ラスタプロット図 (K軸スライス)

#### 4. 熱伝導度の解析結果 (熱伝導度ラスタープロット図)

図37は、J軸でSliceした面での熱伝導度ラスタープロット図を示す。

この図からは、先に述べた渦粘度とほぼ一致した領域において、熱伝導性が高くなる領域が生じており、流体が運動することによって、その性状が大きく変わることの意味しているられる。

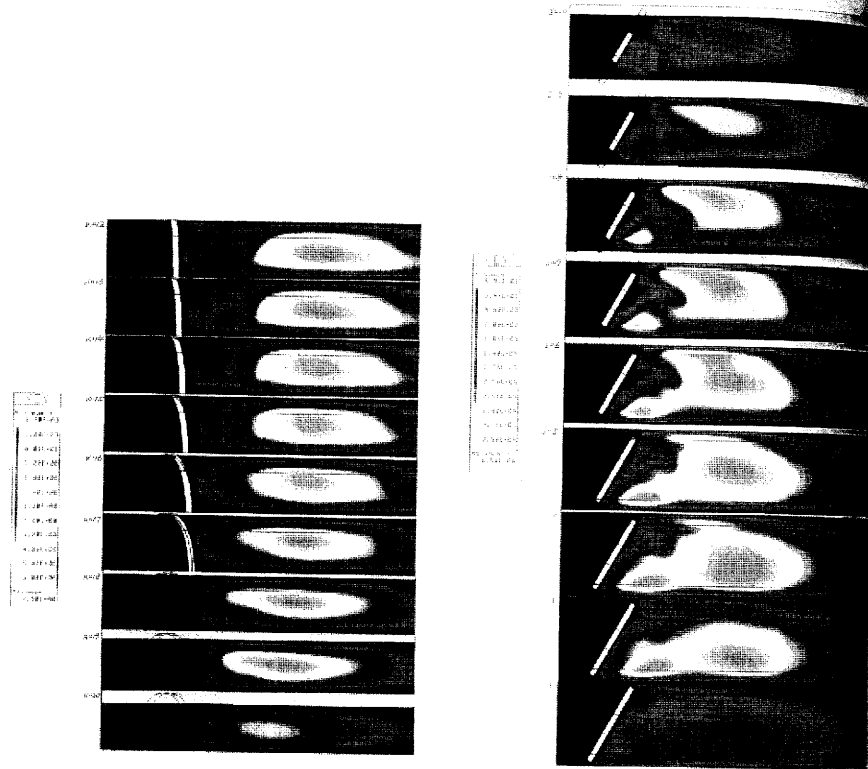


図36-2 渦粘度ラスタープロット図 (K軸スライス)

図37 熱伝導度ラスタープロット図 (J軸スライス)

#### 5. 温度の解析結果 (温度ラスタープロット図)

図38は、J軸でSliceした面での温度ラスタープロット図を示す。

この図からは、大きな温度変化はみられない結果となっている。最大温度差は0.0008°Kであった。

以上の解析結果を総合すると、弁体裏側の極端な低圧部によってキャビテーションが発生し始め、複雑な渦流と共にキャビテーションが成長していく。このキャビテーション気泡は、渦粘度が極端に大きくなった領域では、もはやそれ以上維持、成長することができなく、しかも各方向への速度成分の値が小さくなっているため、最大限に成長した気泡は、この領域において集中的に壊滅すると考えられる。また、この領域においては、熱伝導率が大きく高まり、流体が運動することによって、流体の性状が静止状態に比べて大きく変化することを示すものと考えることができる。

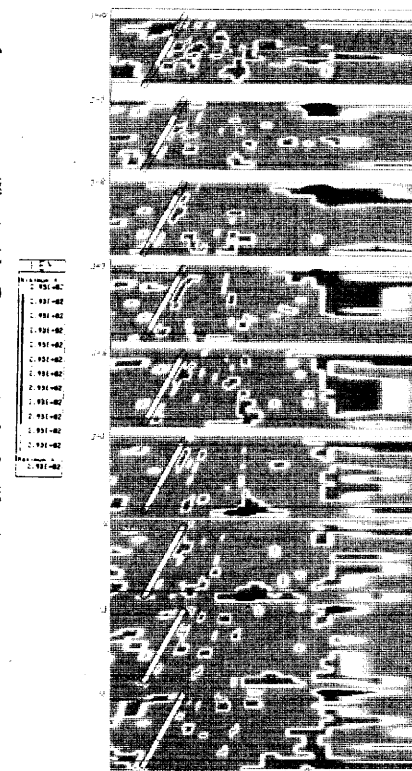


図38 温度ラスタープロット図 (J軸スライス)

#### 5. 5 穴無し整流ディスク付き弁体の流体解析

今回考案した穴開き整流ディスク付き弁体を解析するにあたり、Geometryモデリングの作業過程中、上流・下流の各整流ディスクのInterior Regionとしての定義方法が複雑を極め、ただちにグリッドを生成して解析を実施することが困難である。従って、現段階のモデリング状態 (穴無し整流ディスクをInterior Region定義) で解析を試みた。

この弁体は、整流ディスクを含めた外周が、ほぼ弁体直径に接する球状をなしているため、モデリング開度30%においては大きい方の整流ディスクエッジがほとんど配管近くに位置するため、弁体対称面では(J=1)流れる隙間がほとんど無い状態である。(穴開きで最大限の効果を狙うため)

なお、解析結果はIteration=20の時のデータであり、最小Gridが極めて小さく、各グリッドでの質量保存方程式の計算値がIteration=30近辺で異常値を出す程で、収束はしておらず、参考データとする。これを計算させるには、後の問題点の項目で述べるGridの最適化が最も重要であり、解析までに相当の時間を費やす必要があると考えられる。

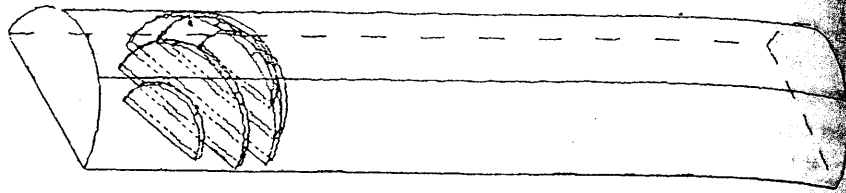


図39 Geometrical Outline (Physical Domain)

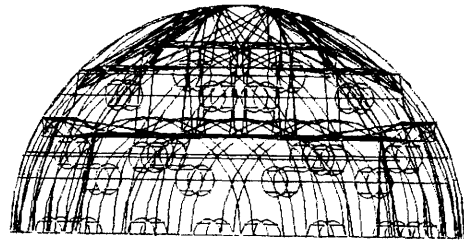
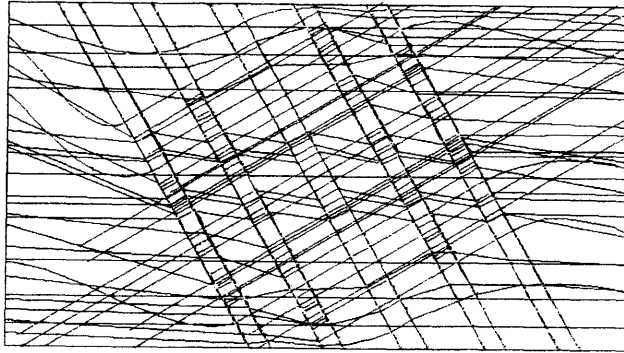
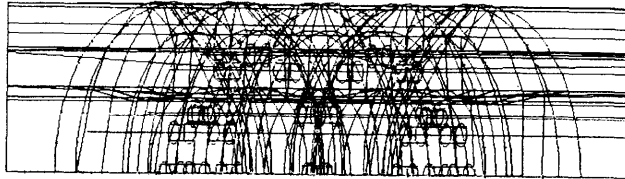


図40 Geomtryの正面図、平面図、側面図 (バルブ付近)

(1) Geometryの定義

図39穴開き整流ディスク付き弁体の定義形状のOutlineを示し、図40に入力したPoint、Curveで構成されるバルブ付近の正面図、平面図、側面図を示す。

1. Pointの定義

このモデルで、 880Point 定義している。

2. Curveの定義

このモデルで、 1,447Curve 定義している。

3. Surfaceの定義

このモデルで、 970Surface 定義している。

(2) 有限差分Nodeの生成

全Grid Node数は、 $73 \times 26 \times 44 = 83,512$ とした。

図41に生成したFinite Difference Grid (Physical Domain) を示す。

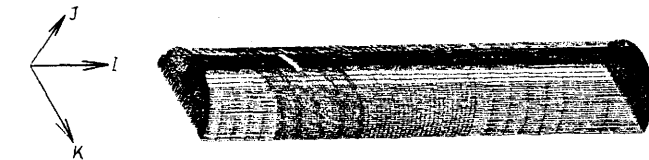
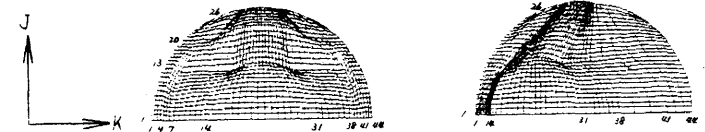
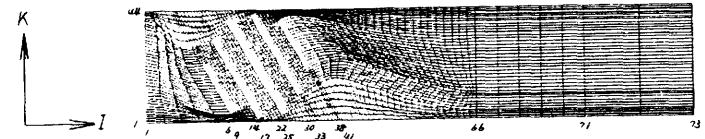


図41 Finite-Difference Grid (Physical Grid)

(3) 解析結果の出力と検討

解析の結果、解析項目の最大値および最小値は次のとおりである。

	MAX VALUE	MIN VALUE
VELOCITY MAGNITUDE	-	0
U-VELOCITY	109.8660	-127.0764
V-VELOCITY	96.98793	-127.8295
W-VELOCITY	200.4952	-233.3094
PRESSURE	34268.50	-2132625
TEMPERATURE	293.1503	293.1498
VISCOSITY	0.4699748	0.001005

なお、この解析は整流ディスクエッジが配管壁面に極めて接近し、隙間がかなり小さい間の解析Cellは極端に小さく非常に密集した状態で行っている。その上、全Node数が8万と当ソフトの解析限界近くまで増やしている影響で、Mass Equation的に誤差が大きく、計算中で (Iteration=約30回前後) 成立しなくなっている。この結果は、初期収束条件の設定で正しく動作したIteration=20回解析の結果である。すなわち、収束ができていないので正確な解析結果なく、流れの傾向をつかむ程度に出力させたものである。

1. 流れの解析結果 (速度ベクトル図)

図42は、J軸でSliceした面でのI,K方向のU,W速度ベクトル図を平面表示したものを示す。

この図から、弁体と整流ディスク (下流大) 付近で、速度の大きくなる領域が集まっている。改良前弁体のように、オリフィス側のコアは見あたらないが、ノズル側の中央部において、弁体の隙間から、若干コアらしい流れができている。また、整流ディスク (上流大・小) の流れへの影響は少なく、流速も余り変化していない。しかし、流れの主流は、弁体上流・下流側とも共通で、弁体と整流ディスク (大) 間で、整流ディスク間 (大・小) では逆流となっている。J=2~10の中央部分では、整流ディスク (下流大) のオリフィス側において、隙間がほとんどないため、跳ね返りによる逆方向の極めて速度の大きい特徴的な流れを示している。J=22~25の弁体と配管接合部分においては、弁体に沿う様に中央で2分された相反する方向へ、すどく噴き出す流れがみられる。整流ディスク (下流小) より後流では、ノズル側に比較的大きいオリフィス側に向かっての速度ベクトルが集まって主流

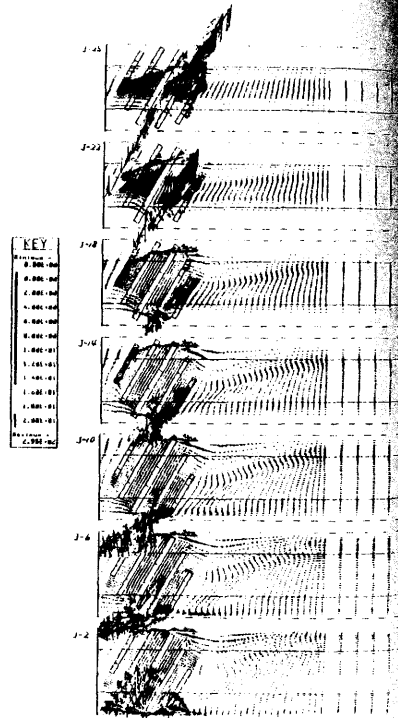


図42 U, W速度ベクトル図 (J軸スライス)

存在しており、オリフィス側は余り流れていないことが分かる。

図43は、I軸でSliceした面でのJ,K方向のV,W速度ベクトル図を側面表示したものである。

弁体開度の関係から、I=5~11の上流と整流ディスク (上流大) の部分では、オリフィス側の広く開いた方が流れの主流であることを示し、整流ディスク (上流大) に到達するまでは大きな速度の増加は余り見られない。I=15~19の整流ディスク (上流大) 通過後弁体までの間では、ほとんど全てのベクトルがオリフィス側からノズル側に向かっており、ノズル付近でベクトルの大きさも増していることが分かる。ところが、I=23~27の弁体通過部分から整流ディスク (下流大) 間では、弁体隙間からの中央へ向かっての鋭い噴き出しが現れ、流れはノズル側の方へ向いている。I=31の整流ディスク (下流大) 通過部に至っては、オリフィス側で開口面積が急激に小さくなることから、弁体通過部以上に中央部に激しく噴き出し、配管接続部分では反対にノズル方向の外側に向かって激しく噴き出している。I=35の整流ディスク (下流大・小) 間では、流速は弱まるものの、オリフィスより鋭い渦が複数形成され、複雑な流れ模様を示す。I=39以降の整流ディスク (下流小) の噴き出しからは、ノズル側からオリフィス側への流れとなり、後流に行くに従って流れに平静さが取り戻され、速度ベクトルの大きさも次第に小さくなっていく。

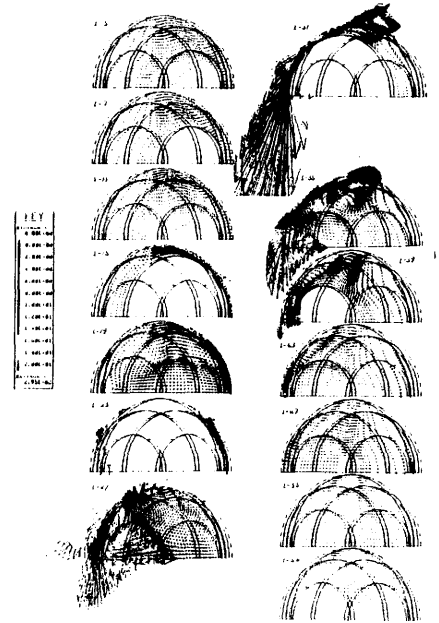


図43 U, W速度ベクトル図 (I軸スライス)

図44-1, 44-2は、K軸でSliceした面でのI,J方向のU,V速度ベクトル図を正面表示したものである。

K=2,4のオリフィス側では、配管中央部に向かって激しく流れ込む様子がはっきりと分かり、配管接続部分で逆流現象と1つの渦を形成している。K=7,14では、弁体と整流ディスク (下流大) 間で、流れは複雑を極め、あらゆる方向の流れによって構成されている。K=22の中心部からK=38のノズル方向に移れば、配管接続部分で若干噴き出しが残るものの、次第に流れが一定方向に定まる傾向をみせている。K=41, 43のノズル側では、オリフィス側と全く様子が異なり、微小部の通過時に速度は速まるものの、開口面積が次第に広がることもあって、乱れの無いおとなしい順方向流れとなり、オリフィス側のような渦等の発生もみられない。



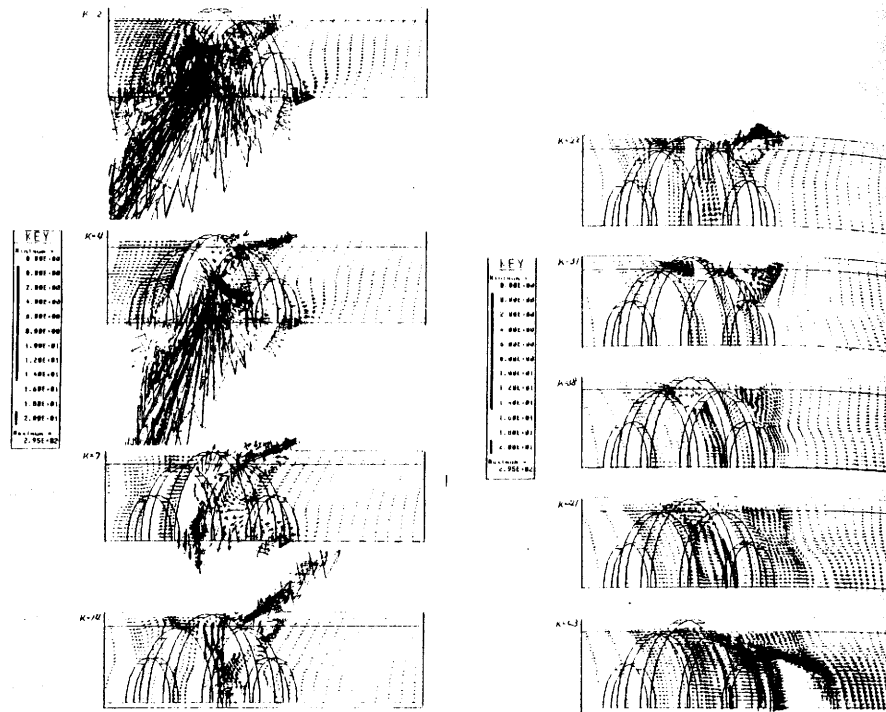


図44-1 U、V速度ベクトル図 (K軸スライス) 図44-2 U、V速度ベクトル図 (K軸スライス)

## 2. 圧力の解析結果 (圧力コンター図)

図45は、J軸でSliceした面での圧力ラスタープロット図を示す。

J=2の中央部においては、オリフィス側の弁体通過部分から整流ディスク (下流大) にかけて、一次的に高圧となる所が現れている。また、J=25の配管接続部分の整流ディスク (下流大) でも高圧部が見られる。これに対して、いずれのスライス断面においても、特にオリフィス側の弁体裏側から整流ディスク (下流小) にかけて極度の低圧部が生じている。ノズル側においては、弁体を通る部分のみ低圧部が生じ、整流ディスク (下流大・小) では見られない。弁体部通過後の後流配管内においては、特に圧力は一定値を示し、回復していることを示している。

図46は、I軸でSliceした面での圧力ラスタープロット図を示す。

この図は、図49で圧力変化の見られた弁体から整流ディスク (下流小) 通過後までの領域について示したものである。I=23の弁体通過時のノズル側は全ての領域で低圧部となるが、オリフィス側では中央部のみ高圧領域となり、配管接続部分まで間の中央部において低圧となっている。I=27

の弁体と整流ディスク (下流大) との間においては、ノズル側ではすぐに圧力回復するが、オリフィス側では弁体裏側に低圧部が大きく広がってくる。I=31の整流ディスク (下流大) 通過部でも同様、オリフィス側を中心に低圧部が持続される。I=35の整流ディスク (下流大・小) 間においては、その後の流れの障害が小さい整流ディスクであり、オリフィス側ではノズル側からの流入によって圧力回復部が現れ、低圧部が2つに分離している。またここまでくると、高圧部が消滅してくる。I=39の整流ディスク (下流小) 通過部では、低圧部は隙間の一カ所に戻り、配管接続部方向の低圧部は回復してくる。

以上の結果から、整流ディスク (上流・下流) を含む弁体通過中は、非常に変化に富んだ流れ模様を形成し、特に弁体通過後は激しい噴き出しと渦が発生する。また、オリフィス側を中心に極端な低圧部を生じることから、キャビテーションが発生し易い状況にあると考えられる。しかし、弁体部通過後は、低圧部の持続が少なく圧力回復が速いため、キャビテーションの成長は、改良前弁体のように配管後流までは維持できないのではないかと考えられる。なお、この弁体は穴無しのため、配管途中で流路を急激に変化させているだけで、弁体下流側のエネルギーを分散させてキャビテーションの発生・成長を抑制する効果としては、余り出ていないように考えられる。

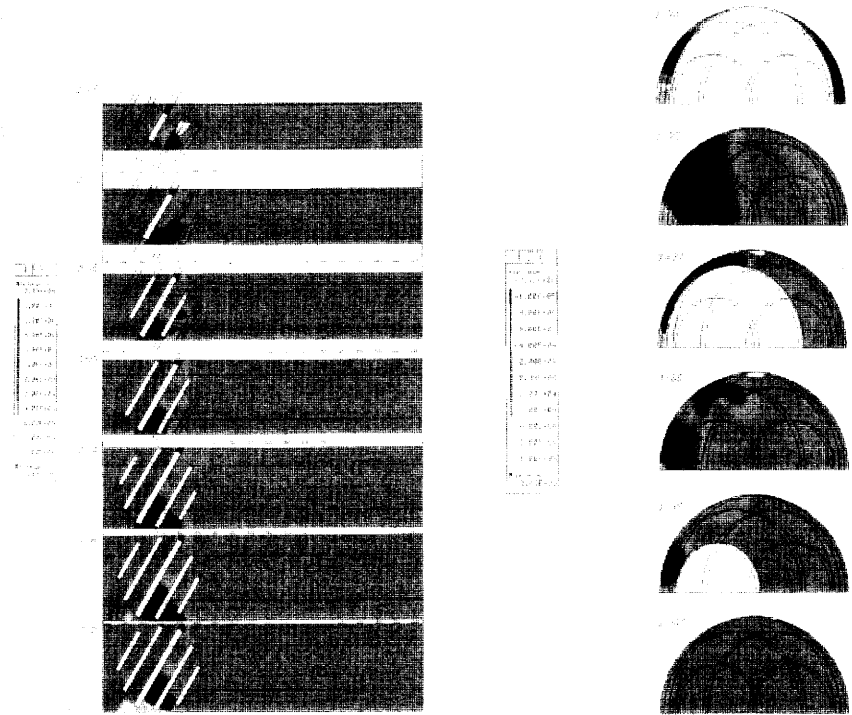


図45 圧力ラスタープロット図 (J軸スライス) 図46 圧力ラスタープロット図 (I軸スライス)

## 5. 6 今後の流体解析弁体

今後の解析の進め方としては、改良前の弁体解析結果から、低圧部の発生、速度ベクトル、粘度の高まり等がキャピテーションの発生、成長、壊滅に寄与すると考えられるが、解網の数が少なく、明確な相関関係を見つけることが難しい。このためキャピテーションとの相関を明確にし、改良効果を比較できるデータを整えるため、次の弁体についても解析を行うこととされる。

- (1) 非対称型の改良弁体
  1. 改良前
  2. 上流平面部に放射状または同心円状の溝を付けた弁体
- (2) 軸非貫通同心型の改良弁体
  1. 整流ディスクを上流2枚、下流2枚付けた弁体 (穴有り)
  2. 整流ディスクを上流2枚、下流2枚付けた弁体 (穴無し)
  3. 整流ディスクを 下流2枚付けた弁体 (穴有り)
  4. 整流ディスクを 下流1枚付けた弁体 (穴有り)
- (3) その他の弁体
  1. 市販されている櫛歯型弁体
  2. オリフィス・ノズル流を弁体中央で分離する半円プレートを付けた弁体

## 5. 7 解析の問題点と今後の方向

### (1) Gridによる解析結果への影響

今回の流体解析においては、バルブは3次元モデルであるので、基本的な6-Point Method法によるGrid生成方法に従って行ったが、バルブ弁体付近では30度の開度であるため、配管との隙間がかなり微小であり、特に配管との接合部分のGridが大きく歪んで生成されている。

このGridの形状によっては、解析計算結果の精度に大きく影響 (誤差の要因) を及ぼすことになる。すなわち、解析計算の収束条件で最も重要なポイントは、Mass Equation (ナビエ・ストークス方程式) のResidual Valueが通常 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ になることが必要で、それ以上であれば何回も繰り返し計算させても意味がほとんどないと考えられる。つまり、Mass Equationの収束はGrid依存であるため、モデルの微小部分においては、最適Gridが生成されていることが必須条件であることを意味している。

### (2) 最適Grid化の具体策

正しい計算結果を得るためには、図47に示す3点に留意しながら、Gridの形を立方体に近づけるようなMappingへの改善が必要である。

しかし、これを実現するためには、Point入力までにどのようにGridを生成するかを、予め念頭に置きながらPhysical Domainを作成しておく必要がある。作業前のSetupが最も重要なポイントとなる。

具体的には、図48に示すような低開度の弁体

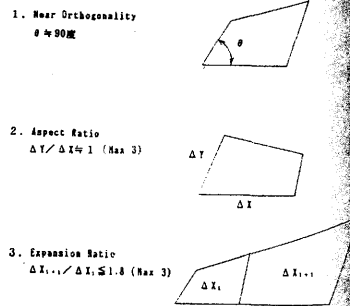


図47 グリッド生成の基本留意点

の場合 ( $\delta D=0$ )、IJ軸面を基準に考えると、流体が弁体を通る領域においては、一番小さなCellを基準に、解析したい領域のGrid Mappingは、図49の(A)領域のように、できるだけ隣り合うGridのサイズ比を1:1に近づける必要があり、しかも後流の(B)領域でのExpansion Ratioを3以内になるようMappingすることである。

次に、JK軸面では、今回解析に用いたMappingを基準にすると、図50のように微小の隙間でSkewnessが非常に大きいためMapping Nodeを調整し、Node移動を行うことにより、微小部のNode間隔を広げ、逆にOrthogonalityの高い領域ではNode間隔を狭くする方法が考えられる。

一方、別の視点からMappingする方法として、図51に示すように、対称面中心にMappingするためのD/10程度のInterior Region用の補助Curveを作成し、放射状にNodeをMappingすれば、微小部のOrthogonalityを非常に高めることができる。

(3) バルブ解析の適正Gridと解析時間の短縮化  
流体の性状 (流速、流れの方向など) が急速に変化する弁体付近の詳細部を解析するためには、今より更に分割数を増やし、Grid Node数を3~5万個にするのが適当かと思われる。(ただし、Grid Node数が増えるごとに、解析時間がほぼ比例して増える)

しかし、Grid Node数によって解析時間が膨大となることから、バルブ解析の場合、温度変化が僅小のため、Conductivityの設定は除外して計算時間を稼ぐ方法も一法である。

### (4) 解析環境の向上

将来的に、コンピュータによる流体解析を更に押し進めるためには、次の点が重要である。当ソフトの解析計算については優れた性能を有するが、形状の定義は、全て座標値の入力で行うため、解析までのSetup時間が長い。当ソフトについては、おおよそ2年先のバージョンアップによりFEM法と同様の自由Gridの生成が可能となるが、その間、作業の効率化を図るため、FLUENT/BFCとインターフェイスのとれている他のFEMソフト (I-Deas, Patran, Ansys, Caeds) などのソリッドモデリング機能をデータ入力用としてのプリ機能として使用することが望まれる。ただし、各FEMソフトの考え方 (Map, Unmap) が異なるため注意を要するが、FEM法でのモデリングおよびメッシュデータはそのままソフトのファイルとして読み込むことができ、しかも、モデルを分割定義することも可能となる。またこれは、特に複雑なモデルになるほど導入効果が

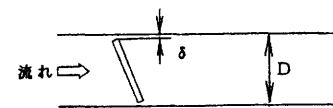


図48 低開度の弁体

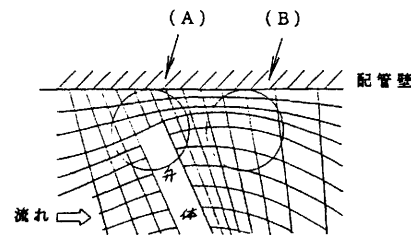


図49 微小部のグリッドマッピング

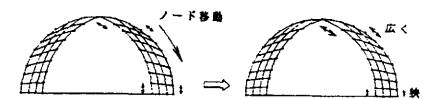


図50 ノード移動によるグリッドの最適化

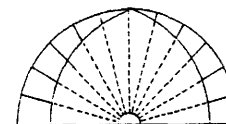


図51 補助カーブを利用したグリッドの最適化



大きく、解析作業全体で今までの約1/3に短縮することができる。

#### (5) 解析結果の効率的利用

膨大なCPUタイムを費やして得られた3次元流体解析結果は、3次元ゆえに複雑で、結果を感的に把握することが難しい。このため、最近進歩が著しいコンピュータグラフィックスを利用した流れの可視化表示(例えば、住友金属工業製 Svididなどのアニメーションソフト)がソフトに対応している)が大変有効である。特に、複雑な物体の回りでは、このアニメーションソフトでシェーディングを施して結果を経時的に表示することにより、流れ現象をより的確に理解することができるため、導入利用の方向に進める努力も必要である。

### 5. 8 実用化への課題

新製品を開発、実用化するにあたって、バルブを流量調整用として用いるならば、今回開発した整流ディスク付き改良弁体のような、中間開度での抵抗が大きい弁体が好ましいと考えられる。また、この流体解析を進めることによって、キャピテーション性能の改良効果ははっきりすれば、第一段階として、早急に特許申請し、その後、商品化に向けての実用的形状への修正、設計、加工方法などの具体的な検討に進めるべきである。

しかしながら、商品化する場合、次のような問題点が残る。例えば、製作コストの関係で整流ディスクを鋳物の一体物として製作するのか、あるいは、後で整流ディスクを付けるのかの違いにより、振動に対する強度補償の考慮が必要となる。これについては、平成3年度導入が決定している強度解析ソフトにおいては、少なくとも弾塑性解析が可能な非線形解析(10<sup>7</sup>解が可能)機能が是非とも必要で、これから振動等による疲労、クラック、巣についての情報が得られる。

## 6. CAD/CAMシステムによるバルブの設計、自動加工の検討

### 6. 1 なぜCAD/CAMシステムなのか

最近、CAD/CAMシステムの導入がさかんに行われ、その必要性が叫ばれている。なぜCAD/CAMシステムが必要なのだろう。これには今日の社会情勢に多くの要因がある。国際的には円高ドル安傾向、NIESの台頭などがあり、国内では、高令化の傾向、物価上昇、人件費の高騰などの問題がある。この様な状況下では、労働力の低下、コスト高の傾向は妨げられない状況であり、企業間の競争に敗れてしまうことになる。したがって、企業は当然のことながらその対策を考え、その1つの答えがCAD/CAMシステムの導入なのである。CAD/CAMシステムを導入することで具体的にどのような利点があるのだろうか。

CADシステムの概略を図52に示す。CAD(Computer Aided Design)システムは設計業務に対するコンピュータ支援であり、コンピュータの迅速な計算能力や膨大な記憶能力、解析能力を利用して設計作業を行ったり、製図を行い、設計業務の合理化、効率化を図るものである。

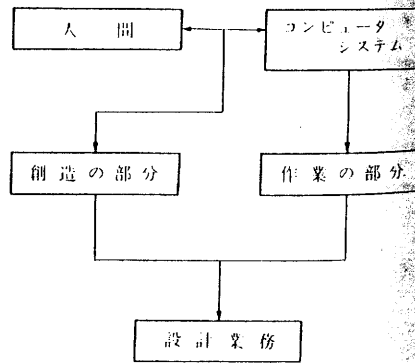


図52 CADシステム概要

元来、設計は人間の創造力に依存する仕事であると云われているが、全てがそのような作業ではなく、なかには決まりきったことを作業的に一連の方法で進めていくことも多い。たとえば、すでに設計された図面の寸法変更や、ある一部分の設計変更などが考えられる。

また、新たに設計するにしても、まったく一から設計するものは少なく、過去に設計した実績のあるものを利用し、それらの組み合わせであったりする。このように創造と云うよりは作業と考えられる部分を、データ蓄積、検索、変更など高速処理を得意とするコンピュータシステムにまかせることによって、人的ミスをなくして、創造の作業である部分をコンピュータと対話しながら行い、設計の期間短縮、コスト低減、品質向上を図ることが可能となる。

CAMシステムは、製造部門に対するコンピュータ支援システムである。コンピュータを製造部門に導入することにより、製造工程における期間短縮、熟練技能者不足、さらに短期間に養成できない事情や、複雑な形状の製品を容易に製作するなどの諸問題を解決する手助けになると考えられ、CAMシステムの中心はNC、MC機である。

これらCADシステムとCAMシステムを有機的に結合し、設計業務から製造までの一貫した流れにすることで、より一層の効率化、合理化を図り、生産性をあげることである。

CADシステムとCAMシステムの結合とCAD/CAMシステム概要を図53、図54に示す。

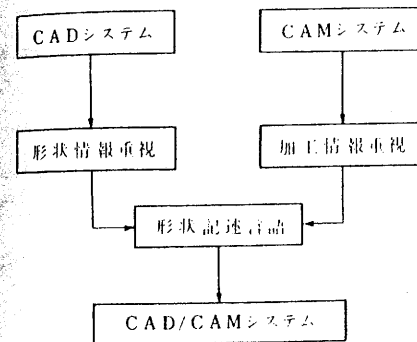


図53 CADシステムとCAMシステムの結合

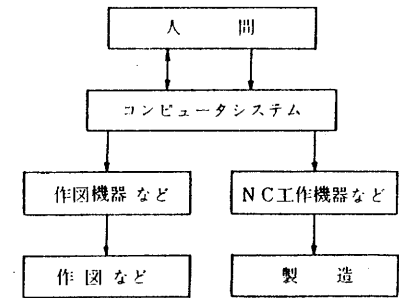


図54 CAD/CAMシステム概要

### 6. 2 CADによる図形処理手順

CAD/CAMによる図形処理は、JISの製図規格にもとづいて、図形要素を定義する機能、図形要素を編集する機能、図面仕上げに関する機能、作図データをファイルしたり、プロットアウトしたりする機能などをもっている。図55はCAD/CAMシステムの機能とそのコマンド体系を示したもので、ディスプレイ制御に関するコマンド、図形要素の作成に関するコマンド、図形要素の編集に関するコマンド、図面仕上げに関するコマンド、図形の入出力に関するコマンドなどがある。これらを使った図形作成手順を以下に示す。

#### (1) モデル作成のための画面設定

- スクリーン、レイアウト
- ウィンドウの設定(座標系の設定)
- ウィンドウ、エリアの設定

- (2) 図形の作成
  - 図形要素による形状作成
  - 形状の編集
  - シンボル図形の参照
- (3) 図面仕上げ
  - 寸法の記入
  - 仕上げ記号の記入
  - 注記の記入
  - 標題欄の作成
- (4) モデル作成の終了
  - モデル、ファイルの保存
  - プロッタへの出力
  - プリンタへの出力

### 6.3 CAMによるNC情報作成手順

CAD/CAMの定義は、部品の設計、図面の作成により形状データをつくるのがCADであり、その形状データより加工データを作成、NC工作機械で製品を加工するためのNCプログラムを作成するのがCAMである。NCプログラムによるNC工作機械の運転方法にはDNC運転とテープ運転・メモリ運転がある。CAD/CAMシステムの作業手順を図56に、処理の流れを図57に示す。

Auto CADを用いたJPDソフトによるCAM側の処理の流れを図58に示す。

### 6.4 バルブ図面の入力

バルブ企業より提供を受けたJIS B 2062水道用仕切弁の部品図、組立図および構成図等の原図をCADに入力するため、設計手順の標準化を進めなければならない。

設計手順の標準化に関して大別すれば、一般的に次のようなものがあると思われる。

- ・設計業務の標準化（作業の流れ）
- ・作図手順の標準化
- ・作図内容の標準化

この内、作図手順の標準化に重点を置いて図面入力を進めているが、これらの留意点について述べる。

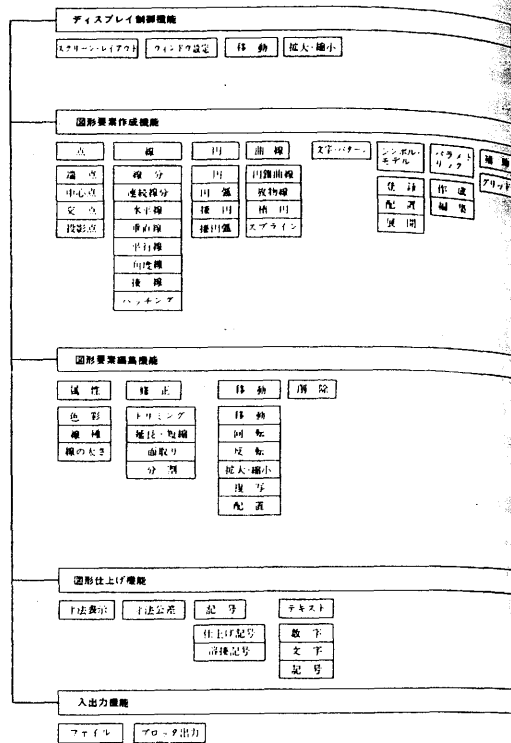


図55 CAD/CAMの機能とコマンド体系

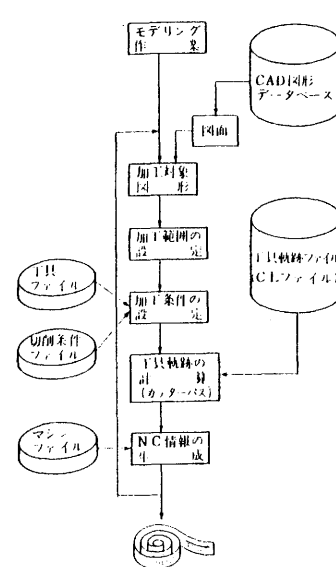


図57 処理の流れ

作図手順の標準化については、導入するCAD/CAMシステムの特長によって大きく変わる。したがって導入したCAD/CAMシステムを十分理解せずに作図手順のみを標準化すると、そのシステムの良い所が発揮されず作業効率が低下する恐れがあります。標準化の内容については、文献等から次のような項目があると思われます。

- (1) 図枠の使い方
- (2) 標準図形、標準シンボルなどの使い方
- (3) 標準部品を使つての組立図の作成方法
- (4) 組立図から部品図を作成する方法
- (5) 図面を流用した作図方法
- (6) アイソメトリック図などの書き方

これらの標準化項目を念頭に、実際にCAD/CAMシステムで作図の試行をしながら手順の標準化を行わなければならない。

今回導入した本システムでは、これらの項目が全て充当できる見込みから、システムに設定されているデータ用ディレクトリを活用した項目分類や作図手順を作成する計画である。

図59に本システムのデータ用ディレクトリを示すとともに、現在まで入力した図面の割付状況

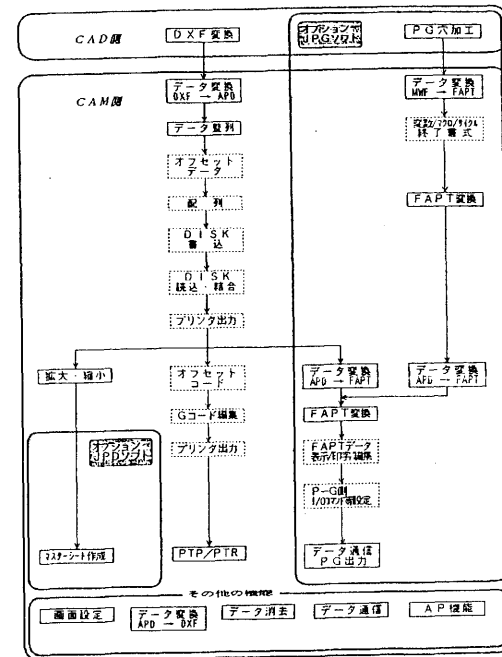


図58 導入ソフトのCAM側の処理の流れ

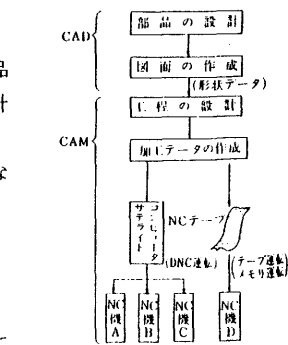


図56 CAD/CAMシステムの作業手順

は次のとおりである。

- (1) 標準の図面枠をA3サイズとして、標題欄を作成した標準図面枠をYHICAD名で新しいディレクトリを設けA3Aのファイル名でファイリング。
  - (2) 部品図4のYBH4のディレクトリにデモ用フランジ図、同2.5次元図、隠線処理図をそれぞれMS3A0001~4にファイリング。
  - (3) 部品図3のYBH3のディレクトリにバルブ部品で入力したボルト、ナットおよび弁箱 (JIS B2062 φ5) をMS3B0001~2にファイリング。
- 今後は必要部品図を入力しながら、構想図や標準図の作成を検討しなければならない。

CAD側標準	
プレス関係 (ADD・ADM・ADT)	機械関係 (AMD・AMM)
YSH1...製品図 1	YKS1...構想図 1
YSH2...製品図 2	YKS2...構想図 2
YSH3...製品図 3	YKT1...組立図 1
YTK...展開図	YKT2...組立図 2
YLO1...レイアウト 1	YBH1...部品図 1
YLO2...レイアウト 2	YBH2...部品図 2
YLO3...レイアウト 3	YBH3...部品図 3
YKG...金型図	YBH4...部品図 4
YHJ1...標準図 1	
YHJ2...標準図 2	
YHJ3...標準図 3	
YHJ4...標準図 4	
YKF...型ファイル	
YHJ1...標準図 1	YHJ3...標準図 3
YHJ2...標準図 2	YHJ4...標準図 4
YHEM...平面図(上)	YSHM...正面図
YLSM...左側面図	YKAM...下面図
YTXT...属性ファイル	YRSM...右側面図
	YBHM...背面図
CAM側標準	
YDXF...CAM中間ファイル	YAPD...CAMデータ

図59 導入システムのデータ用ディレクトリ

### 6.5 データ通信の検討

CAD/CAMシステムからFANUC P-Gを介してマシニングセンタのDNC運転を行う計画ですが、去年度までとは違って通信距離も長く、通信環境も悪い。距離にして20m強、通信ケーブルの配線環境では、高圧動力線を横断するとともに、種々の配線部分を横断する悪条件が重なっている。

このことは、当然、電気ノイズを拾ってプログラムをこわすか誤動作を起すことが考えられる。したがって、これらのノイズ対策を如何にするか興味のあるところで、種々検討を行ったとこ

ろですが、予算や技術的な面から、ノイズに強く、通信距離の長いRS-422ケーブルとRS-232CをRS-422Aに変換しデータ転送を行うM422アダプタを使用した。M422アダプタの仕様を図60に示す。

送信テストを簡単なカム形状図形で輪郭加工データを転送したが行番号で10行以下ではノイズの影響を確認することはできなかった。今後、複雑な形状で、長いプログラムの上、環境的に実流試験の2連ポンプが稼働時の影響等はインバータ制御の為、当然受けるものと考えられる。

その時点での対策としては、光ケーブル、光モデムの使用以外ないと考えられる。

### 6.6 CADシステムにおける問題点

導入後、3カ月が過ぎ、JIS B 2062口径75mmの弁箱図面入力がほぼ終りの段階ですが、最終寸法記入のところでトラブルが発生。図61に示すとおり、通常、半径およびR記入では当然、R10、R250といった表示がされるわけですが、R表示でなくPで表示される珍事が発生した。

現状では、全てのCAD機能をマスターしたわけではないため、関係するコマンドや操作方法を検討。種々の処置を行いました。改善できない状態で、現在、納入メーカーでシステムディスクをチェックしております。

現時点におけるJIS B 2062水道用仕切弁口径75mmの入力図形を図62に示す。

項目	仕様	規格	備考
適合ケーブル	M-422 K□		注1
通信距離	1.2 Km (100 Kbps以下)		注2
通信方式	調歩同期式 (全二重通信)		注2
適合規格	EIA RS-232C及び CCITT V.24 V.28準拠		注3
信号線	RS-232C 側 (出力線 5本/入力線 4本) RS-422A 側 (出力線 8本/入力線 8本)		GND コモンを除く
電源	100V 50/60Hz (ACアダプタにより)		付属品
寸法	125×80×22		
重量	170g		本体重量
使用環境	温度 0℃~50℃ 湿度 80%以下		結露なき事

図60 M422アダプタの仕様

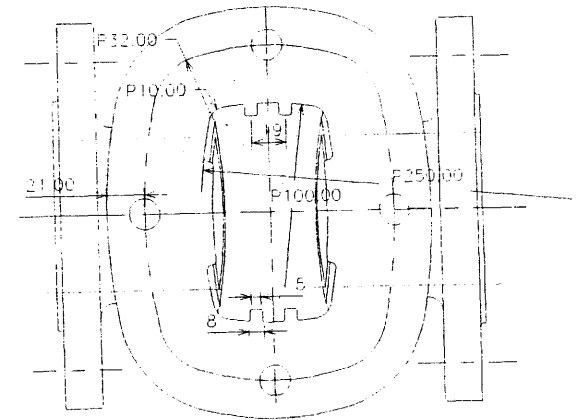


図61 CADのトラブル

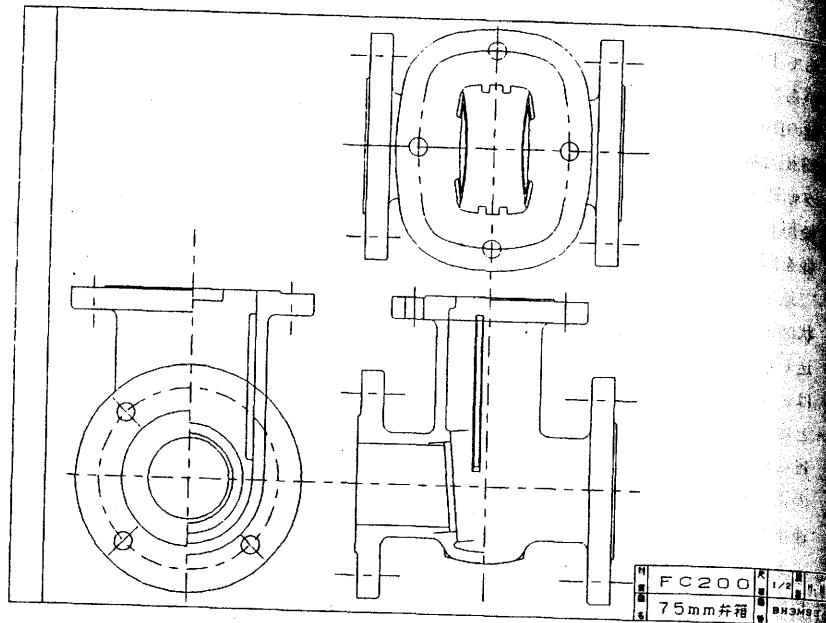


図62 JIS B 2062 水道用化切弁弁箱 (75mm)

## 7. まとめ

性能試験およびCAEシステムによる流体解析結果をまとめると、次のようになる。

- (1) バタフライ弁のキャビテーションは、弁体裏側の低圧部で発生、成長し、弁体より1~1.5D付近のオリフィス側において極度に発達した後、集中して壊滅するのが一般的である。初生については、流体中の溶存空気および空気核の影響が大きく、試験をする場合、これらの要因を考慮する必要がある。
- (2) レイノルズ数が比較的大きい実用域でのキャビテーション特性からは、変形型の弁体形状と比較した弁体の中で最も発生し難いと考えられる。
- (3) 考案した低キャビテーションバタフライ弁は、中間開度で大きな抵抗が得られるよう工夫し、しかも発生、成長するキャビテーション気泡を微細に粉碎して、集中的に壊滅するのを防ぐ形状として、その効果に対する期待が大きいと考えられる。
- (4) 改良前弁体の解析結果から次のことが分かった。
  1. 流れについては、弁体後流で、剪断層の形成、複雑な渦流、逆流の領域があることをはっきりと示すものであり、オリフィス側とノズル側では、明らかに流れの構造が違うことを示す。
  2. 圧力については、弁体裏側で極度の圧力低下がみられ、この部分でキャビテーションが発生し、その後の低圧部の持続域で成長するのではないかと考えられる。
  3. 渦粘度については、渦による剪断力が大きくなる弁体後流の2つの領域を中心に、集中して高まる領域が存在し、しかも、実際のキャビテーションが集中的に壊滅する領域とほぼ一致する結果が得られている。

このことから、弁体裏側の極端な低圧部の発生によってキャビテーションが発生し始め、複雑な渦流と共に成長していく。この気泡は渦粘度が極度に大きくなった領域ではそれ以上維持、成長が不可能となり、しかも流速が小さくなっているため、最大限に成長した気泡はこの領域において集中的に壊滅すると考えることができる。

- (5) 解析における問題点と今後の方向については、次の点に注意が必要である。
  1. Gridの形状が、解析計算結果の精度に大きく関与し、中でも、最も重要なファクターであるMass Equationの収束 (Residual Value) に影響を及ぼす。このため、Grid Mappingに際し、Orthogonality、Aspect Ratio、Expansion Ratioの3点に最大の注意を払う必要がある。
  2. 最適Gridを実現するため、Setup作業においては、一番小さいCellを基準にGeometry定義やMappingを行い、特に微小部における工夫が必要である。
  3. FLUENT/BFCは、解析部分に重点を置いたコードであるため、Pre機能が弱い。このため、FEM法によるソリッドモデリング機能を有効に利用し、解析作業の効率化を図る必要がある。
  4. 3次元流体解析結果は、直感的に把握することが困難であるため、アニメーションソフトなどの動的なコンピュータグラフィックス表示の利用が有効である。
- (6) 改良弁体の実用化については、特許申請後、その後具体的な検討を進めることが必要である。

終わりに、本研究は平成2年度技術開発研究費補助事業人材不足対策技術研究「コンピュータ支援による製品開発の自動化・省力化に関する研究」の分担研究課題として実施したもので、本研究の遂行にあたり、終始ご指導いただいた工業技術院機械技術研究所生産システム部生産情報課関口博主任研究官、ならびに中小企業庁、近畿通商産業局の関係各位に感謝いたします。また、有益なご議論をいただきました共同研究機関の福井県工業技術センターの皆様方に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- (1) JIS B 2005-1987：パルプの容量係数の試験方法
- (2) 樋口、宮川：既存バタフライ弁の流量特性に関する研究、平成元年度業務報告書
- (3) 山崎 卓爾：キャビテーション工学、日刊工業新聞社
- (4) 大島亮一郎：蝶型弁のキャビテーション発生と寸度効果、日本機械学会講演集、1966
- (5) Knapp, Daily, Hammit: Cavitation (McGraw Hill Book Co.), P.6, 1970
- (6) 伊藤、山田：ちょう形弁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、1988.12
- (7) 大場利三郎：キャビテーション損傷の発生機構：ターボ機械、1990.10
- (8) 沼知、椎名：キャビテーション発生機構に関する一寄与、日本機械学会論文集、1937
- (9) 宮倉、大場：キャビテーションに対する溶解気体効果の機構、日本機械学会論文集、1988.8
- (10) 大場、金：不飽和水中のキャビテーションの特異な挙動、日本機械学会論文集、1982.6
- (11) 毛利 昌康：汎用熱流体解析プログラムFLUENT、配管技術、1988.2
- (12) 米CREARE社：FLUENT/BFCマニュアル
- (13) サイバネットシステム：FLUENT/BFCカタログおよび説明書
- (14) 住友金属工業：Svididカタログ
- (15) 大島亮一郎：大口径ちょう形弁のキャビテーション初生法則、日本機械学会論文集、1988.8
- (16) 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、1986.2

- (17) 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
- (18) 日本機械学会：流れの数値シミュレーション、コロナ社
- (19) 大西 和栄：パソコンによる流れ解析、朝倉書店
- (20) 川原 陸人：有限要素法流体解析、日科技連
- (21) 矢川 元基：計算力学 [I]、養賢堂
- (22) 谷 一郎：流体力学の進歩「境界層」、「乱流」、丸善
- (23) 木田 重雄：乱流の不思議なふるまい、丸善
- (24) 丸山 哲郎：差分方程式序説、現代数学社
- (25) 石川 廣美：差分方程式入門、コロナ社
- (26) 水本 久夫：多様体上の差分法、教育出版
- (27) 大橋 秀雄：標準機械工学講座11 流体力学 (1)、コロナ社
- (28) 白倉、大橋：標準機械工学講座23 流体力学 (2)、コロナ社
- (29) P.J.ローチェ：コンピュータによる流体力学 (上・下)、構造計画研究所
- (30) 西山 哲男：流体力学 (I) (II)、日刊工業新聞社
- (31) G.K.パッチェラ：入門流体力学、東京電機大学出版局
- (32) 実践教育研究会：実践3次元CAD/CAM 一基礎編一、日刊工業新聞社、1989.3
- (33) 前川佳徳、長江貞彦、藤島博、坂枝啓子：体験から知る機械設計CAD/CAM導入法、  
(財)大阪科学技術センター、1987.10
- (34) 長江貞彦、大浜栄、外賀俊彦、塩澤清和、岡本博、前川佳徳：CAD/CAMシステム導入50のチェック  
ポイントQ&A(実践に学ぶ導入から運用管理までのkey)、  
(財)大阪科学技術センター、1987.4

## 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)

専門員 村口明義  
主任技師 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、キャピテーションを発生させる。一般にキャピテーションの発生には騒音、振動を伴い、弁木体や配管の浸食を招くことなどから問題となっている。このため本研究では、バタフライ弁によるキャピテーションの騒音測定と水中マイクロホンによる音圧測定を行うことにより、キャピテーション係数との関係を検討し、同時に流れを可視化することによりキャピテーション状態を観察し、キャピテーションの定量化を図ることを試み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<sup>1)</sup>同心型弁体では、弁体回転軸に直角な管中心断面における流れの様子は、弁上流部で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直進し、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。また両側と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、再び乱れのない管内流へ移行することが報告されている。こ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、ほぼ同様の流れを示していることが確認された。

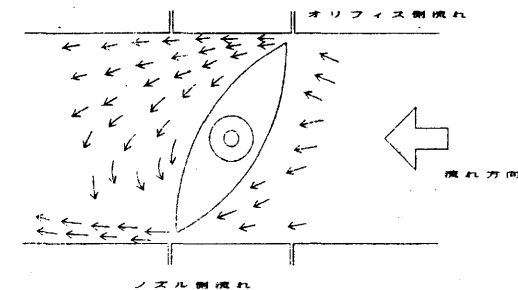


図1 バタフライ弁の流れ図

## 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<sup>2)</sup>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<sup>3)</sup>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。<sup>4)</sup>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。<sup>5)</sup>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。

## 3. 実験装置および実験方法

### 3. 1 実験装置

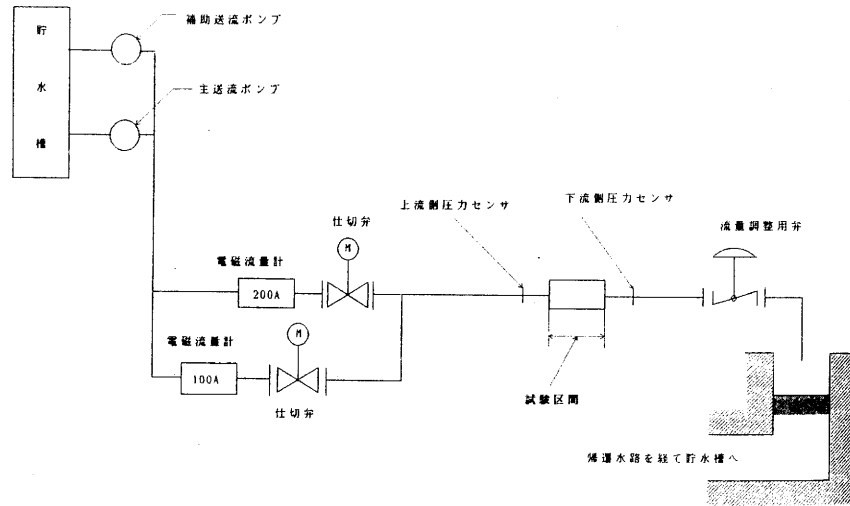


図2 試験装置配管図

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 <sup>3</sup>
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4 m <sup>3</sup> /min

補助送流ポンプ	揚程25.5m×吐出量1.8m <sup>3</sup> /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	半導体拡散形ゲージ圧力センサ 定格出力10kgf/cm <sup>2</sup> 精度1%
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。試験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測には図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測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閉度計を備えた減速機を用いて試験弁体を固定している。

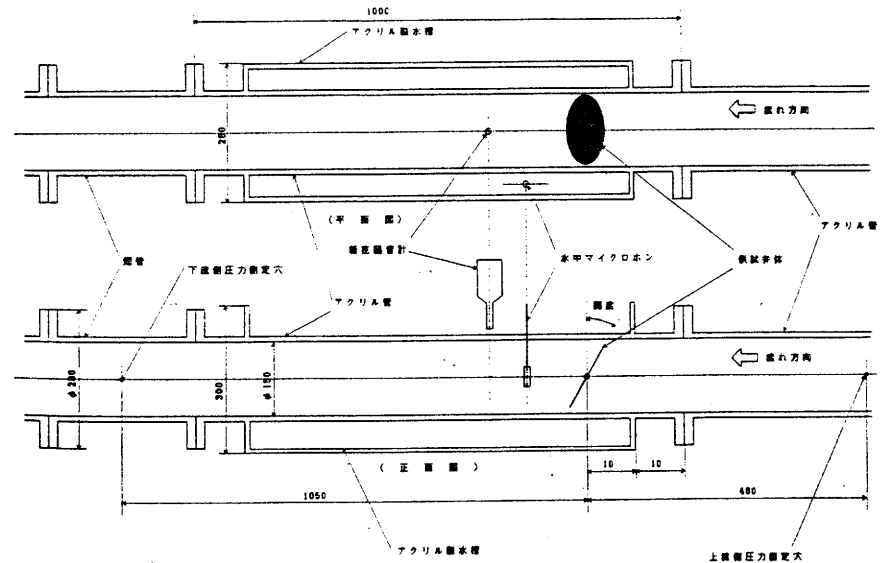


図3 測定部の概要

### 3. 2 実験方法

本実験では、キャビテーション騒音の測定は、精密騒音計を使用した。マイクロホンはアクリル管の中心線上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報告<sup>9)</sup>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分間の騒音レベルをにて評価した。なお、ポンプのモータによる暗騒音の影響をなるべく少なくするためモータ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。

初生キャビテーションについては一定の弁開度(弁開度は全閉時を0度、全開時を90度とした)に設定、前述の精密騒音計のマイクロホンを用いて、FFTアナライザによる周波数分析による評価を検討したが、十分に実用になる評価方法を確立することができないため、かなり定性的な方法に頼らざるをえないが人間の聴覚によるキャビテーション発生の確認も併せて採用することとした。具体的には5~10秒間にキャビテーション気泡が壊れる時には発生する「びちびち」という音が1回確認された時点如初生とした。

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報告<sup>9)</sup>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音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考えられる。

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。撮影についてはアクリル水槽に水を満たし、像の歪みを少なくするため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 $\mu$ s)またはマルチ(発光周波数が可変、閃光時間140~480 $\mu$ s)との切り替えが可能なものである。写真撮影には主として単発光、ビデオ撮影にはマルチ発光(周波数1500Hz)を使用した。写真撮影には絞りを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単発光を閃光させた。なおレンズはマクロ(55mm F2.8)、カメラはニコンFE2、フィルムはNEOPAN SSである。

実験に用いたバタフライ弁の形状および写真を図4~7に示す。図4は弁棒貫通型のバタフライ弁で材質アルミである。図5は偏心型のバタフライ弁で材質はステンレスであり、今回は弁体より軸側を上流になるように設置した。

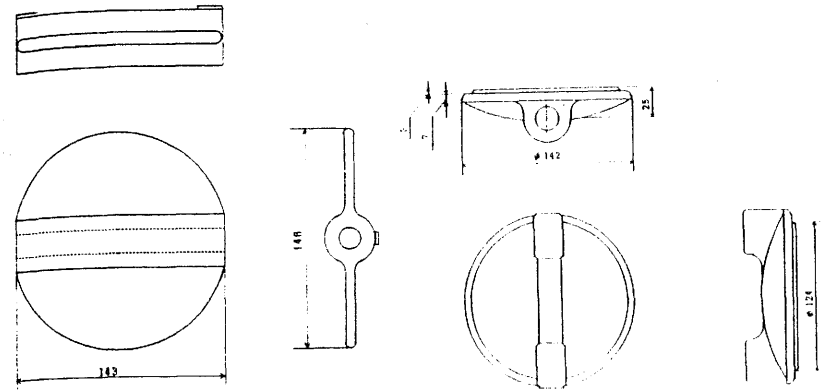


図4 同心軸貫通型弁体

図5 偏心型弁体

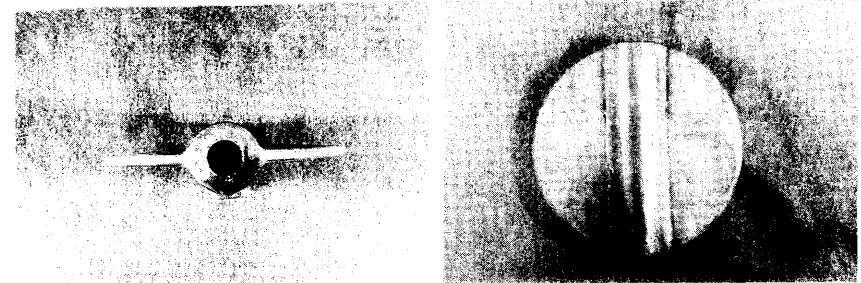


図6 同心軸貫通型弁体の写真

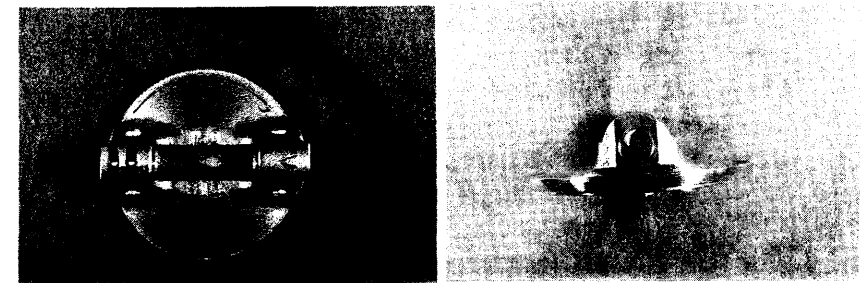


図7 偏心型弁体の写真

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と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。<sup>8)</sup>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Kcは

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

V : 水の流速 p : 水の静圧 (絶対圧力) pv : 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。<sup>9)</sup>

$$\sigma = Ha - Hs - Hv / H \quad (式4. 2)$$

Ha : 大気圧 Hs : 吸出落差または吸込揚程の値 Hv : 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。<sup>10)</sup>

$$\sigma_1 = \frac{Hd - Hv}{Hu - Hd} \quad (式4. 3)$$

$$\sigma_2 = \frac{Hd - Hv}{Hu + V^2 / 2g - Hd} \quad (式4. 4)$$

Hu, Hd : バルブ前後の静圧  
 Hv : (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係数Reは次の式で表される。

$$Re = vD / \nu \quad (式4. 5)$$

D : 管の内径 [m]  
 v : 管内平均流速 [m/s]  
 ν : 動粘性係数 [m<sup>2</sup>/s]

図8, 図9は同心軸貫通型弁体及び偏心軸上流型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。

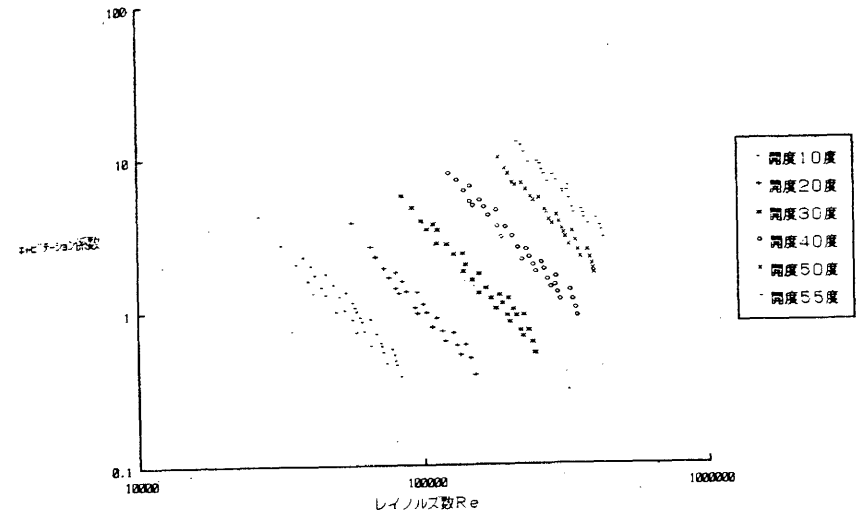


図8 レイノルズ数とキャビテーション係数の関係 (同心軸貫通型)

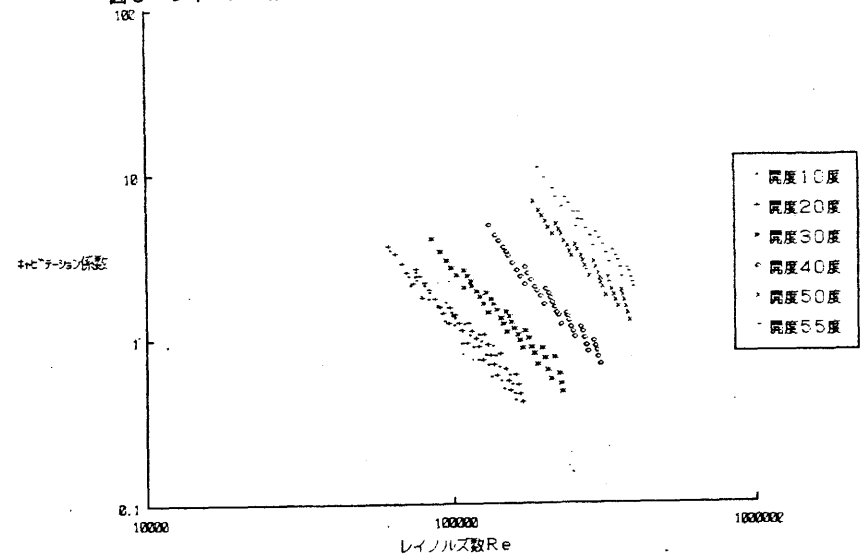


図9 レイノルズ数とキャビテーション係数の関係 (偏心軸貫通型)



#### 4. 2 精密騒音計による騒音レベルの測定

図10は同心軸貫通型弁体による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を示している。この図から開度20度~55度までは、騒音レベルが急激に立ち上がっているのがみられ、ほぼ連続的な曲線を描いて上昇している。30dB程度上昇したところから緩やかなカーブとなっている。各開度でほぼ相似形となっており、騒音レベルの立ち上がり始めるキャビテーション係数は開度が大きくなるにしたがって大きくなっている。開度10度においては連続的な騒音レベルの昇ではなくデータ値がばらつきが見られるが、これは測定時においても他の開度の場合と比べ生ずるキャビテーション音が異なり「シュー」という高音域の音が聞き取れた。また後述する可視化の記録からもアクリル管と弁体の間隙から霧状の噴出を観測することができた。これは他の開度は見られず、キャビテーションの様子が異なっているものと考えられる。

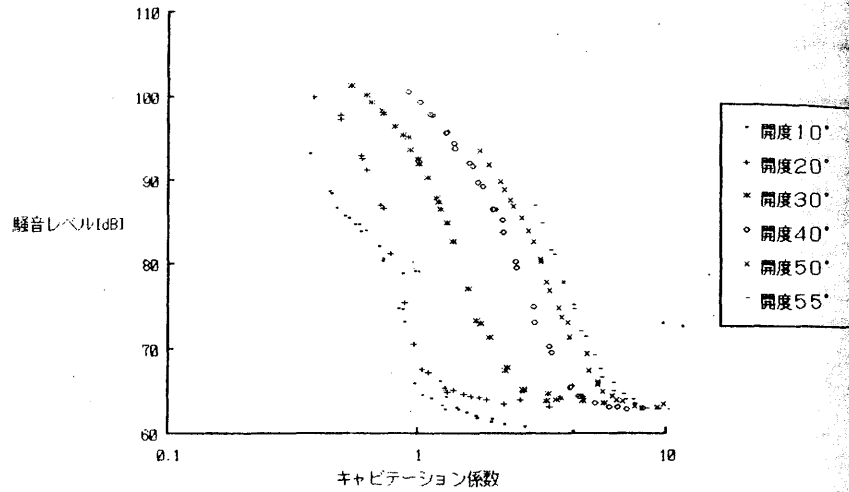


図10 騒音レベルとキャビテーション係数の関係 (同心軸貫通型)

また図10において騒音レベルが急激に立ち上がるまでと立ち上がりからの曲線をそれぞれ直線で近似し、その交点を取りこれを騒音レベルから求めた初生点として、人間の聴覚で感知したときの初生点の比較をしたものが、図11である。これによると低開度および開度55度以上のところで若干はなれているが、開度30度から50度にかけて同じ様な傾向を示している。図12は人間の聴覚により感知した初生点を基準としてその時点での騒音レベルの値が、10dB, 20dB, 30dBだけ大きくなるときのキャビテーション係数をプロットしたものである。また併せてキャビテーション気泡が初めて観測されたときのキャビテーション係数もプロットしてある。これによると初生の騒音レベルから10dB大きくなったときに、キャビテーション気泡が肉眼で初めて確認できる程度まで成長するものと考えられる。図11, 図12のグラフにおいて開度10度ではともに直線からずれが見られるが、これはさほど述べたようにキャビテーションの様子が異なることや流体の流れによる騒音の影響と考えられる。

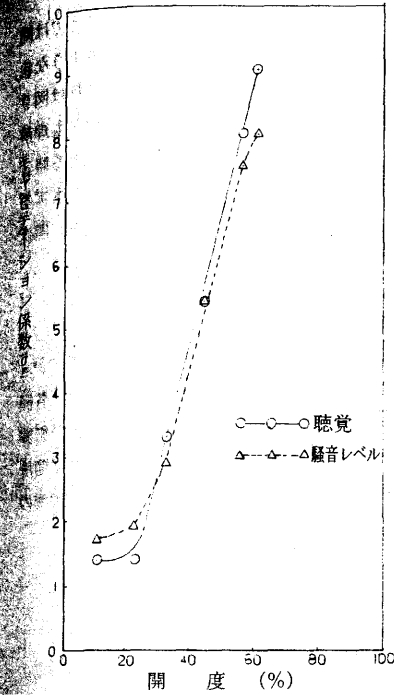


図11 初生キャビテーションの比較 (聴覚と騒音レベル)

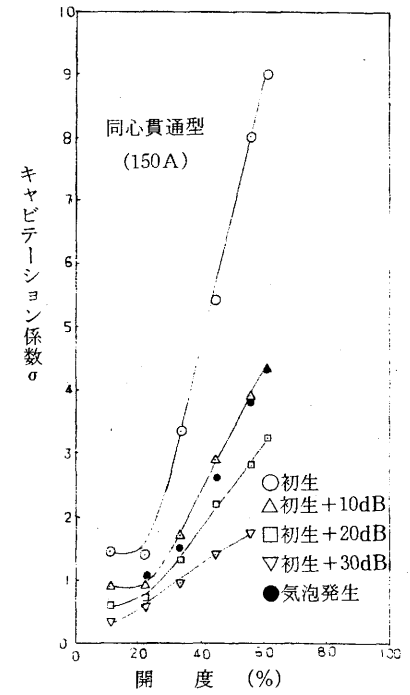


図12 キャビテーション係数 (可視化水槽)

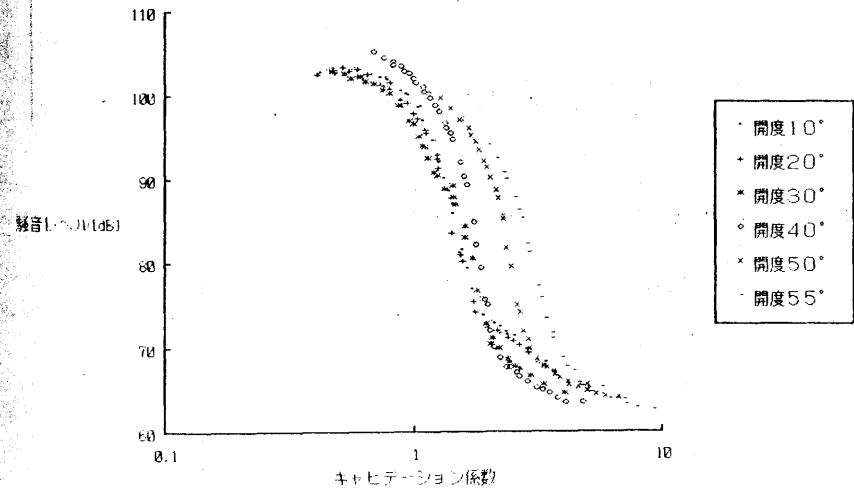


図13 騒音レベルとキャビテーション係数の関係 (偏心軸上流型)

図13は、偏心軸上流型の騒音レベルとキャビテーション係数の関係を示している。ここで開度10度、20度、30度の各状態はキャビテーション係数と騒音レベルの関係はほぼ重なるようになっている。特に10度と20度の状況は同一曲線上にあると言っても過言でない。これらのレイノルズ数とキャビテーション係数の関係のグラフも同一曲線上にあることから推定できるように、開度10度と20度では同じ流れの様子を示しており、キャビテーションによる騒音も同じであると考えられる。これは軸の偏心により、低開度の状態では開度が少し増してリル管と弁体との間隙の大きさが変わらないため、流れの様子も同じになると考えられる。30度以上になると同心軸貫通型弁体と同様の傾向を示している。

#### 4. 3水中マイクロホンによるキャビテーション音圧の測定

同心軸貫通型および偏心軸上流型弁体の各開度におけるキャビテーション音圧とキャビテーション係数の関係を図14、図15に示す。水中マイクロホンでの音圧測定では、精密騒音計に比べ、精度もなめらかな曲線で示されている。これはインバーターモーターなどによる暗騒音の影響を受けにくいためであろうと推察される。また精密騒音計の場合と同様に同心軸貫通型では開度10度、20度の時に一部不連続となるような領域も見られる。偏心軸上流では、開度10度、20度場合にデータの重なっているところが一部見受けられる。

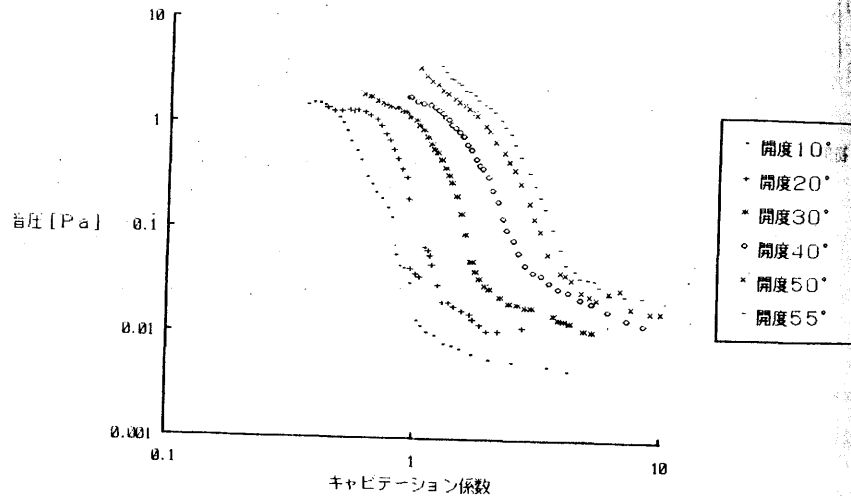


図14 キャビテーション音圧とキャビテーション係数の関係 (同心軸貫通型)

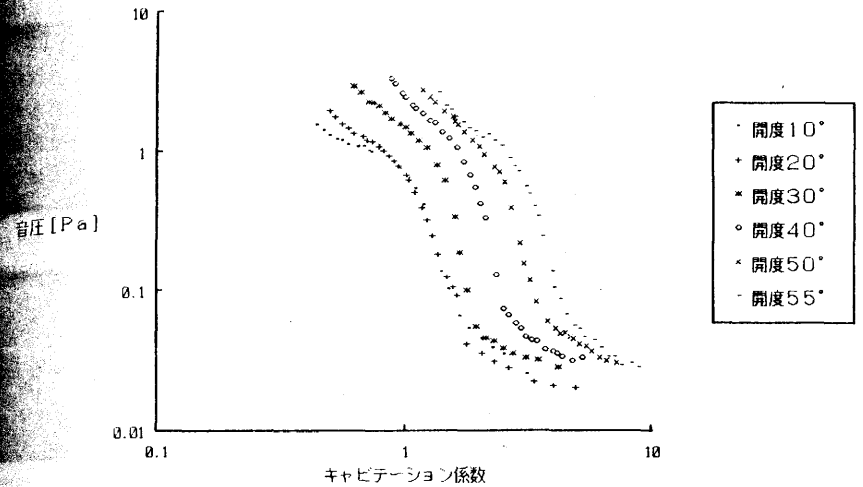


図15 キャビテーション音圧とキャビテーション係数の関係 (偏心軸上流型)

同心軸貫通型弁体における水中マイクロホンによる音圧測定では、各開度における状況がほぼ相似形をしており、これらのデータを直線で近似すると図16に示すようになる。ここでは音圧が急激に立ち上がるまでの部分① および急激に立ち上がる部分② ならぬかな上昇にかわる部分③ との3箇所に分けることができる。それぞれの部分を回帰により傾きを求めることとした。それぞれの開度について傾きを平均すると①の部分では

$$Pa \sim \sigma^{-0.9}$$

となる。②の部分では

$$Pa \sim \sigma^{-0.6}$$

となる。③の部分では

$$Pa \sim \sigma^{-3.0}$$

となっている。①の部分ではキャビテーションによる音圧でなく流体の流れによるものであり②の部分についてはキャビテーションの急速な成長による領域であり③の部分はチョーク状態に達するまでのなだらかな上昇部分であると考えられる。またこれらの回帰についてはJET CAVITATION 報告<sup>11)</sup>の中での噴流(JET)における水中マイクロホンでのキャビテーション音圧測定とよく似た結果を示しており、バルブのキャビテーション音圧については噴流(JET)によるキャビテーション現象から考察してみる必要もある。

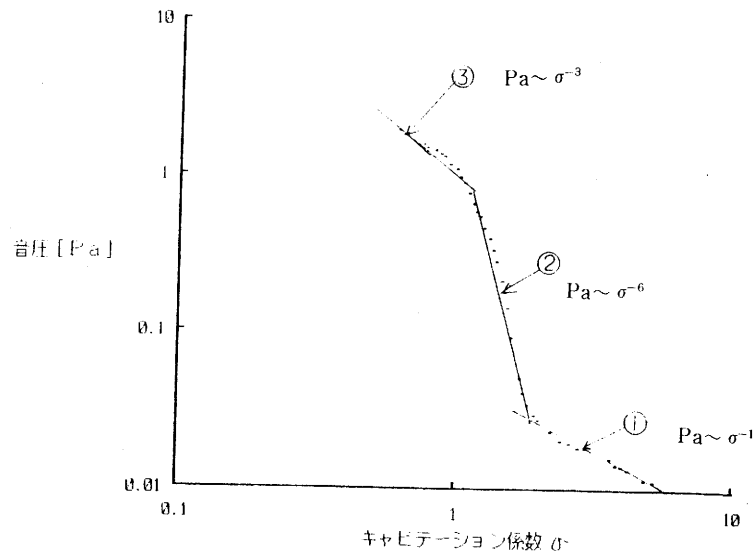


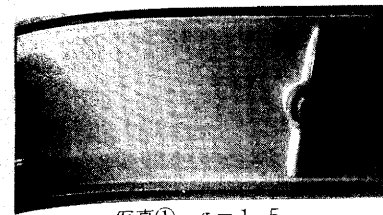
図16 キャビテーション音圧とキャビテーション係数の近似

#### 4. 4 キャビテーションの可視化

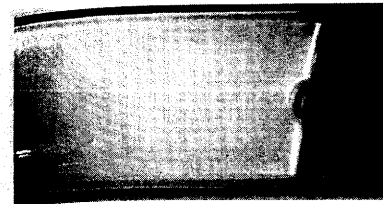
図17, 18, 19にキャビテーション撮影の結果を示す。図17は開度10度および20度のときの写真であるが、10度の場合は前述したように他の開度とは異なりキャビテーション係数が小さく(流量が多くなる)なっても大きく成長する気泡は見る事ができず、弁体の先端からの細かな気泡が観測される。また写真には撮影することができなかったが、霧状の噴出が弁体とアクリル管の間隙から見る事ができた。これらから考えると10度の時のキャビテーション騒音の原因としては弁体とアクリル管の間隙から流体が噴出するときの音や弁体エッジにより発生する音が影響していると思われる。

各開度の最初の写真は(写真①, ③, ⑥, ⑩, ⑭, ⑱)人間の聴覚により感知した初生点付近の写真である。このときにはいずれの場合も気泡を肉眼で観測することはできなかった。図18, 19, の2段目の写真(写真⑦, ⑪, ⑮, ⑲)は初生点における騒音レベルより20dB大きくなった近傍の写真である。このときには弁体のオリフィス側下流のアクリル管の近くに紐状の気泡がみられる。さらに初生の騒音レベルより30dB大きくなった付近では(写真④, ⑧, ⑫, ⑯, ⑳)オリフィス側の紐状の気泡はさらに成長しており、またノズル側弁体の下流近くでも気泡の発生が確認できる。さらに流量が増した状態(写真⑨, ⑬, ⑰, 21)ではオリフィス側、ノズル側ともに激しく気泡が発生している。またこのときオリフィス側の紐状の気泡はアクリル管まで達するまで成長を見せるが、ノズル側の気泡はアクリル管に接するようものは見られない。このことからバタフライ弁を設置した配管において壊食が見られるのは主に弁体のオリフィス側ではあると推察される。図20は水中マイクロホンでの音圧とキャビテーション係数の関係を表したグラフ上に各写真の撮影したおよその箇所を示した。

弁開度10度

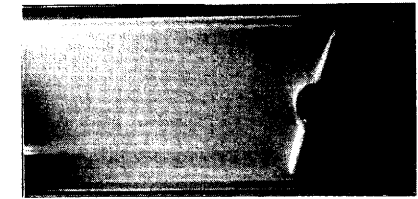


写真① σ = 1.5

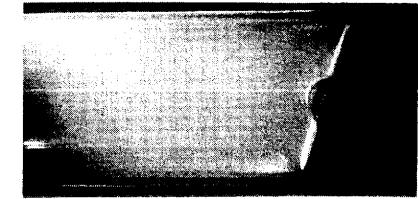


写真② σ = 0.36

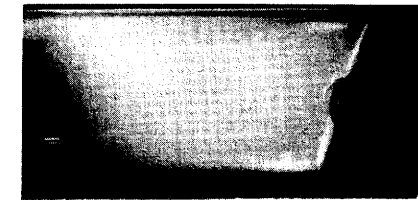
弁開度20度



写真③ σ = 1.4



写真④ σ = 0.50

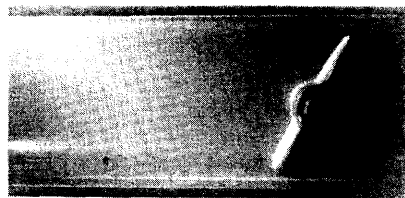


写真⑤ σ = 0.41

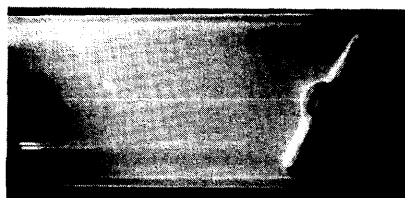
図17 キャビテーション撮影結果

写真⑨, ⑱において弁体のオリフィス側、ノズル側の下流に気泡の発生していないところ(写真では黒く写った部分)があるが、この部分は噴流の考え方におけるポテンシャルコアに相当する部分でないかと考えられる。オリフィス側ではコアの消滅したとより下流側に紐状の気泡がみられる。一方ノズル側ではコア部分に沿って気泡の発生がみられる。

弁開度30度



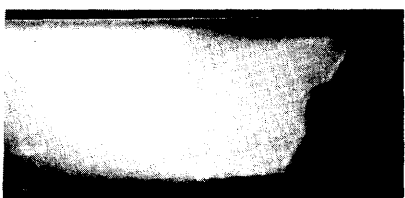
写真⑥  $\sigma = 3.3$



写真⑦  $\sigma = 1.3$



写真⑧  $\sigma = 0.95$



写真⑨  $\sigma = 0.55$

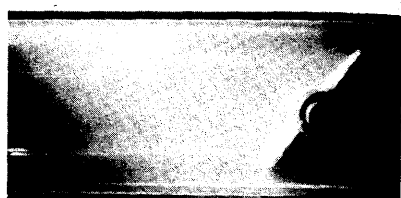
弁開度40度



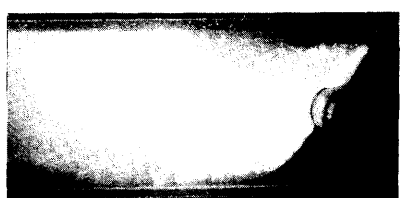
写真⑩  $\sigma = 5.4$



写真⑪  $\sigma = 2.2$



写真⑫  $\sigma = 1.4$

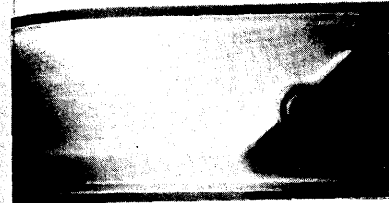


写真⑬  $\sigma = 0.95$

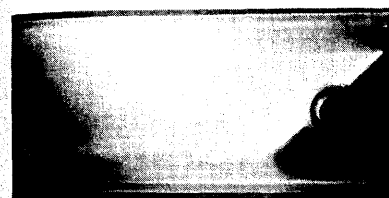
弁開度50度



写真⑭  $\sigma = 8.0$



写真⑮  $\sigma = 2.8$



写真⑯  $\sigma = 1.8$

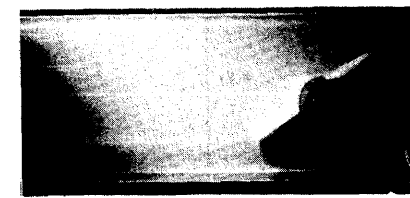


写真⑰  $\sigma = 1.0$

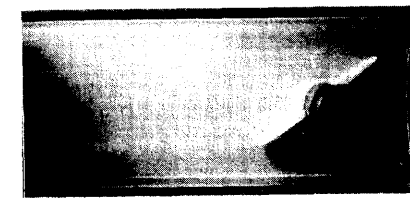
弁開度55度



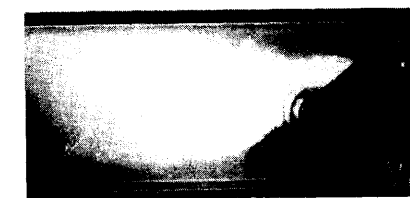
写真⑱  $\sigma = 9.0$



写真⑲  $\sigma = 3.3$



写真⑳  $\sigma = 2.2$



写真㉑  $\sigma = 1.5$

図18 キャビテーション撮影結果

図19 キャビテーション撮影結果

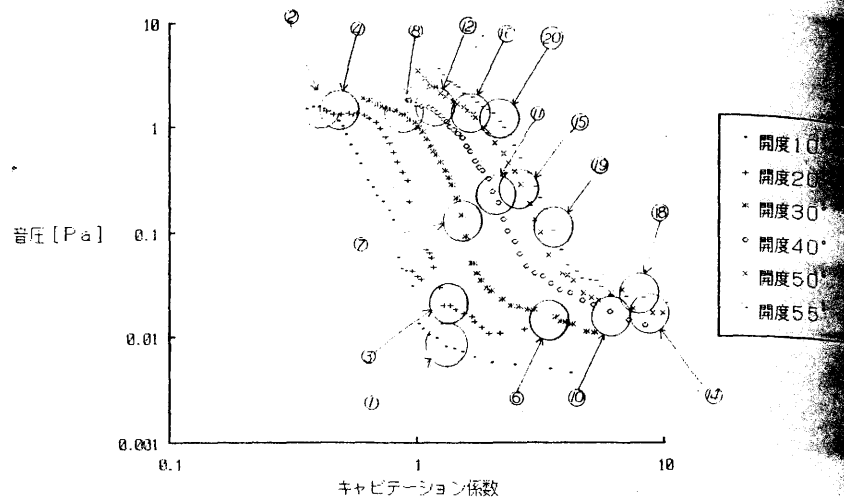


図20 キャビテーション写真撮影の箇所

### 5. まとめ

アクリル製の可視化配管におけるバタフライ弁の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状況からキャビテーションの定量化を試みた。その結果まとめると次のようになる。

- 1) 精密騒音計による騒音レベルの測定結果からもとめた初生と人間の聴覚による初生の感知とがほぼ一致する条件のところがある。
- 2) 水中マイクロホンの音圧測定からキャビテーション係数とキャビテーション音圧の回帰を試みた。
- 3) 弁の低開度（開度10度付近）ではキャビテーションの状況が異なっている。
- 4) キャビテーションの可視化から配管に壊食を起こすと考えられるキャビテーション気泡は一定の所に発生することが考えられる。
- 5) バタフライ弁のキャビテーションについては噴流によるキャビテーションの考え方の適用を検討することができる。

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。また県内のパルプ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、産業用パルプに関する調査研究分科会成果報告書 (1987, 8) P21

- 2) 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
- 3) 同上
- 4) G.K.Batchelor, 入門流体力学, 東京電機大学出版局 P484
- 5) 同上記 2)
- 6) 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
- 7) 加藤, キャビテーション増補版, 槇書店 (1990, 6) P336
- 8) 山崎, キャビテーション工学, 日刊工業新聞社, (昭和53, 7) P10
- 9) 辰巳, パルプのキャビテーション, 水道協会雑誌第53巻第3号 P80
- 10) 同上
- 11) R.E.Franklin, JET CAVITATION

# 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】

試験研究係長 松川 進  
主任技師 酒井 一昭

## 1 調査目的

近年のめざましいハイテクノロジーの伸展により、バルブ産業界においても配管系の高度化、流体の多様化等により、バルブを単体製品からトータルシステムの一部として扱うことの重要性が高まってきた。

このため各種環境下において、バルブ自身が自動的に流量制御できるコントロールバルブの需要が増加してきた。

ところで、彦根バルブ産地の製品を用途別に大別すると水道用、産業用、船用に区別でき、およそ次のような現状にある。

水道用弁の多くは公共水道用に使用されているが、近年の著しい都市開発により、山上あるいは地下の配管が多く見られるようになり、水道水の送水圧力に大きな差を生じている。一日に使用される水量も時間帯により異なり、流量や送水圧力の変動が著しく、不安定になる。このように需要家への水道水の安定した供給が問題になってきており、圧力や流量を常に一定に保ち、かつ能率的、効果的な供給を可能とするため、よりよいコントロール弁の開発が望まれている。

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、あるいは高級化などによって、一層精度の高い流量調節が必要となってきた。

この他、電力や化学プラントにおいても多品種省力化、品質の向上による流体の多様化がすすみ自動制御弁が使用される比重が高くなってきている。

このような状況下で、彦根バルブ産地がユーザー・ニーズに対応し、低圧鋳鉄弁主体の生産から脱却し、活性化を図るには、産地技術者個々の資質の向上はもちろんのこと、各企業が積極的に新しい技術にチャレンジし、技術開発力を高めなければならない。そして、流体制御システム機器としてのセンサ、エレクトロニクスも含めた総合技術力を駆使した、付加価値の高いバルブ開発に取り組むことが重要課題となる。

そこで当所では、今年度は産地における自動化バルブの開発指向を検討するとともに、自動化への種々の技術資料を産地企業へ提供することを目的として、バルブの自動化に関する市場、および技術調査を実施した。

調査結果を総合的に判断し、次年度研究に活かすため、次に示す4つの調査を実施した。

- (1) 自動制御弁に関する市場調査
- (2) " 技術調査
- (3) 特許情報の収集調査
- (4) カタログ情報の収集調査

## 2 自動制御弁の概念

自動制御弁 (Automatic Control Valve) とは何だろうか。まず、このことを簡単に説明し、調査結果の理解に供したい。

制御とは、ある目的に適合するように対象となるものに所定の操作を加えることで、制御装置で自動的に行うか、あるいは人が行うかで自動制御と手動制御に分けられる。

次に、自動制御弁であるが、JISではこの意味として「自動制御装置の操作端として、調節部の信号によって自動操作されるバルブの総称で、調整弁 (自力式) と調節弁 (他力式) とがある。」とある。調節部とは調節系からの信号量を操作量に換えて、制御対象に働きかける部分であり、操作部 (駆動部) と調節端 (本体部) に分けられる。ここで、操作部は調節端を動かすために駆動力を発して、信号量に対応した操作位置を決める部分である。

さて、我々が実態調査し、開発研究を行おうとする自動制御弁は他力式の調節弁のことであり、これは調節部の信号を受け、バルブの作動に必要な動力を補助動力源から受けるものである。この調節弁を分類すれば、制御対象によって、圧力調節弁、温度調節弁、流量調節弁、液位調節弁等がある。これらに加えて、信号の種類や駆動部形式、あるいは弁箱部形式の違いで、なお細かく分類することができる。

## 3 自動制御弁に関する市場調査

### 3・1 調査方法および調査対象

現状での我々の自動制御弁に関する知識はほとんど皆無に等しいことから、これに関する情報なら何でも集め、そして知ろうと思ひ、次のような分野を調査対象とした。

- ☆ 自動制御弁に関する一般的知識およびユーザーの要望、流通等を理解  
————— 県内陸用弁メーカー
- ☆ 製造工程、メーカー側からみた自動弁の将来性と製作上の留意事項等の把握  
————— 県外自動弁メーカー
- ☆ 使用現場、およびユーザー側の声を理解  
————— 県外の某水道局

これらの対象について、特に決まった形 (調査票など) を作らずに、聞き取りによる直接的な調査を行った。

その結果の集約を以下に示す。

### 3・2 調査結果および考察

#### 3・2・1 自動制御弁に関する基礎情報

##### 3・2・1・1 バルブ市場における自動制御弁の位置

(他)日本バルブ工業会の統計によると、平成元年のバルブ生産額は4,400億円強であり、着実な伸びを示している。この中で自力式、他力式を含む自動調整弁の伸びは、他の一般弁よりも大きく、約950億円 (全体の21.2%) に達している。とりわけ、他力式調節弁 (広義の意味の自動調節弁) は340億円強と全自動弁の1/3強を占めており、今後も流体制御システムの "カナメ" として、飛躍的な伸びが期待できる。

また、利用分野は化学プラント、石油プラント、食品等の工業システムとビル等の空調用、お

および火力、原子力等の電力関係、あるいは製薬関係等が多い。

水道関係は予想外に少なく、浄水場での凝集剤（ポリ塩化アルミニウム）、あるいは殺菌剤（次亜塩素酸ナトリウム）、pH調整剤（カセインソーダ）等の薬品注入工程で若干使用されているにすぎない。

また、自動制御弁における分野別の比率は、空調用が多く、50%を超えているものと思われる。次いで、工業システム関係が30%強で、残りを他の分野で分けあっている。しかし、この比率はその時期と景気動向により、大きく変わるようである。

### 3・2・1・2 需要面からみた自動制御弁の種類

生産および需要動向から、よく用いられている弁種はバタフライ弁と玉形弁であった。また、食品加工関係ではボール弁が若干使われているようである。

これに対して、仕切弁は制御用としては、ほとんど使われていないのが判明した。

また、使用条件によって明確に種別が異なるようで、高圧用には玉形弁、そして低圧用および水道関係にはバタフライ弁が用いられている。

その理由は、それぞれの構造と特徴からおおよそ理解ができる。すなわち、図1および表1に示すように、弁箱および弁体の形状がそれぞれ異なり、流量等の調節に向いているものと、そうでないものに分けられ、とりわけ玉形弁は流量制御に適していると言える。

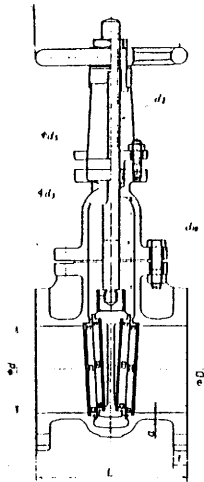
なお、制御用に生産される玉形弁はユーザー等の要望および使用環境によって、弁体の形状を概ね次の3つのタイプに分けることができる。

単座弁 —— 低圧用

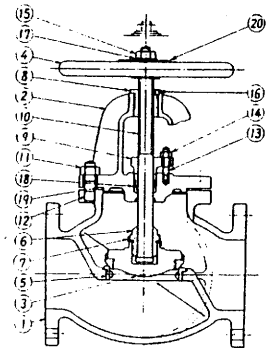
複座弁 —— 高圧用

ケーシング弁 —— 高圧・低キャビテーション用

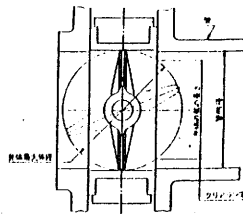
この構造と特徴については後述の技術調査結果の項で述べる。



仕切弁



玉形弁



バタフライ弁

図1 バルブの基本的な構造

表1 バルブの基本定義とその特徴

仕切弁 [Gate Valve]	弁体が流体の通路を垂直に仕切って開閉を行い、流体の流れが一直線になる弁をいう。 この弁は中開きの状態では、弁体の裏側に流体の渦が生じて流体抵抗が増大し、更に振動や摩耗を起こすため、流れの調節には不向きで、主にON-OFF用として使われている。
玉形弁 [Globe Valve]	球形の弁箱をもち、入口と出口の中心線が一直線上にあり、流体の流れがS字状となる弁をいう。 この弁は閉止能力が優れていること、および絞った状態（半開き）で使用できること等により、流量調節用によく活用される。
バタフライ弁 [Butterfly Valve]	弁箱内で弁棒を軸として円板上の弁体が回転する弁をいう。 これは全開時の流体抵抗が小さく、開閉操作が90度回転で開閉できるので、急速な開閉が可能であり、流量調節に適している。 しかし、構造上高圧領域には不向きといわれている。

### 3・2・1・3 自動制御弁としてのサイズ（口径）

弁口径は圧倒的に小口径が多く、50mmφ以下がほとんどである。

一般的に、玉形弁は150mmφ以下の小中口径、バタフライ弁は20mmφ程度の小口径もあるが、比較的大口径が多く、3,500mmφという超大型弁も使われている。

分野別では製薬、食品関係は50mmφ以下で、中には5mmφという超小型弁がある。一方、繊維あるいは水道関係はバタフライ弁の大口径弁が多い。

### 3・2・1・4 納期および価格

標準的仕様品、あるいは比較的数量が出るものは1~2カ月で、特殊仕様になると4カ月以上となる。

これにおおかつ大型化すれば7~8カ月か、それ以上を要することもある。

価格については各種仕様（本体の材質、口径、型式、内弁の加工程度等）によって大きく異なり、一概に云えないが、10~15万円/inchぐらいではないかと思われる。一般的には口径と価格の関係は図2のように、小口径弁は大・中口径弁に比べ割高になるのは仕方がないようである。

なお、価格に占める生産費（材料代等を含む）と技術費（営業技術、設計、アフターケア、等）の割合は2：8程度であり、一般弁の7：3に比べ大きく異なり、ほぼ逆転現象を示している。

このことは自動制御弁が如何に技術主導型のバルブであるか、また如何に付加価値の高いバルブであるかを物語っている。

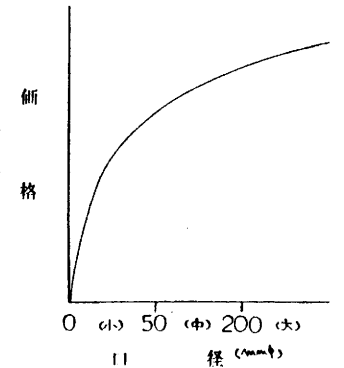


図2 自動制御弁の口径と価格の関係

### 3・2・1・5 自動制御弁に関する営業

先にも述べたように、一般弁と違い仕様が種々異なるため、画一的な営業ではダメである。

ユーザー側の使用条件、環境、および希望価格等を詳細に聞き、それを表2に示すような「仕様書」としてまとめ、メーカー側としての製造、技術体制と照らしあわせて、価格と納期を決定しなければならない。

例えば、図3に示すフローチャートの手順に従い、技術計算および打合せをするというエンジニアリング的な条件、材料選定、プラントに対する選定技術等の技術的裏付けが不可欠となる。

故に、この営業はセールスエンジニアリングが中心となり、客先の要望を満足させ、しかもメーカー側の利益を確保するには、少なくとも4～5年の営業（技術）実績が必要である。

その反面、この分野は一度客先の信頼を得たならば、先方からメーカーおよび製品を指定される場合もよくある。

### 3・2・1・6 自動制御弁における受注方法

自動制御弁は一般弁と違い、使用現場での条件が異なるため、一部を除いてほとんどが受注生産である。

それぞれの需要先の条件にあった使用にすべく、バルブ本体・駆動部および制御部などを組み合わせなければならぬためである。

この受注から製造までの流れは国内と海外（輸出）では図4のように若干異なるようである。

### 3・2・1・7 その他自動制御弁に関する基本的事項

この弁を製造、あるいは販売する場合に、最低限知っておくべき事柄を以下に示す。

☆ メンテ、あるいはアフターサービスが整っていること。すなわち、定期点検や故障、および修理等に対して適切な対応が、ON-OFF弁等とは比較にならないくらいに求められるからである。

表2 空気式自動制御弁仕様書  
(データ・シート)

		作成日 年 月 日	
ユーザー名		作成者	
電話		納期	カ月
流 体 条 件			
制御対象		温 度	
流体名		容 量 係 数	
最大流量		比 重	
最高圧力		粘 度	
最低差圧		腐 食 性	
仕 様			
型 式		駆 動 部	弁 動 作
用 途		弁 口 径	型 式
弁 口 径		接 続 方 式	塗 装
本 体 部	本体材質	付 属	ボ ジ ョ ン ー
	トリム材質		濾 過 器
	パッキン		減 圧 弁
	ガスケット		マ イ ク ロ ス イ ッ チ
備 考			

ある。

☆ 製品の経歴（スペック）を半永久的にとること。すなわち、どこへ、いつ、どんな仕様のものを納入したかをマイクロフィルム等で管理（機種番号等により）し、客先での非常時に対して迅速的確に対応できるようにするためである。

☆ Cv値等の流体性能を把握していること。すなわち、弁口径、流体、流量および弁前後の差圧等と容量係数（Cv値）の標準値を熟知しなければ、制御弁に関する交渉、打合せはできない。

☆ 調節弁（自動制御弁）の国内メーカーは多数あり、それぞれ特徴のある製品を作っているが、その中でも専門メーカーとして、国内シェアの90%以上を占めているグループに5弁会といわれているものがある。この分野へ新規に参入する場合、このことを充分認識しておく必要がある。

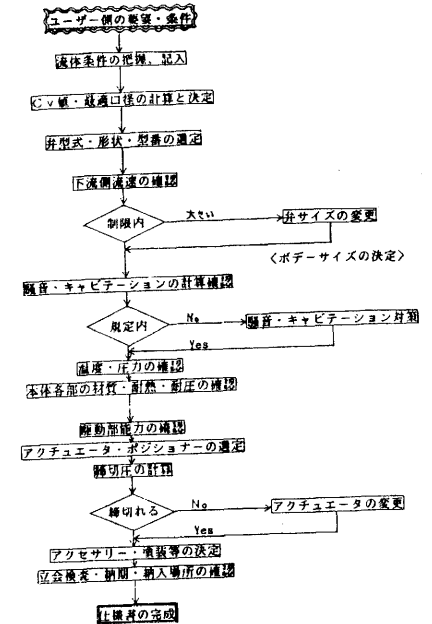
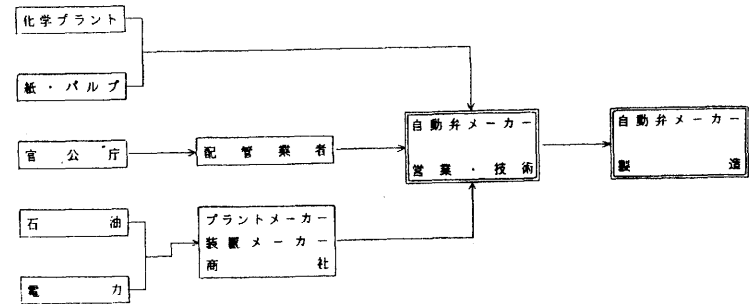


図3 仕様書作成のフローチャート

〔国内〕



〔海外〕

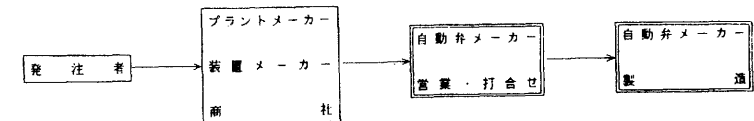


図4 自動制御弁の受注形態



### 3・2・2 自動制御弁に関する技術情報

#### 3・2・2・1 制御因子および制御方式

配管中に流れる液体、あるいは気体をバルブによってコントロールする場合、何を信号因子(制御因子)とするかが重要な問題となる。

調査結果では流量による制御が多く、特にビル等の空調用においては大半がこれによる制御であるが、この場合に、流量計などのセンサーの取付位置が制御精度に大きく影響するようである。

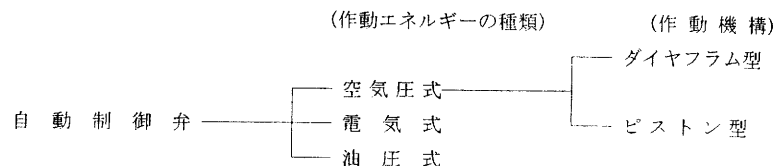
すなわち、取付位置は配管の上流側で1~2D、下流側で6Dが最適と云われている。(D:配管口径)

この他に圧力、温度、あるいは液面等を信号因子として制御することが多いが、その度合いを比較すると次のようになる。

流量 > 圧力 > 温度 > 液面

なお、製薬などの化学関係ではpH計により酸とアルカリを制御することもある。

次に、制御方式、すなわち駆動部のことであるが、これは作動エネルギーによって次のように大別することができる。



それぞれに特徴があり、使用環境等によって使われているが、現状は空気圧式が圧倒的に多い。

その理由は、次のとおりである。

- ① 低価格
- ② 機構が単純で故障しにくい
- ③ 信頼性が比較的高い
- ④ 防爆性が良い(化学プラント等の環境に強い)

なお、機構的にはピストン型よりもダイヤフラム型の方がよく使われている。

空気圧式以外では、電気式、あるいは電子式が比較的好く活用されている。これは小型化が可能という利点を活かしているが、欠点は高価であることと、60℃以上の高温領域での使用が難しいことである。

しかし、電子式はエレクトロニクスの飛躍的な進歩による改良が進めば、将来性は非常に高いと云える。

また、油圧式も使用条件によって適所に活用されているが、量的には少ない。これは高価で、しかも応答速度が遅いという欠点に起因しているものと思われる。

なお、外国では空気圧式が米国を中心に約80%、電子式が欧州を中心に約20%の比率である。

#### 3・2・2・2 アクチュエータおよびポジショナーの役割

自動制御弁の中心的な役割を果たすものに、アクチュエータとポジショナーがある。

空気圧などの動力源を介して、弁棒を駆動させるものがアクチュエータであり、モーター、シリ

ンダー等によって機械的な仕事をする機器をいう。

一方、ポジショナーはアクチュエータに組み合わせて用い、駆動部への操作空気圧を加減し、入力信号に対応した弁開度を与える、一種のサーボ機構である。これは主として、次のような時に使用される。

- ★ 複雑なプロセスで、調節信号のわずかな変化にตอบสนองして、制御弁を正確に作動させたいとき
- ★ センサーなどの計測器が本体から離れているために、信号遅れが生じやすいとき
- ★ 制御弁の正逆作動を逆転させたいとき
- ★ 弁特性を変化させたいとき

例えば、計測器からの入力信号が電気(4~20mAなど)のときは、電-空ポジショナーにより入力電気信号に比例した空気信号に変換し、弁開度を調節することができる。

#### 3・2・2・3 流量特性と自動制御弁

制御弁を考える場合、流量と弁の開度との関係を十分に把握しておくことが必要である。これを図5に示す。

各特性それぞれ特徴があり、自動制御弁への適否は次のように云われている。

- |                 |      |
|-----------------|------|
| ① イコールパーセンテージ特性 | : 適  |
| ② リニア特性         | : 最適 |
| ③ オンオフ特性        | : 不適 |

しかし、現実には配管の長さ、歪などの影響により、理想どおりの特性が得られない場合が多い。

実際の95%はイコールパーセンテージ特性であり、リニア特性はわずかに5%程度である。故に、プロセスや計器の特徴をよく検討しながら、弁の特性を選び、総合的(最終的)な特性が直線(リニア特性)に近似するように工夫することが望ましいとされている。

オンオフ特性は流量調節等には不向きで、全開全閉の用に供する弁に適している。

なお、これらの流量特性の詳細は後述する。

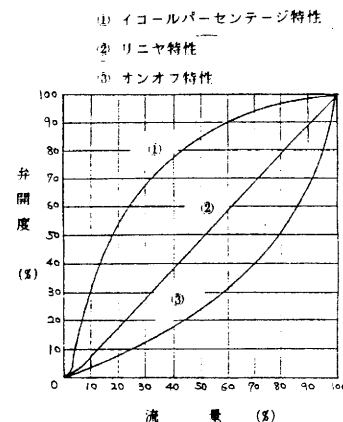


図5 調節弁の流量特製

#### 3・2・2・4 低騒音・低キャビテーション化

バルブの可動部であるトリム部が噴流・渦流の発生によって、共振現象を起こし、騒音を発生することと、バルブが絞り状態にあるとき、流体がある速度以上になると弁体の直後で圧力が急激に低下し、飽和蒸気圧以下になって気化し、気泡の発生および崩壊する現象(キャビテーション)により、大きな音と壊食が起こる。

これらの音は近年のような住宅の密集化等により、特に夜間での運転時において、しばしば苦情の対象となる。ON-OFF弁と違い、自動制御弁は絞り運転が主であるため、一層問題となる。

対策としては、発生源を囲う等の二次的な防衛も大切であるが、バルブ本体の発生源対策がより重要となる。

キャビテーション等の騒音に最も影響を及ぼすのが弁体の形状と云われており、各メーカーによってその改良、開発に努めている。現在のところ、単座弁よりもケージ弁の方が騒音、およびキャビテーションを低く押さえられるが、他に弁体に整流板を付けたり、櫛歯型の形状に改良したり、種々検討が試みられている。

### 3・2・2・5 コンピュータによる自動制御

既存の自動制御弁、あるいは遠隔操作弁の一部では配管システムとして、トータルの大型コンピュータ等によりコントロールされている。

しかし、個々の自動制御弁をコンピュータにより制御するという事は、現状ではあまり行われていないようである。すなわち、バルブの設置場所が各々異なり、しかも流体が違ったりして制御条件が異なる時などは、大型コンピュータによる集中制御がしにくい。

この場合はむしろ、それぞれのバルブに小型コンピュータ（ワンボードマイコン等）を付設し、バルブ前後の配管から取出した流量、圧力等の信号により、弁開度をコントロールした方が結核も少なく、工事が簡単で、コストも当然低く、合理的である。

故に、今後の自動制御弁開発の一つのポイントは前述の低キャビテーション化とともに、小型コンピュータの活用、搭載が挙げられよう。

### 3・2・2・6 現状での技術的課題

調査によって確認できた主な技術的な情報を今まで述べてきたが、これらを集約し、現状での課題を挙げると次のようになる。

#### 1) 材料の選定

ON-OFF弁と異なり、自動制御弁は中間開度での使用が多く、しかも開閉頻度が高いため、弁体・弁座等の要部の摩耗が大きい。

また、化学プラント等のように腐食環境でもよく使うため、この対策も重要である。

摩耗に強く、しかも、腐食しにくい材料の選定と対策が大きな問題である。例えば、セラミックス、テフロン等の活用とステライトの溶着、硬質クロムメッキ等の硬化処理の検討を積極的に行わなければならないだろう。

#### 2) キャビテーションによる損傷と騒音対策

前述したように、この点も大きな課題の一つであり、単にバルブ本体、あるいは弁体の形状だけでなく、配管全体としてトータルの対策が必要である。機構あるいは流体力学的な面からも検討を加えることが不可欠である。

#### 3) 信号とのインターフェース

圧力、流量、流速および温度等の物理量（変位）と電気信号への変換の精度向上が課題である。

そのためには、各種のセンサー精度のレベルアップとその的確な使用が不可欠である。

また、制御のデジタル化も図らねばならない。

#### 4) アクチュエータ、ポジショナーの選定とコンピュータの効果的な活用

## 3・2・3 自動制御弁の現状と将来性

### 3・2・3・1 現状認識と課題

今まで述べてきた基礎、および技術情報から自動制御弁の現状と今後への課題をピックアップすると、おおよそ図6のように集約することができる。

いずれにしても、この分野は典型的な多品種少量生産形態で、多数の部品をアセンブリし、これを一つ一つ組合わせて要望に答えるという、いわば「技術集約型」あるいはよい意味での「中小零細型」の製品といえるのではないか。

このことから、大企業あるいは一流企業でなくても、それぞれの分野で優れた技術力を持つ企業が協力しあえば、これからの参入もまったく不可能ではない。

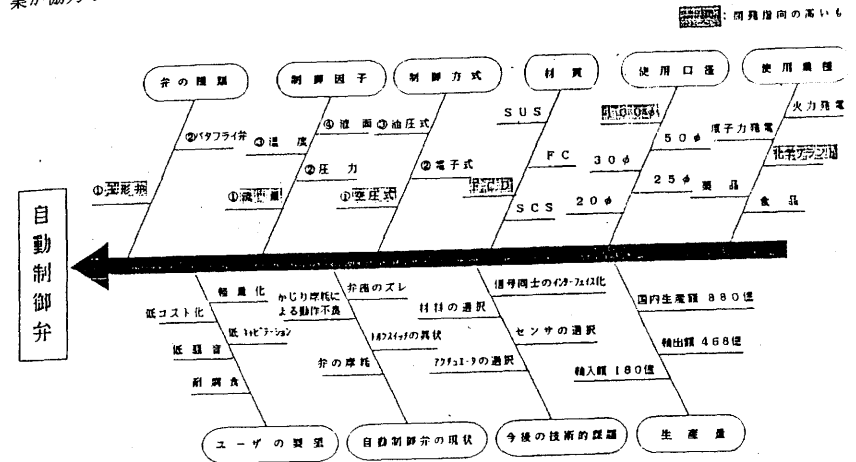


図6 自動制御弁に関する現状と課題、および開発指向

### 3・2・3・2 今後の伸展分野および将来性

図6の黒塗り部で示すように、開発指向の高いものいかにえれば 課題もあるが将来性があるものが抽出される。

これらはいずれも、現状でも相当需要が多いがまだまだ伸びるし、開発の余地があるように思われる。

自動制御弁の伸びは給水栓の次に高く、5%／年以上の需要増が期待できる。軽薄短小化、省力自動化時代に即応した製品、すなわち軽量化、インテリジェント化、低コスト化、低キャビテーション化、および短納期化を図れば、先はますます明るいものになるだろう。

今後の需要分野をみると、今までの基礎工程、一次工程等の川上工程ではなく、完成品工程、2、3次工程のいわゆる川下工程に大きな需要が期待できそうである。

業種では化学プラント、食品、公害等である。また、近年各都市で活発に行われているウォーターフロント開発事業にかかる比較的高圧な制御弁の需要も見込める。

### 3・2・3・3 需要が見込める機種およびサイズ

前項の3・2・1・2と3・2・1・3で示したように、自動制御弁の機種、およびサイズはおおよそ限定される。

機種については、圧力損失が小さく比較的軽量・コンパクトなバタフライ弁の需要も望めるが、やはり構造的に制御弁に向いている玉形弁である。先にも述べたように低キャビテーション、低騒音化の努力を図るなら、更なる需要が期待できる。

またサイズについては、今までの極小あるいは極大サイズよりも、今後の需要分野からむしろ100mm前後の需要が増えるように思われる。

### 3・2・3・4 材質・形状・寸法および機能の将来的方向

ユーザー側の条件、あるいは接続配管との関係により一概にはいえないが、調査結果からの予想は次のとおりである。

#### (材質)

FCD、FCDSが中心で腐食・摩耗環境等によってステンレス、あるいは各種の樹脂が使われるだろう。もちろん要部については特殊金属の溶射・メッキ等を施す。

#### (形状・寸法)

強度とのバランスを考慮しながら、今まで以上に肉厚の変化をつけるとともに、トータルシステムの一部としての機能美が要求されるだろう。自由度がますます高くなり、小型化とともに固定観念を捨て、

従来の形状・寸法からの脱皮（発想の転換）が求められよう。

#### (機能)

信号と開度との誤差を少なくし、制御弁としての精度向上はもちろんのこと、コンピュータの活用による付加機能をつけることが望まれる。また、従来からの懸案事項の摩耗・腐食およびキャビテーション

対策の確立が必要で、単に材質・形状面からだけでなく、構造的に改善する方策が望まれる。

### 3・2・3・5 バタフライ弁の自動制御化のメリット、デメリット

玉形弁とともに自動制御弁として多用されているが、この弁の主な特徴を挙げると

#### (メリット)

- ☆ コンパクトで軽く、メンテがしやすい
- ☆ 圧力損失が少なく流体抵抗も比較的小さいため、他の弁に比べキャビテーションも少ない
- ☆ 操作トルクが小さくてすむため、小口径から大口径まで幅広く使える

#### (デメリット)

- ★ 構造上、高圧領域には向かない
- ★ 弁座にゴムライニングなどの非金属材料を用いるため、高温領域に向かない

このようなメリット、デメリットを考慮しながら、うまく活用されているが、自動制御弁の分野で玉形弁に遅れをとっている原因は上記のデメリットのためである。とりわけ、制御弁の使用分野は条件的にも厳しいところが多く、このこともバタフライ弁を不利にしている。

### 3・2・4 『彦根型自動制御弁』を開発するには

#### [ 結論 ]

#### 3・2・4・1 自動制御弁の開発と産地活性化

バルブの使用条件がますます厳しくなるとともに、配管システムの高度化、インテリジェント化に対応するため、既存弁の修正・改良を行い、コンパクト化・高強度化、あるいは低キャビテーション化等を図っている。

しかし、産地が飛躍的な発展を目指すためには、これだけでは難しく、どうしても新しい技術、あるいは特徴のある新製品の開発が不可欠である。

この意味において、既存メーカー等との競争はあるものの産地独自の自動制御弁を開発するならば、必ずや産地の活性化が図れるものと思われる。特に開発研究の過程において次の効果が期待できる。

- ① 産地全体の意識改革
- ② 産官学による開発研究を通じて、技術者の養成と産地全体を技術開発型への誘発・ムード作り
- ③ 技術情報の提供と交換等

#### 3・2・4・2 産地での開発・販売を成功させるには

自動制御弁の開発は前述のような産地活性化への効果が期待できるが、これを成功させるには今までの殻から脱皮し、産地全体が新しい発想のもとで物事に取組まなければならない。そのためには下記の事項について真剣に対処することが不可欠である。

- ① 経営者の意識改革と閉鎖性を取除くこと
- ② 産地組合の積極的なリーダーシップ（開発・生産・販売に）
- ③ 研究開発の重要性、および情報収集と選択の必要性の認識
- ④ 改良・開発への自由度を高めるため、各種の規格緩和へ産地が積極的な役割を果たすこと
- ⑤ 若手技術者の養成と中堅技術者の権限拡大
- ⑥ 制御機器メーカーとのタイアップによる効率的な開発

#### 3・2・4・3 彦根型自動制御弁のセールスポイント

これまでの調査結果と考察から、彦根産地が先発メーカーと競合しながら、これから開発・生産・販売をしていくためのセールスポイントにすべき点をまとめると、次のとおりとなる。

- ◎ コンパクトで軽量化、そして低コストの玉形弁
- ◎ 精密化（フィードバック精度の向上と微調整化）
- ◎ ワンボードマイコン搭載による自動制御化
- ◎ 寸法・形状、および駆動機構の検討による低キャビテーション化
- ◎ ファッションブル性の追及（機能のみでなく、姿・形・人に見える場所に設置することを想定し）

なお、産地で開発すべき形状やサイズ等の詳細については、前述の調査結果を参考にすべきことは当然である。

#### 4. 自動制御弁に関する技術調査

##### 4.1 調査方法および調査対象

技術調査は市場調査と並行して実施しているため、前述の3.1項の場合と同様である。ただし、これに加えて多くの文献を参考にした。また駆動部各機器類の仕様データの取りまとめには、カタログ収集により制御機器類を比較して、おおよその傾向を把握した。特に、アクチュエータとポジショナーについては仕様範囲を調べるため、類似仕様のものは除き、特徴的な機種に限定して制御の違いによる比較を行った。具体的には以下の関係する項目のところで記載した。

##### 4.2 調査結果

自動調節弁は、調節系により流量等を制御するものであるが、アクチュエータはもとよりポジショナー、発信機、変換器、増幅器といった付属器が必要になる。ところが、これらの各補助機器は流体特性と関係して弁の種類によって自ずとその役割が異なっている。このため、弁全体の動作を考えるには、弁本体と駆動部の組合せ、そして、弁本体部においても弁体が開閉する方向、さらに駆動部ではアクチュエータやポジショナーおよびこれらに付属する機器類の役割を知ることが重要になる。そこで、制御あるいは調節という意味から自動調節弁について各部の基本構造と制御の仕組みを示す。なお、記載した内容は自動調節弁の解説のようであり、この方面の技術者には当然のことかも知れない。しかし、素人には比較的平易な参考資料になるように心がけた。

##### 4.2.1 弁構造と基本動作について

###### 4.2.1.1 弁本体部の基本構造

図7に調節弁で最も代表的な弁本体部の基本構造を示す。このうち、単座弁は基本的なものであり、小口径の場合や差圧が余り大きくない時や閉時の漏れをできるだけ小さくしたい場合に用いられる。これに対し、複座弁は弁径の比較的大きいときや差圧が大きい場合、あるいは弁閉時の漏れ量あまり問題とならないような場合に適用されている。また、ケージ弁はキャビテーションを抑制するタイプであり、弁体が筒形状になっており、この円筒面に多数の穴が空けられている。これによりケージ弁内部で生じるキャビテーションやフラッシングがケージ内部で相互に干渉してほとんど消滅し、下流への影響があまりなく、キャビテーションやフラッシングによるエロージョンを受けにくくなっている。この機種を採用することにより、騒音の問題が大幅に改善されるというものである。

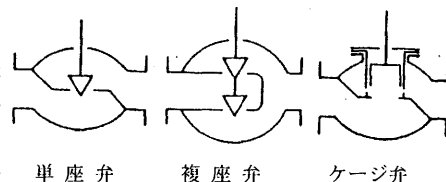


図7 調節弁本体部の基本構造

###### 4.2.1.2 調節弁の基本的動作

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。つまり、これらの組合せにより弁全体の動作は表3のようになる。駆動部と本体部にはそれぞれ正・逆の動作があるため、弁全体の動作もこれらによって両方の動作ができるようになっている。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で、逆動作はこれとは逆になる。また本体部の場合では、外部から弁棒を引けば弁体が開くものが正となる。弁全体の場合は、信号量の増加するに従い弁体が閉まるものが正である。(図8参照)

表3 基本動作

記号	適用	弁全体	本体部	駆動部
A	正作動作	+	+	+
B	逆作動作	-	-	+
C	小流量の逆作動作等	-	+	-
D	殆ど使わない	+	-	-

※ +: 正 -: 逆

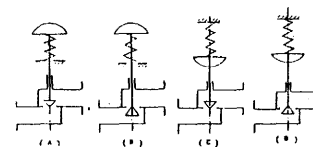


図8 調節弁駆動部の基本的動作

##### 4.2.2 使用条件と材質との関係について

表4に流体圧力および使用温度等と調節弁本体の材質との関係を示した。表より、流体圧は真空、から5kgf/cm<sup>2</sup>以下~150kgf/cm<sup>2</sup>以下といった範囲にあり、また使用温度についても-190~+600℃とかなり幅がある。水、蒸気や空気ばかりでなく腐食性の強い化学物質や酸素・窒素などのガスが配管中を流れるためであり、しかも低温~高温、そして低圧をはじめ高圧にいたるまでバルブが設置されるプロセス条件によって種々・様々であると言える。従って、バルブの使用条件に適した材質を選ぶ必要性から、高温高圧用材質をはじめステンレスや鋳鉄、および樹脂といった各種の材料が使われている。

このような意味から、材質の決定にはユーザーの使用条件(特に、プロセス条件として流体の種類[物性]、圧力、温度、粘度、比重等)を把握することが重要になる。

表4 流体圧力および使用温度等と調節弁本体の材質との関係

流体圧力	使用温度	流体名	使用環境	材質	規格
5kgf/cm <sup>2</sup> 以下	-5~+40℃	塩酸、硫酸	pH調節用	樹脂	PVC
	-20~+130℃	腐食性流体	耐食用		PTFE
10kgf/cm <sup>2</sup> 以下	-5~+250℃	空気、水、蒸気	低圧用	鋳鉄	FC20~25
真空 30kgf/cm <sup>2</sup> 以下	使用条件、環境 により決定	塩酸、硫酸 塩素 ガス、特殊液	スラリー 耐食用 耐酸用	特殊金属	モネル ハステロイ チタン
70kgf/cm <sup>2</sup> 以下	0~+350℃	空気、水、蒸気、ガス	中高圧、高温	高温高圧用鋳鋼	SCPH2
	-150~+400℃	空気、水、蒸気	低高温、耐圧	ステンレス鋼	SCS13
	-190~+600℃	腐食性ガス、冷媒	耐食用	鋳鋼	SCS16
100kgf/cm <sup>2</sup> 以下	-15~+300℃	空気、水、蒸気、ガス	低高温、耐圧	炭素鋼鋳鋼	SF45
150kgf/cm <sup>2</sup> 以下	-150~+500℃	ガス(酸素、窒素)	超低温、高温	ステンレス鋼	SUS304
	-200~+550℃	蒸気、温水、冷媒	高圧、高差圧		SUS316

#### 4・2・3 流体特性と制御機構の関連性

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。そして、最適な弁形状(種別)を決める。これには、検討される特性についての知識を十分理解しておくことが必要になる。

流量特性とは弁開度と流量の関係のいうが、一般的に固有特性と有効特性に大別される。中でも、制御性との係わりでは、調節弁の流体特性として、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。また、配管系に關係したリニアシステム特性が知られている。重要な特性について説明を加えれば次のようになる。

##### (1) 固有流量特性 Inherent flow characteristics

非圧縮性流体を弁前後の圧力状態一定条件で流したときの特性で、次の3つが一般的である。

###### ① リニア特性

リフトのストローク、あるいは弁開度と流量が比例。(図5中②の曲線) 0~100%の調節においてできるだけリニアであることが望ましい。しかし、これは理想な特性で実際にはこのようにならない。

###### ② イコールパーセント特性

リフトの単位ストローク変化に対する流量変化の割合が全ストロークを通じて一定。(図5中の①曲線) 有効流量特性がリニアとなるようにするため、このようなイコールパーセント特性で逆ひずみを与え、有効特性のひずみをとることによりリニア特性に近づける。

###### ③ オンオフ(クイックオープン)

わずかのストローク変化で急激に流量が増す特性。(図5中の③曲線)

##### (2) 有効流量特性 Effective flow characteristics

実際の配管に弁を取りつけ、作動させた場合の特性で、配管の抵抗等により現実はこの様な特性となる。

##### (3) その他特殊な例

常に冷却が必要な時には、ストッパーを設けて信号がゼロでもある一定の流量がつねに流れているような場合や、セラミックシートの場合などでは衝撃をできるだけ抑えなければならないようなこともある。

このほか、制御可能な最大、最小容量係数との比を示すものにレンジアビリティがある。一般的に30:1~50:1。

$$R = \frac{\text{制御可能な最大流量}}{\text{制御可能な最小流量}} = \frac{Cv \max}{Cv \min}$$

#### 4・2・4 玉形弁の調節弁化についての留意事項

##### ① 自動制御系の設計手順

問題点の把握

(検出量・制御量・外乱などの確認) — 要素特性を調査 — 制御動作の解析

— ブロック図の作成 — 定数の決定と対策 — 補償要素、制御方式を決定

#### — ブロック線図の等価変換 — アナログ計算機等の利用

##### ② 自動制御弁によるキャピテーションの抑制

弁体形状による低キャピテーション化と駆動部(操作部)等の付属機能を使い、弁開度の制御技術による低キャピテーション化の検討。

##### ③ 流量または圧力を制御する場合の留意点

プロセス制御系における調節弁の基本構成(図9参照)を知り、信号取出用センサーの選定やセンサーの設置位置と電気レベルの大きさおよび時間変動の関係を把握。

##### ④ 検出部信号の増幅および変換機能

圧力・温度・レベルなどを検出した場合、これが増幅、変換され調節信号として利用される仕組みを理解する。例えば、空気式調節器の役割・機能を理解するなどして、これに代わる機能の付加方法を検討する。

##### ⑤ 制御信号の流れについて

どのような信号の流れにより、弁軸の位置が制御されるか。また、制御系の基本構成を知り、制御系の基本ブロック線図と開発目標の線図の違い、位置づけ(特徴)はどうなるのかを明確にする。

例1: 外部で行っている信号処理をバルブ自体が自動的に判断して処理する。つまり、外部に帰属していた調節機能を、既存調節弁に外付けあるいは内蔵型とする。ブロック線図では検出部の信号および調節部の信号処理機能を調節弁に付属させる。バルブは接続されている配管部でしか機能し得ないので、単純なシステムか部分的システムでの制御が主体となる。

#### 4・2・5 弁軸の駆動と各種制御機器との係わり

##### 4・2・5・1 アクチュエータによる弁軸の駆動とポジショナーの役割、調整機能

###### ① アクチュエータ

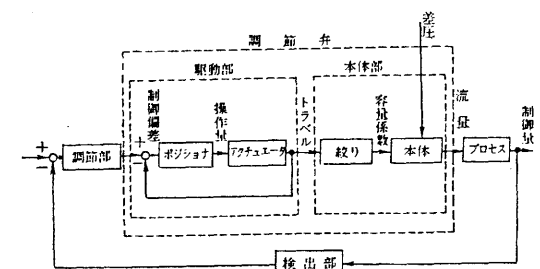
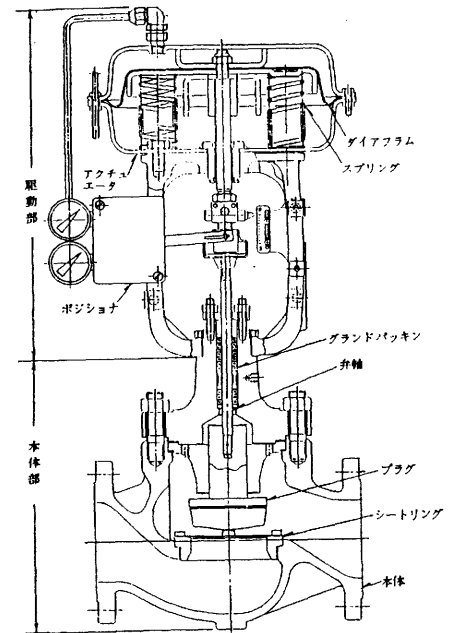


図9 プロセス制御系における調節弁(制御弁)の基本構成

調節弁の弁軸を動かすものがアクチュエータであり、電気や空気圧などの動力源を使ってモータ、シリンダーといったものである。

表5は、自動弁あるいは調節弁に使用されているアクチュエータの種類と能力を知るための結果である。

これにより、駆動源の違いや駆動方式、あるいは出力特性などの特徴を知ることができる。作成に際しては次の点に配慮した。

- 調査カタログ50社中類似のものを除き、特徴的なものを12種類選定した。
- 通常のプロセス制御に多用されているタイプで、基本的な仕様で限定した。
- 形状・寸法関係や開度制限付、ハンドル付、オイルダッシュブット付といった制御と直接的関係していないものは除外した。
- 駆動源では油圧式もあるが、調査したのものにはなかったため、あまり採用されないものと予想される。また、また電油式（共用タイプ、電油モータ）もあったが仕様が複雑で特殊なものと考えられるので、これも省いた。
- 同種類のアクチュエータでも能力によって型式が多数あった。しかし、アクチュエータの選定を知るという点ではこれら全てを列記しても余り意味がないので、能力の最大と最小を使用することにした。

表5 アクチュエータの使用範囲

駆動源	駆動方式		シリンダー有効面積 cm <sup>2</sup>	出力		リフトmm (角度°)	供給圧 kgf/cm <sup>2</sup>	重量 kgf	作動	
	タイプ	種類		単動	トルクkgf・m					
空気圧式	ロータリー	シリンダー	-----	単動	2~314	(60, 90)	2.1~8.5	1~250	1~6	
				複動	78~2280	13~409	65~450(60, 90)	3.0~8.5	0.6~420	1~6
		ダイヤフラム	単動	-----	4.8~77	(60)	1.5~2.8	12~146	-----	
	リニア	シリンダー	-----	単動	78~1000	550~8811	-----	20~210	2.0~10	10~150
				複動	78~1232	153~44200	-----	20~1380	2~10	12~150
		ダイヤフラム	単動	90~2100	36~1820	-----	12~180	1.2~4.0	.8	3~275
		複動	90~1520	36~1200	-----	12~100	1.2~4.0	.7	3~126	0.7~
電気式	共用		操作信号	位置検出	消費電力	出力	回転、ストローク	電源	重量など	開閉時間
	リニア ロータリー	電動モータ	±10V 4~20mA	リニア、リニア	14~70W	1~173kgf・m 3670~ 50000kgf	78~152mm 60、90°	AC100 ~480V	4~33kgf 防滴形	22.6 4~90
電子式	共用	モータ	DC1~5V		50W	8~80mm			1.1~ 11kgf	10~ sec/10
	リニア ロータリー		4~20mA	リニア	60~110VA	2~500kgf DC24V、100mA	60、90°	AC90 ~132V	防滴形	2~12 mm/10

※ダイヤフラムにはスプリング形とマルチスプリング形がある。  
※ダイヤフラムの操作入力力は標準0.2~1.0kgf/cm<sup>2</sup>

全体的に、空気圧式の方が機種・仕様面で充実している。これは市場調査の内容と一致している。一方、電子式ではストロークから判断して、小口径のバルブに用いられているらしく、能力的も低レベルである。逆に、この方面での応用が期待されているとも言えそうである。電気式は使用されている電動モータの種類・能力ともに広範囲であるため、出力特性も電子式よりは大きい。空気圧式ではロータリー、リニアの2タイプがあり、さらにアクチュエータの種類としてシリンダーとダイヤフラム、そして作動によって単動と複動がある。ダイヤフラムよりもシリンダーの方が出力特性が大きくなっている。また、シリンダータイプでも複動の方が出力が広範囲

にある。但し、シリンダーやダイヤフラムであっても歯車機構などの特殊な構造によってロータリー駆動が可能になっている。空気圧式は防爆性に優れ、供給圧も1.2~4.0kgf/cm<sup>2</sup>といった小さな値であるため、市販のコンプレッサーで十分作動できる範囲にある。

② ポジショナー

ポジショナーはアクチュエータと組み合わせると制御性が向上し、入力信号に対応した弁開度を与えることができる一種の変換器で、アクチュエータに必要な操作量を伝える。(以下図10を参照)

その作動原理は、比較的単純な空-空式ポジショナーを例にすれば、まず調節計からの信号圧力は、接続口パイパスコックを経て入力室にはいり、2枚のダイヤフラムの有効面積差によって発生する力によってフラップが変位する。そして、ノズル-フラップ間隔が大きくなり、ノズル背圧が下がる。一方、定圧室には供給圧力が導入されているため、パイロット軸(排気バルブ)は右側に移動し、弁棒を押すことになる。出力圧力は、パイパスコック等を経てダイヤフラムモータに導かれて、バルブシステムを動かす。また、バルブシステムの動きはレバーによって回転運動に変えられ、レバーの軸に固定された伝達レバーを動かすと同時に伝達ピンを介してフィードバックレバーを振らせる。この振れによってフィードバックスプリングに変位が与えられ、スプリングの張力と入力室の発生力が平衡するまでシステムが動く。そして、入力信号に比例したステム信号が得られることになる。

ポジショナーの場合もアクチュエータと同様にして表6を作成した。なお、電-電式ポジショナーといったものもあるが、調査した範囲では殆ど空-空あるいは電-空であったので、この2種類に焦点をあてて性能比較を行った。リニアリテイ、ヒステリシスといった点では電-空タイプの方が幾分優れているといえそうである。しかしこの場合、電気配線接続口が必要になる。また配線方法にも注意が必要である。他の性能は大差ないと言える。

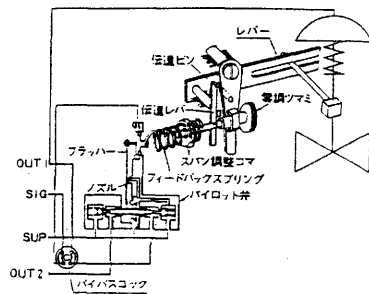


図10 ポジショナーの原理(空-空式の場合)

表6 ポジショナーの仕様範囲

作動	空-空		電-電	
	単動・複動	単動・複動	単動・複動	単動・複動
入力範囲	0.2~1.0 kgf/cm <sup>2</sup> (標準) 0.4~2.0 kgf/cm <sup>2</sup>	4~20mA DC (標準) 10~50mA DC	10~50mA DC	入力範囲100~250Ω
ストローク	6~100mm 6~30° (R°式) 60~120° (BA式) 標準 60°、90°	任意 6~100mm 標準 60°、10~30° (R°式) 60~120° (BA式) 標準 60°、90°	任意 6~100mm	標準 60°、10~30° (R°式) 60~120° (BA式) 標準 60°、90°
供給空気圧力	1.4~7 kgf/cm <sup>2</sup>	1.4~7 kgf/cm <sup>2</sup>		
特性	リニア、任意 (カムによる)、E %、非線形	リニア、任意 (カムによる)、E %、非線形		
精度	0.1~0.5%以内	0.1~0.5%以内		
リニアリティ	±1~3%以内、5%以内 (カム)	±1~2%以内、5%以内 (カムによる)		
ヒステリシス	1~1.5%以内	0.5~1%以内		
スプリットレンジ	30~100%	50~100%		
空気消費量	7~28l/min	7~16l/min		
出口流量	7.0l/min (供給圧1.0kgf/cm <sup>2</sup> 時)	7.0l/min (供給圧1.0kgf/cm <sup>2</sup> 時)		
空気接続口	PT1/4めねじ (圧力計1/8、1/10) 配管PT1/4めねじ (圧力計PT1/8)	PT1/4めねじ (圧力計1/8)、PT1/4めねじ (圧力計PT1/8)		
材質	鋳鋼・鋳鉄	鋳鋼・鋳鉄		
電気配線接続口	-----	PF1/2めねじ	PT1/2	
駆動方式	-----	電線管方式・配管パッキン方式		
重量	1.3~2.5kgf	2.1~3.3kgf		

種類に焦点をあてて性能比較を行った。リニアリティ、ヒステリシスといった点では電磁弁の方が幾分優れているといえそうである。しかしこの場合、電気配線接続口が必要になるためまた配線方法にも注意が必要である。他の性能は大差ないと言える。

#### 4・2・5・2 空気圧を動力源とする場合の留意点（付属機器の利用）

弁開度の認識方法としてリミットスイッチがある。これは、コントロールバルブの全閉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。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場合には、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。

この他、各付属品は次のような役割をしている。

- ① ニューマチックリレー  
設定圧力に対して信号が高すぎたり低すぎた場合に、空気流量を切り換える。
- ② スピードコントローラ  
アクチュエータと組み合わせて、その作動速度を調節。駆動用空気の容量（速度）を調整すればよい。
- ③ ブースターリレー  
計器から配管距離が長い場合や操作部の容量が大きい時、駆動用空気容量を増幅。
- ④ ロックバルブ  
供給空気に異常が生じたとき、正常状態に回復するまで操作部をそのままの位置に保持。アクチュエータの空気配管回路の遮断、切換、ロックなどの働きをするエアリレーである。
- ⑤ レギュレータ（減圧弁）  
空気を所定の圧力に減圧。供給圧力が空気消費量の変化や空気源圧力の変動にかかわらず常に一定した設定圧力に保つことが可能。
- ⑥ フィルタ  
空気の洗浄
- ⑦ その他  
エアセット：フィルタ、レギュレータ、オイラーが一体となったもの。  
電磁弁：コントロールバルブのON-OFF作動の切替に使用。

#### 4・2・6 その他自動制御化技術のポイント（留意事項）

##### 4・2・6・1 バルブを使った流体制御（開発目標）

図11に調節弁が使用されている一般的システムを示したが、これと開発目標の自動制御弁と比較の意味から図12を作成した。コンピュータ搭載のメリットとして、外部の演算処理機能を付与させることと使用用途が変わっても設定値を変更するだけで容易に別のシステムにチェンジできることが特徴である。ユーザー仕様が多種多様であることへの対策となるほか、簡易システムへの適用として用途拡大が図れるのではないかと考えられる。また、これを発展させればポジショナーの機能を部分代行させることも可能と思われる。両図では、便宜上ダイヤフラム形式のものを想定した。

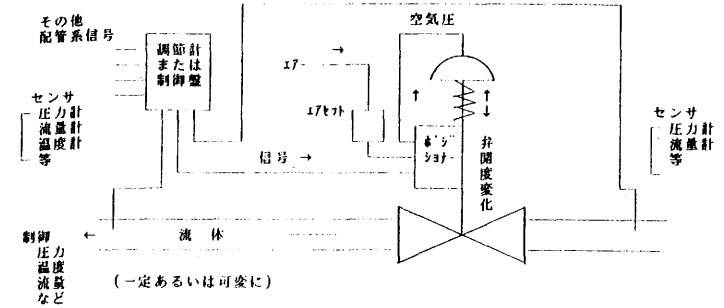


図11 システムとしてのバルブの利用（現状）

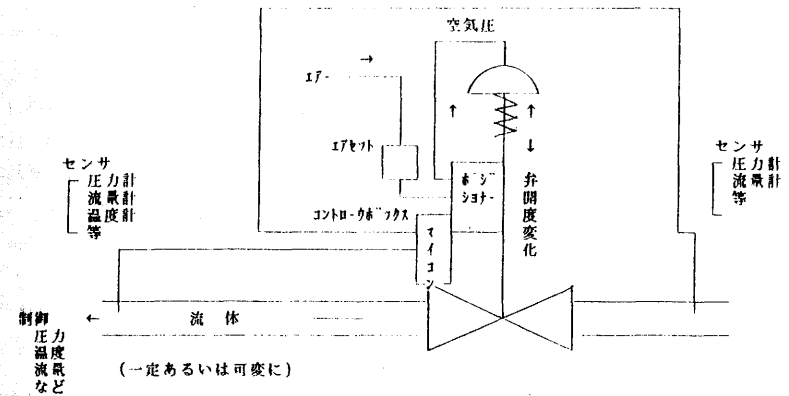


図12 自動制御弁の開発目標

##### 4・2・4・2 自動制御弁の開発に際して

自動制御弁の開発には、アクチュエータ、ポジショナー、及びその他付属品等を決定しなければならないが、それには、まず現在最も多用されている既存の調節弁において、バルブ本体とこれに付属されている各種機器類の構成及び弁開度との関係を十分知っておく必要がある。そして、さらにこれに加えて新規性のある制御弁を設計するためには、現状機種において制御性を測定しなければならない。計測項目としての検討すべき課題は次のようなものが考えられる。

- ① どのような箇所から駆動特性、制御信号が取り出せるか。またその信号はどのようなプロセスで伝達されているかを測定し、制御の仕組みを明確にする必要がある。
- ② 測定項目を検討する。例えば、次の3つのアプローチの仕方を考えてみた。
  - ア、弁軸の位置制御の項目  
変位（位置）、速度（角速度）、加速度（角加速度）、所要時間、トルク（荷重or軸力）
  - イ、各付属機器の機械的および電気的特性  
変位（位置）、速度（角速度）、加速度（角加速度）、所要時間、トルク（荷重or軸力）  
電気的諸特性、応答特性、位相差、時間遅れ、タイミング
  - ウ、各測定項目の入力信号および出力信号としての関係（出力信号に影響する主要素を調べる）





### 5・2・3 制御因子と特許

図15に制御因子と特許件数の関係を示す。

すなわち、自動制御弁はある目的のために何かを制御すること、例えば「常に一定濃度のウォッシャー液を供給するために、給水量に対する洗剤の量を調節（制御）する」である。この図は、その制御するもの（因子）は如何なるものが多いかを工業所有権の出願状況から見てみようとしたものである。

予想どおり、流量による制御が圧倒的に多く、次いで圧力、水圧、温度、発熱量あるいは位置、方向、水位の順であった。時間、および重さ等による制御は意外に少ないことも判明した。

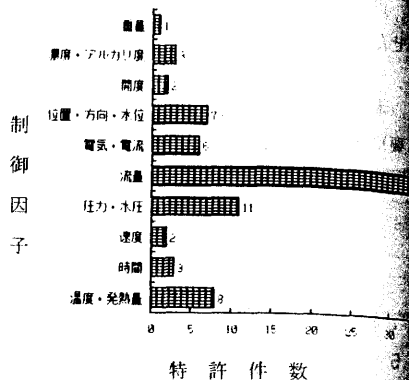


図15 制御因子と特許件数

### 5・2・4 問題別特許件数

特許などの申請は何かの問題点を解決する過程において、新たな製法あるいは考え方等の新技術について出願することである。

ここでは、この時の問題点、言い換えれば自動制御弁等を考える場合に留意しなければならない項目に注目し、図16のような問題別の特許件数を調べた。

その結果、前項から示している傾向がここでも明確になった。すなわち、「流水の変動」あるいは「給水・送水量」に関する問題が他を圧倒していることがわかった。

このことは自動制御弁等を考える場合、「制御因子」、および「検知センサー」等の技術を他の技術と同等、あるいはそれ以上に重視するとの忠告とも受けとれる。

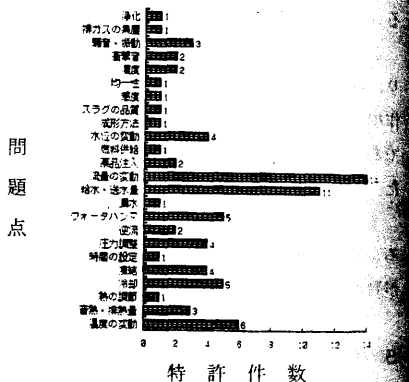


図16 申請時における問題別特許件数

以上、特許情報の収集によって得られた点を記述したが、これらは限られた情報を集約したものであり、必ずしも目的を得ているとはいえないが、自動制御弁を開発研究するうえで何らかの考にするという所期の目的はある程度達成できたと考える。

## 6. まとめ

彦根産地の活性化の一環として、自動制御弁の開発研究に先立ち、まずこの方面の市場および技術に関する実態調査を実施した。そして、この結果をもとに彦根型自動制御弁について検討した。これまでの内容を総合すれば次のようになる。

### 1) 市場・技術面からみた彦根型自動制御弁の開発について

弁本体は制御性に優れた玉形弁が適当で、材質的には特殊な環境でなければFCDでも十分と考えられる。制御因子は流量（圧力）が主体であり、口径としては、比較的小口径からφ00前後まで利用度が高いと考えられる。

駆動部については、空圧式が主流。使用用途は、多方面で多種多様な製品が出ていることから、限定するのは難しいが、化学プラント関係が中心となっているようである。但し、水道関係や各種配管ラインを想定した開発が望まれる。今後、小型、軽量、低コストはもちろんのことマイコン搭載といった技術で特徴付けが必要となろう。

### 2) 産地としての活性化の方向について

① 従来の認識を改革し、情報をできるだけオープン化する。また、メーカー間の協力体制をより緊密にし、長期的な見通しを持った取り組みが必要。

② 自動制御弁の市場は全業種におよんでいる。産地のメリットを生かした高付加価値化製品の開発は重要。ただし、技術力向上が不可欠でより一層の努力が必要となる。

③ 弁本体部の構造を限定すれば、流量特性は既知であるので、彦根型バルブを制御してみることは重点をおく。

例えば、圧力差を伴う低所から高所へのライン配管やインテリジェントビル化等に対応できる高圧配管用の流量制御。グローブ弁でキャビテーションの発生し易い条件（領域）を自動検出し、制御ソフトによってキャビテーションの領域外で適正運転ができるような高機能化バルブの開発。多種多様な配管仕様に対応するため、自動制御弁が簡易的な調節機能を持つようにする。騒音・振動や温度などの環境変化に強い制御バルブの開発。といったものが考えられる。

なお、カタログを50件分、また、特許情報もかなり入手できた。これらには、多く利用価値があると思うので、業界へ情報提供したいと考えているので、ぜひ利用していただきたい。

### 参考文献

- 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
- 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
- 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
- 山本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
- 山武ハネウエルのカタログおよび技術資料、山武ハネウエル(株)

最後に、本調査を行うにあたり多大な助言、御指導と御協力をいただいた技術会議の各委員、並びに山武ハネウエル(株)・椎木 晃 氏に深く感謝いたします。