

業務報告書

平成6年度



水色いちばん—滋賀です

滋賀県立機械金属工業指導所

彦根市岡町52番地

まえがき

緩やかな回復基調をたどって来た日本経済も、ここに来て円高、株安の衝撃もあって腰折れの懸念が広まって来た。その陰で低価格競争や産業の空洞化、就業の問題など今までにない新たな課題が生じつつある。

金融政策や公共投資も一つの手段であるが、抜本的な産業構造対策が緊急に必要な時期に来ていると思う。そのためにはまだまだ計り知れない規制を緩め、ニュービジネスの到来を促す政策が期待される。

資源の無い我が国が世界のリーダーたる条件を保ち続けるためには、新しい視点に立った「物作り」以外にない。

本年も昨年に引き続き高機能バルブ開発についてCAEによる流体解析、強度解析による開発を進め新たな技術課題に対する研究を重ねて参た。その結果、今までに想像し得なかった新しい問題や現在悩んでいる数多くの技術的課題を解決することが出来た。自動バルブの開発に至っては流量微調整のソフトも完成し自動制御技術も習得出来た。

またバルブのCAD・CAMによる機械加工技術も若干の問題はあるもの、一応完成する事が出来た。

ここにその実績を取りまとめましたので御高賢賜わり御意見等いただければ幸いに存ずる次第であります。

平成七年八月

滋賀県立機械金属工業指導所

所長 上田成男

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

目 次

I 概 要	
1 沿 革	1
2 規 模	1
3 組 織	1
4 職 員	2
5 予算および決算	3
6 試験研究設備の整備状況	6
7 主要設備	7
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	15
2 一般巡回技術指導	15
3 簡易巡回技術指導	15
4 技術相談・指導	16
5 調 査	16
6 技術普及講習会	17
7 新技術技術者研修	17
8 出版刊行物	18
9 生産技術研究会	18
IV 研究業務	
1. バルブ製品の性能に関する研究	20
(バルブの強度解析について)	
2. CAEによる低キャピターションバルブの開発研究	31
3. 自動制御弁の開発研究	63
(自動制御弁の適正化に関する研究)	
4. 新素材活用技術に関する研究	
○流動層による球低黒鉛鋳鉄のオーステンパ熱処理技術の開発	73
○金属粉末冶金技術の開発	83
5. CAD/CAMシステムによるバルブ加工の合理化・省力化研究(4)	97

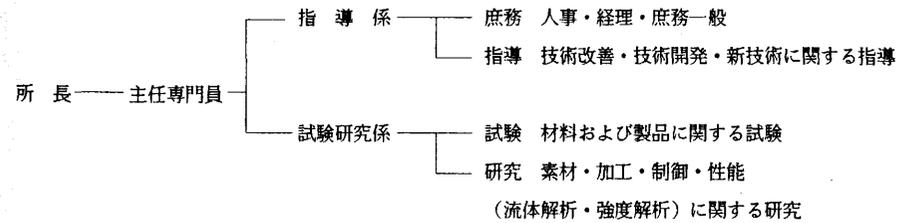
1. 沿革

- 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、ジグボアラ室、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㎡

3. 組織

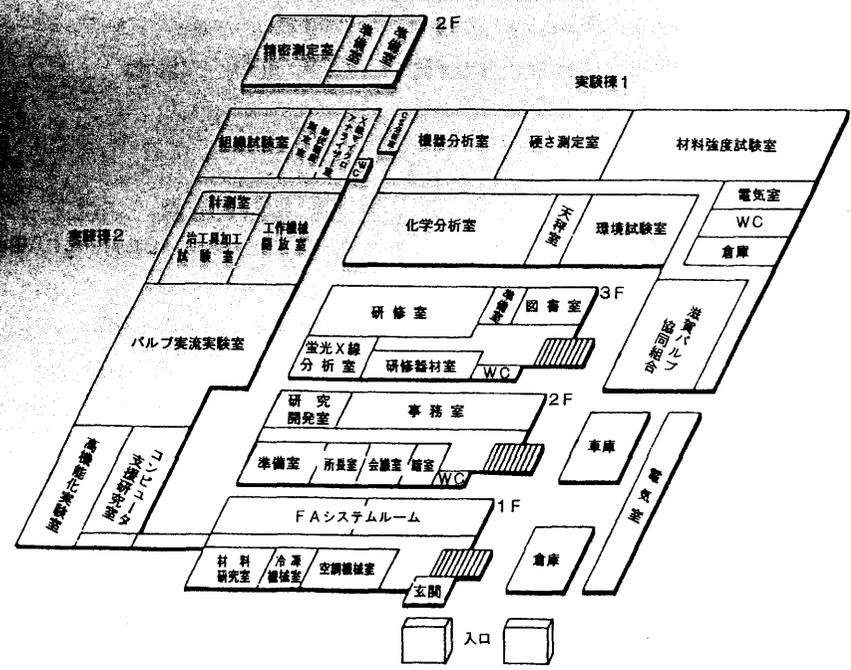


4. 職 員

4.1 職員構成

所 長	上 田 成 男
主任専門員	村 口 明 義
指 導 係	係 長 樋 口 英 司
	主 査 藤 田 芳 彦
	主 査 川 崎 雅 生
試験研究係	専門員(兼)係長 西 内 廣 志
	主 査 宮 川 栄 一
	主 査 酒 井 一 昭
	主任技師 所 敏 夫
嘱 託	井 上 道 子

建物配置図



5. 予算および決算

(1) 平成6年度 歳入予算状況

(単位: 円)

科 目				予 算 額	調 停 額	収 入 済 額	不 納 損 額	収 入 未 済 額
款	項	目	節					
06	使用料及び手数料			4,699,000	4,576,650	4,576,650	0	0
	01	使用料		870,000	869,800	869,800	0	0
		06	商工使用料	870,000	869,800	869,800	0	0
			05 機械金属工業指導所	870,000	869,800	869,800	0	0
	02	手数料		3,700,000	3,577,850	3,577,850	0	0
		04	商工手数料	3,700,000	3,577,850	3,577,850	0	0
			05 機械金属工業指導所	3,700,000	3,577,850	3,577,850	0	0
12	諸 収 入			129,000	129,000	129,000	0	0
	07	雑 入		129,000	129,000	129,000	0	0
		08	雑 入	129,000	129,000	129,000	0	0
			35 経営技術等研修講習料	129,000	129,000	129,000	0	0
合 計				4,699,000	4,576,650	4,576,650	0	0

(2) 平成6年度 歳出予算執行状況

(単位：円)

科 目					予 算 額	支 出 額	残 高	備 考	
款	項	目	節	細 節					
07	商 工 費				44,172,791	44,172,791	0		
	01	商 工 業 費			730,545	730,545	0		
		03	工 業 振 興 費		730,545	730,545	0		
			01	報 酬	228,000	228,000	0		
			08	報 償 費	80,000	80,000	0		
			09	旅 費	357,545	357,545	0		
			11	需 用 費	50,000	50,000	0		
				01	食 糧 費	7,000	7,000	0	
				02	その他需用費	43,000	43,000	0	
			12	役 務 費	15,000	15,000	0		
				02	その他役務費	15,000	15,000	0	
	02	中 小 企 業 費			43,442,246	43,442,246	0		
		02	中 小 企 業 指 導		417,000	417,000	0		
			08	報 償 費	100,000	100,000	0		
			09	旅 費	125,000	125,000	0		
			11	需 用 費	137,000	137,000	0		
				01	食 糧 費	2,000	2,000	0	
				02	その他役務費	135,000	135,000	0	
			12	役 務 費	5,000	5,000	0		
				02	その他役務費	5,000	5,000	0	

科 目					予 算 額	支 出 額	残 高	備 考	
款	項	目	節	細 節					
			14	使用料及び借費	50,000	50,000	0		
		07	機 械 金 属 工 業 指 導 所 費		43,025,246	43,025,246	0		
			01	報 酬	1,157,000	1,157,000	0		
			04	共 済 費	161,464	161,464	0		
			08	報 償 費	688,100	688,100	0		
			09	旅 費	2,494,703	2,494,703	0		
			11	需 用 費	17,897,059	17,877,059	0		
				01	食 糧 費	138,230	138,230	0	
				02	その他需用費	17,758,829	17,758,829	0	
			12	役 務 費	2,737,007	2,737,007	0		
				02	その他役務費	2,737,007	2,737,007	0	
			13	委 託 料	5,521,076	5,521,076	0		
				01	庁 舎 保 守 管 理 業 務	1,975,676	1,975,676	0	
				02	解 析 ソ フ ト 保 守 点 検	3,545,400	3,545,400	0	
			14	使用料及び借料	49,290	49,290	0		
			18	備 品 購 入 費	11,980,521	11,980,521	0		
			19	負 担 金 補 助 及 び 交 付 金	313,826	313,826	0		
				02	会 議 等 負 担 金	313,826	313,826	0	
			27	公 課 費	25,200	25,200	0		
合 計					44,172,791	44,172,791	0		

6. 試験研究設備の整備 (平成6年度)

設備名	数量	型式	製造者	備考
ロジックアナライザ	1式	SL 4122	岩崎通信機(株)	
めっき厚さ測定器	1式	TH-10P	(株)中央製作所	
CAE解析システム	1式	SPARC20モデル50	日本サン・マイクロシステムズ	
流体解析CAEシステムソフト	1式	FLUENT Ver. 4.25	FLUENT社	
CAE解析システムX端末	1式	Global XP	日本電算機(株)	
流動層オーステンパ熱処理システム	1式	AS-1420	東レエンジニアリング(株)	日本自転車振興会補助物件

7. 主要設備

品名	規格	購入年月日	備考
流動層オーステンパ熱処理システム	東レエンジニアリング(株) AS-1420	6. 12. 12	日本自転車振興会補助物件
CAE解析システムX端末	日本電産機(株) Global XP	6. 9. 16	県単
流体解析CAEシステムソフト	FLUENT社 FLUENT Ver. 4.25	6. 8. 23	"
CAE解析システム	日本サン・マイクロシステムズ(株) SPARC20モデル50	6. 8. 10	"
めっき厚さ測定器	(株)中央製作所 TH-10P	6. 6. 14	"
ロジックアナライザ	岩崎通信機(株) SL 4122	6. 6. 1	"
炭素硫黄同時定量装置	米國LECO社 CS-444	5. 9. 30	日本自転車振興会補助物件
ハードディスク装置	富士通(株) S-4/10用	5. 10. 3	"
バルブ流体解析グリッドジェネレータシステム	米國コントロールデータ社 ICEM/CFD	5. 11. 30	"
省人省力化CAMシステム	日本オリベッティ(株) オリベッティMC600	5. 10. 29	"
シリアルデータスコープ	岩崎通信機(株) SL-4701A	5. 8. 27	"
制御ソフト開発ツール	(株)ザックス EVX388 PC-9821AP/G2	5. 9. 29	"
バルブ流体解析アニメーションシステム	コベルコシステム(株) FIELD-VIEW Version 3.2他	4. 12. 8	県単
摩擦摩耗試験機	(株)オリエンテック EFM-III-EN	1. 10. 30	"
ストロボスコープ	(株)菅原研究所 MF-80	4. 8. 30	"
液晶プロジェクター	シャープ(株) CU-SX1	4. 6. 20	"
キャス試験機	スガ試験機(株) CASSER-ISO-3	4. 3. 24	"
ショア硬度計	(株)今井精機製 D-D型	4. 1. 31	"
排ガス洗浄装置	セイコー化工機(株)製 SYS-20SP	3. 8. 30	"
強度解析システム	EMRC社製 NISA II	4. 1. 31	日本自転車振興会補助物件
アナライジングレコーダ	横河電気(株)製 AB3200型	3. 11. 29	"

品名	規格	購入年月日	備考
真円度円筒形状測定器	㈱小坂製作所 EC-307B	3. 10. 4	"
表面粗さ測定器	㈱小坂製作所 SE-30AK	3. 10. 4	"
平面研削盤	㈱長瀬鉄工所製 SGC-95型	3. 11. 20	"
CNC旋盤	㈱オークマ製 LB25C型	3. 11. 15	"
電磁式膜厚計	サンコウ電子SL-120C	3. 3. 22	県 単
ビデオカメラ	松下電器製 NV-M900	3. 2. 18	"
精密万能投影機	㈱ニコン製 V-12A	2. 12. 25	"
純水製造装置	島津理化器械㈱製 SWAC-500	2. 6. 15	"
ドラフトチャンバー	㈱ダントン製 DP-5	2. 9. 14	"
溶存酸素計	電気化学計器㈱製 DOL-40	2. 8. 20	"
水中マイクロホン	B & K社製8103	2. 10. 5	"
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㈱製AutoCADGX-III 日本電気㈱製PC-H98model70-002	2. 11. 30	中小企業庁補助物件
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㈱製S-4/1	2. 12. 25	"
パーソナルコンピュータ	日本電気㈱製 PC-9801-RX21	2. 1. 19	県 単
ビデオモニター	松下電器産業製 NV-DS1	元. 5. 16	"
振動騒音解析装置	㈱小野測器製 CF-360	元. 8. 30	日本自転車振興会 補助物件
摩耗テスター	日本コントラクター㈱製 OP-300	元. 7. 31	"
XYプロッター	㈱ファナック A3	63. 9. 14	県 単
ゴム硬度計	㈱島津製作所 200型	63. 7. 28	"
スポットエアコン	ダイキン工業 SUAS2MAU	63. 7. 1	"
重金属廃水処理装置	同和鉱業㈱ LIP-20AHI	63. 8. 11	"
ロックウェル硬度計	明石製作所 AHT-AT	63. 10. 14	"

品名	規格	購入年月日	備考
リフト運搬車	杉国工業㈱ SPR20-LL	62. 12. 5	日本自転車振興会 補助物件
バルブ性能試験装置 本体 実流量変位測定器	日本科学工業㈱ ジェック㈱ DSA-605C型	62. 12. 11	"
金属顕微鏡用照明装置	㈱モリテックス NRG-48-1000S	62. 7. 14	県 単
写真複写機	㈱宮崎 MC-1P	62. 7. 14	"
NC自動プログラミング装置	SYSTEM PMODELG	62. 1. 10	中小企業庁補助物件
横形マシニングセンタ	HC400-40	62. 1. 10	"
電子天秤	チョウバランス㈱JP-160	61. 6. 4	県 単
光学式変位測定器	リード電機製 PA-1800 PA-1810	61. 1. 11	"
電気マッフル炉	ヤマト科学FM-36	60. 7. 16	"
ループ検力計	0.05LD、0.15LD	61. 3. 7	"
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	"
侵漬乾湿複合サイクル試験機	スガ試験機製 DW-uD-3	60. 12. 18	中小企業庁補助物件
全自動分極測定装置	北斗電工製 HZ-1A	60. 12. 10	"
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	"
冷熱衝撃試験機	タバイエスベックTSR-63型	59. 12. 17	"
倒立型金属顕微鏡	ニコンEPIPHOT-TME	59. 12. 26	"
顕微鏡試料作成装置一式	ビューラー社	59. 12. 26	"
マイクロロボットムーブマスタ ター	三菱電機製RM-101	59. 9. 21	県 単
オシロスコープ	菊水電子工業㈱COS-5060	58. 7. 29	"
微小硬度計	㈱明石製作所製 MVK-Eシステム	58. 11. 25	日本自転車振興会 補助物件
小型超低温恒温器	タバイエスベック㈱製 MC-71型	58. 11. 22	"
X線マイクロアナライザー	㈱島津製作所製EPM-8101	58. 11. 21	"
マイクロコンピュータ システム	シャープ㈱MZ-2000	58. 1. 14	"

品名	規格	購入年月日	備考
高周波プラズマ分析装置	佛島津製作所製 ICPV-1000型	57. 12. 10	"
電動ビッカース硬度計	佛明石製作所製AVK-A型	56. 10. 31	"
万能試験機	佛島津製作所製 オートグラフDCS-25T型	56. 9. 19	"
ブリネル硬さ試験機	佛島津製作所製 最大荷重3,000kg	56. 9. 16	"
空気圧実習装置	太陽鉄工佛製 当所仕様	56. 7. 30	中小企業庁補助物件
かじり摩耗試験機	佛京都試作研究所製	55. 10. 31	"
静電粉体塗装装置	小野田セメント佛製 GX101、TYPE6132-1	55. 7. 25	"
ピンホール探知器	佛サンコウ電子製TRC-20A	55. 7. 17	"
ジェットエロージョン試験機	佛山崎精機製JVE-12	55. 8. 10	"
水圧ポンプ	山本水圧工業製PH-60	54. 7. 14	県 単
STメーター (残留ひずみ測定器)	福井技研標準型	54. 10. 5	日本自転車振興会 補助物件
分光光度計	島津製作所UV-150-02	54. 8. 10	"
ストレンメーター	新興通信工業DPU-100 PS-7513-50	54. 9. 5	"
精密低温恒温槽	田葉井製作所製 K-3473-D 1	54. 10. 31	"
普通騒音計	佛ノードDS-101C	54. 8. 20	中小企業庁補助物件
シャルピー衝撃試験機	島津製30kgf-m	54. 1. 17	県 単
PHメーター	東亜電波製HM-20B	53. 7. 10	"
塗型用噴霧器	岩田塗装製	53. 12. 20	中小企業庁補助物件
自動平衡型温度記録計	千野製作所EK 100-06	53. 8. 25	"
CEメーター	リーズ・アンド・ノースロップ社 TECTNPマークⅢ-H	52. 3. 23	"
蛍光X線分析装置	理学電機興業製 ガイガーフレックス3063 P 4	52. 3. 30	"
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	"
メモーション測定装置	松下電器製	49. 7. 31	"
ばいじん量測定装置	D-20SC	49. 8. 12	"

品名	規格	購入年月日	備考
定電位電解分析装置	柳本製作所AFS-4 4連式	47. 9. 8	日本自転車振興会 補助物件
曝熱試験器	小沢製作所製MO-1	47. 11. 20	"
直示式鋳物砂熱膨張計	小沢製作所製EOS-1	"	"
高温鋳物砂試験機	東京衡機製力量500kg	47. 10. 31	"
エレマ電気炉	東海興商製CE-20	47. 10. 30	"
周波数自動分析記録装置	国際振動研究所製SM-2200	47. 9. 28	"
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
オートコロリメーター	ニコン6D型	46. 8. 16	日本自転車振興会 補助物件
液化炭酸超低温装置	柳本製作所OTS-60	45. 10. 31	"
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
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
ブリネル硬度計	三精工業製SDLB計量研型	45. 9. 29	中小企業庁補助物件
ショア硬さ試験機	三光計器製S44計量研型	45. 9. 25	"
カット・オフ(帯鋸盤)	アマダ製CRH-300S	45. 8. 30	日本自転車振興会 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	4. 10. 21	"
万能フライス盤	日立精機製NIS型U	43. 12. 28	中小企業庁補助物件
表面粗さ計	テラー・ゴブソン社製タリサーフ4型	43. 11. 30	日本自転車振興会 補助物件
超硬工具研磨盤	アサヒダイヤモンド工業製SDG型	43. 9. 10	"
旋盤	大阪工作所製360HB-X型	43. 3. 19	"
万能工具顕微測定器	津上製T-MCL 2型	38.	"
万能顕微測定器	三井精機製MLD 1000	40. 1. 14	"
ブロックゲージ	津上製PTW A級	39. 8. 18	"
万能工具研削盤	牧野フライス社製C-40	38. 12. 23	"
治具中ぐり盤	三井精機製JBD型 佛3	38. 6. 17	"

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 3,577,850円

(1) 材料試験	817試験
(内訳)	抗折 77試験
	引張 312 "
	耐力・降伏点 49 "
	伸び 225 "
	硬さ(H B) 130 "
	硬さ(その他) 6 "
	その他 18 "
(2) 分析試験	183試料
(内訳)	ねずみ鋳鉄 13試料
	球状黒鉛鋳鉄 14 "
	青銅鋳物 115 "
	その他 41 "
(3) その他の試験	419試験
(内訳)	組織試験 184試験
	その他の試験 235 "
(4) 成績書複本	77通
(内訳)	和文 51通
	欧文 26 "

2. 設備使用件数および使用料

使用料 869,800円

(内訳)	25 t オートグラフ	103時間
	100 t 万能試験機	95 "
	ブリネル硬度計	101 "
	高周波プラズマ分析装置	74 "
	冷熱衝撃試験機	164 "
	マイクロピカース	51 "
	精密万能投影機	86 "
	電子天秤	59 "
	その他	235 "
	計	4,447,650円

Ⅲ 指 導 業 務

1. 技術アドバイザー指導事業
2. 一般巡回技術指導
3. 簡易巡回技術指導
4. 技術相談・指導
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

技術アドバイザー指導事業

指 導 内 容	担当アドバイザー
ベンチュリー効果を応用した二液混合弁について	竹下 常 四 郎
スポット溶接下部電極の電食防止について	木 谷 聰 生
摩擦圧接技術について	木 谷 聰 生
サーボモータによるバルブコントローラの開発について	秦 勝 彦

一般巡回技術指導

溶ぐるみについて、金属の拡散接合へと結びつく溶射材の選択および铸造上における問題点について

実施日 平成6年9月26日(月)

指導員 関西大学工学部 助教授 小林 武氏

指導班 専門員 西内 廣志

洗浄工程において、環境対策のため有機溶剤を使用しない洗浄機について

実施日 平成6年12月22日(木)

指導員 大同化学工業(株) 技術顧問 平井 亀雄氏

指導班 主査 宮川 栄一

主査 酒井 一昭

バルブ製品の腐食の原因と防止策について

実施日 平成7年3月24日(金)

指導員 東レエンジニアリング(株) 技師長 今川 博之氏

指導班 専門員 西内 廣志

主 査 川崎 雅生

簡易巡回技術指導

指導対象 平成3年および5年度設備貸与企業

期 間 平成6年11月9日(水)～11月21日(月)

指 導 員 滋賀県技術アドバイザー 宮原 俊夫氏

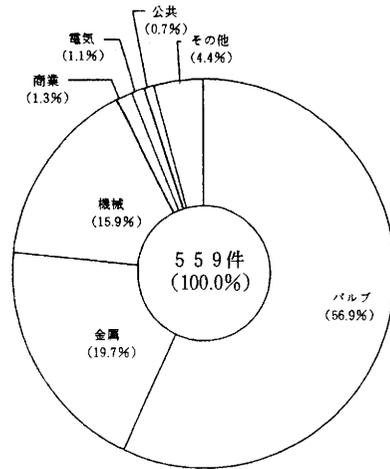
指導企業 10社

4. 技術相談・指導

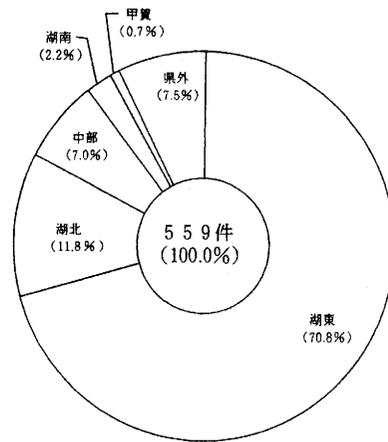
(1) 相談区分受付件数

項目	件数	比率	項目	件数	比率
バルブ動向調査・指導	210	37.6%	性能試験	37	6.6%
巡回等実地指導	20	3.6%	CAD/CAM技術	3	0.5%
金属材料	35	6.3%	強度解析	8	1.4%
熱処理技術	12	2.1%	流体解析	10	1.8%
機械加工	8	1.4%	自動化技術	6	1.1%
試験方法	97	17.4%	情報技術	3	0.5%
铸造技術	4	0.7%	設備貸与・近代化資金	21	3.8%
金属組織	8	1.4%	金融相談	19	3.4%
分析技術	10	1.8%	その他	27	4.8%
防食技術	21	3.8%	計	559	100.0%

(2) 業種別



(3) 地域別



5. 調査

- 彦根バルブ動向調査 23企業 (4回/年)
- 制度融資等にかかる事前調査
 - 設備機械貸与調査 10企業
 - 設備近代化資金貸与診断調査 ... 2企業

6. 技術普及講習会

年月日	内容	講師	場所	参加人員
6. 5. 20	難削材の切削法	タンガロイエンジニアリング(株) 渡辺 忠明	指導所 研修室	54人
6. 9. 14	平成5年度研究発表会	当所職員	〃	22人
6. 10. 3 ~ 6. 10. 5	機器利用講習会	当所職員	〃	19人
6. 12. 6	中小企業におけるISO認証取得の事例発表	㈱昭和バルブ製作所 広瀬 三茂	ひこね療 ばれす	51人
7. 1. 26	最新機械加工用CAD/CAMの現状と導入効果(実機によるデモンストレーション)	日本オリベッティ(株) 稲垣 雅信 水野 由理	指導所 研修室	22人
7. 3. 16	製造物責任法(PL法)について	近畿通商産業局 明神 浩	〃	62人

7. 新技術技術者研修

- コース名 測定器の点検方法と精度管理
- 研修期間および時間数
平成6年7月20日(水)、21日(木)、12時間
- 場 所 滋賀県立機械金属工業指導所
- 受講者および修了者
受講者 30名
修了者 30名
- 講 師 ミットヨ計測学院 小路 忠臣
- 科目と時間配分

実施日	時間	科目	講師	内容
7. 20 (水)	10:00 ~ 12:00	測定器の使用上の基本	ミットヨ計測学院 小路 忠臣	測定器を使用する上での基礎知識、測定条件(講義)
	13:00 ~ 17:00	マイクロメータ・ノギス・ダイヤルゲージ		測定器のしくみと機能(講義・実習)
7. 21 (木)	10:00 ~ 12:00	測定器の定期検査と計量管理	同 上	測定器の管理方法と定期検査の方法(講義)
	13:00 ~ 17:00	測定器の精度点検要領と定期点検		マイクロメータ・ノギス・ダイヤルゲージの精度チェックの方法(実習)

8. 出版刊行物

平成5年度業務報告書

SHIGA機工指ニュース No.47、No.48

9. 生産技術研究会

- (1) 会長 松井 繁 徳 (大日本スクリーン製造㈱)
幹事 加藤 光 雄 (安治川鉄工建設㈱)
" 清水 重 信 (協和工業㈱)
" 澤村 直 幸 (澤村バルブ工業㈱)
" 澤田 満 (角田鉄工㈱)
" 村上 宣 規 (大洋産業㈱)
" 村口 明 義 (滋賀県立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)
" 飛田 全 彦 (㈱飛田機工)
会 計 樋口 英 司 (滋賀県立機械金属工業指導所)
事務局 酒井 一 昭 (")

(2) 事業概要

- ア 技術講習会 3回
イ 工場見学 2回
ウ 幹事会 5回
エ 会報発行 2回

IV 研究業務

1. バルブ製品の性能に関する研究
(バルブの強度解析について)
2. CAEによる低キャピテーションバルブの開発研究(5)
3. 自動制御弁の開発研究
(自動制御弁の適正化に関する研究)
4. 新素材活用技術に関する研究
 - ・流動層による球状黒鉛鋳鉄のオーステンパ熱処理技術の開発
 - ・金属粉末冶金技術の開発
5. CAD/CAMシステムによるバルブ加工の合理化・省力化研究(4)

バルブ製品の性能に関する研究

(バルブの強度解析について)

指導係 主査 川崎雅生

1. はじめに

仕切弁は、配管系統において最も一般的に使用されているバルブである。全閉時には、流体の差圧により弁体を弁座に押しつけシール性を保ち、また全開時には、流路に弁体が残らないため圧力損失が少ない利点があり、主として管路の遮断用バルブとして広く使用されている。しかし、仕切弁の弁体部分は、内圧、配管応力等による変形のためシート漏れを起こすという欠点がある。そのため流体の漏れをおこさないためには、弁箱の変形を小さくおさえ、たわみの少ないものにする必要がある。

弁箱はこのように重要な部分であり、これまでにその強度解析については、材料力学に基づく理論解析などが行われてきたが、その形状が複雑なためある種の仮定のもとに行われたものが多く、十分に解明されているとは言い難いところである。一方、コンピュータを使用した数値解析の手法として用いられる有限要素法(FEM)は、比較的精度良く解析できることが知られているが、計算量の多さから大型の計算機を必要としていたが、最近ではパソコンでも解析できるようになってきた。

本研究では、バルブ製品に対して強度解析を行い、強度解析技術の向上とバルブ製品の性能を向上させることを目的としている。本年度は、JWWA(日本水道協会規格)B122水道用ダクタイル鋳鉄仕切弁の高耐圧化と薄肉化のためのリブについて解析を行い、その結果について検討したので概要を報告する。

2. 強度解析

機械的強度を要求される新製品の開発や現行モデルの改良を行う場合に、最終的にはその機械的強度を実験によって確認しなければならない。しかし、形状が複雑なものについては簡易な計算では信頼性が低いいため、試作回数と実験回数が増加することになる。これは開発期間の長期化や開発費の増加を意味するが、最近身近なものとなってきたFEMによるシミュレーションを利用することにより、これらの問題点を解決できる可能性がある。

そのためには、解析結果と実験結果とを比較して、シミュレーションに対する信頼性を評価する必要がある。ここでは、平成4年度および平成5年度の研究成果^{1), 2)}に基づいて試作された、呼び径300のバルブに補強用の垂直・水平リブをつけたモデルについて解析を行い、あわせて、歪みゲージ、ダイヤルゲージ、レーザホログラフィによる実験データと比較することにした。

なお、解析用ソフトとしてはNISA IIを使用しており、ソリッドモデルを用いて解析を行った。

2.1 解析モデルの概要

文献³⁾によれば、仕切弁の変形については弁箱の上半分には発生する影響が大きいことがわかる。また、図面上は前後・左右が対称であるため²⁾、解析の効率化を図るために、弁箱胴の上半分についてその1

／4（縦方向に4分割）をモデリングした（図1-1～図1-7）。なお、図1-2は平成4～5年度に
 図1-3、図1-4は平成5～6年度に試作・実験を行ったものである。

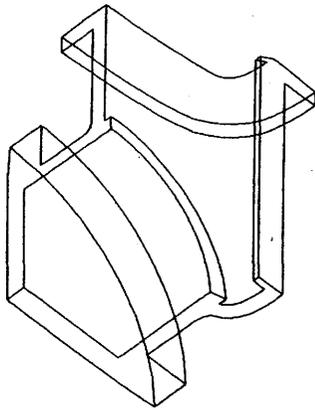


図1-1 原形モデル

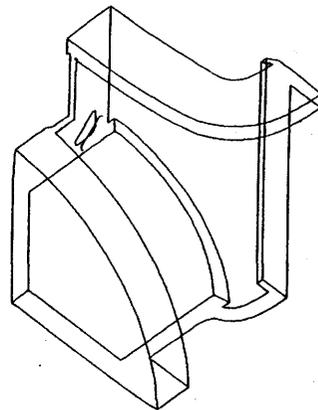


図1-2 Bモデル

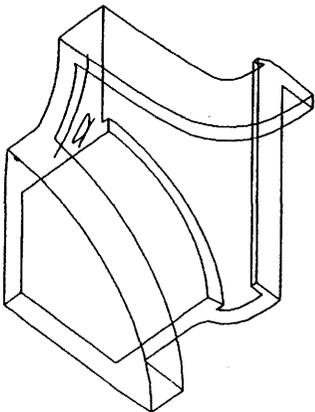


図1-3 BVモデル

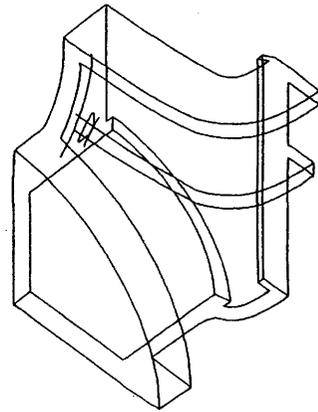


図1-4 BHVモデル

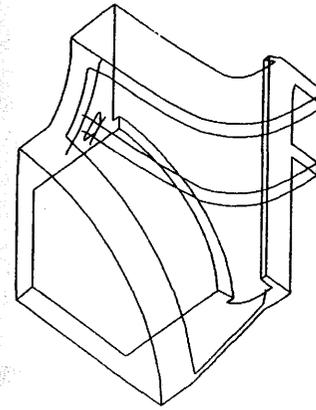


図1-5 BHVHモデル

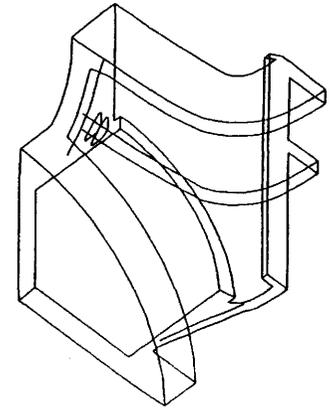


図1-6 A1モデル

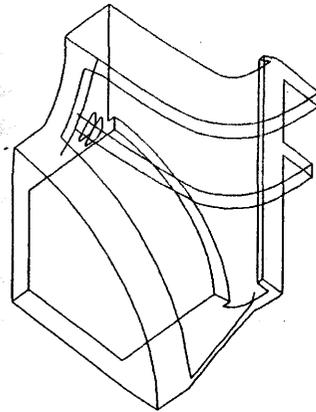


図1-7 A2モデル

(I) 原型モデル（図1-1）

JWWA B122規格の2種・3種（呼び圧力7.5k, 10k）用に設計された水道用ダクタイル鋳鉄仕切
 弁をモデルにしたものであり、バルブの材質は、FCD450なので、縦弾性係数147GPa、ポアソン比0.2

7を採用¹⁾した。また、強度試験で用いられるフランジふたは、材質がSS400なので縦弾性係数206GPa、ポアソン比0.3を採用した。また、モデルの肉厚は、20mmとしている。

(2) Bモデル(図1-2、試作品)

原型モデルにL型の垂直リブを加えたモデル¹⁾であり、材質等は原型モデルと同じ。

(3) BVモデル(図1-3、試作品)

原型モデルに断面がT形の垂直リブを加えたモデル²⁾であり、材質等は原型モデルと同じ。

(4) BHVモデル(図1-4、試作品)

BVモデルにさらに水平リブを加えたモデル²⁾であり、材質等は原型モデルと同じ。

(5) BHVHモデル(図1-5)

BHVモデルにさらに水平リブを加えたモデルであり、材質等は原型モデルと同じ。

(6) A1モデル(図1-6)

BHVモデルの肉厚を2/3(13.3mm)にしたモデルに水平リブを加えたモデルであり、材質等は原型モデルと同じ。

(7) A2モデル(図1-7)

BHVHモデルの肉厚を2/3(13.3mm)にしたモデルであり、材質等は原型モデルと同じ。

2.2 境界条件の概要²⁾

FEMによる解析結果に大きな影響を与える境界条件については、下記のように設定した。

(1) 試験水圧

試験水圧を考慮する場合は、弁箱内面から面の法線方向に2.94MPaを加える。

(2) 上部(ふた)フランジ締め付けトルク⁵⁾

ボルト締め付けトルクを考慮する場合は、M20のボルトを176N・mのトルクで締め付けるため、ボルト1本当たり30,429Nの力を発生する⁶⁾としてボルト周辺に4分割して加える。また、これに対して弁箱のふたから反力を受けるとして、ふたフランジの内周部分に反対方向の力を加える。

(3) 拘束条件

弁箱を縦に4分割したモデルであるため、縦の分割面においては法線方向には変位しないことと法線軸以外の軸方向には回転しないことを拘束条件として与える。

また、バルブは、高圧試験時、接続フランジの下部で支えられているため、モデリングを行った接続フランジの下部が垂直方向(z軸)には変位しないという拘束条件を与える。図2に比較を行った拘束条件の一部を示す。図2中、境界条件1となっているのは、拘束条件の中で接続フランジの外側が垂直方向に変位しない²⁾とする場合であり、境界条件4では、接続フランジの下部全面が垂直方向に変位しない場合を想定している。

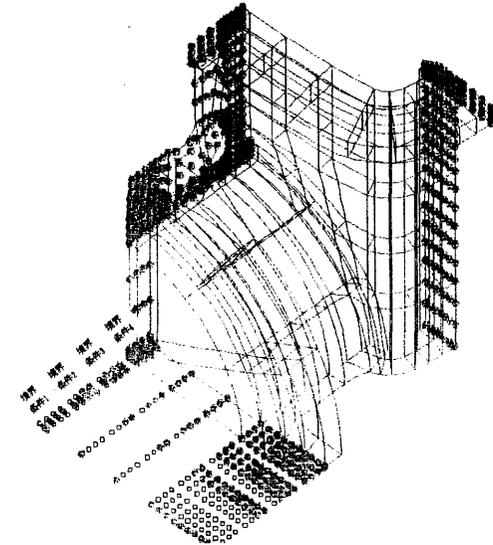


図2 FEMにおける境界条件の相違

2.3 解析結果と実測値との比較

図3-1に変位量、図3-2に主応力1に関する解析結果と実測値との相関を示す。実測値としては、試作を行ったBモデル、BVモデル、BHVモデルのそれぞれについて次の試験条件で測定したデータの中から、表1に示すものを採用した。

[試験条件1] 弁ふたを組み付ける(ボルト締め付けを行う)前の状態を0とし、各ボルトを締め付けトルク176N・mでふたを組み付け、内圧を2.94MPaにした時点の測定値。

[試験条件2] 弁ふたを組み付ける前の状態を0とし、各ボルトを締め付けトルク176N・mで弁ふたを組み付けた時点の測定値(内圧0)。

[試験条件3] 弁ふたを組み付けた後の状態を0とし、内圧を2.94MPaにした時点の測定値。

なお、図3-1、図3-2中のa(●)は境界条件1、b(○)は境界条件2、c(△)は境界条件3、またd(×)は境界条件4で解析した結果と実測値との関係を示している。

解析結果と実測値の直接の比較を行う前に、留意すべきことは、

- ① これらのバルブは鋳物であるため、製造上肉厚の片寄りが発生し、図面どおりの左右対称にはなりにくいこと。歪ゲージによる実験でも、図面上の対称位置における実測値はかなり異なっている。⁷⁾
- ② 鋳物そのものの強度(従って、材料定数)も、製造段階でひとつひとつ異なること。
- ③ 締め付けトルクは、全てのボルトで誤差無く締め付けることは困難であること。
- ④ 加える水圧も、誤差無く設定することは困難であること。

⑤ 測定計器類は、誤差が存在すること。

などである。従って、同じようなバルブを同じような条件で測定しても、10%や20%の測定差は発生してしまうことを念頭においておく必要がある。

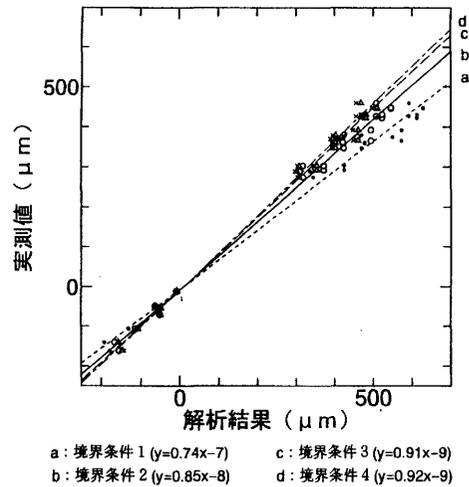


図3-1 解析結果と実測値の相関(変位量)

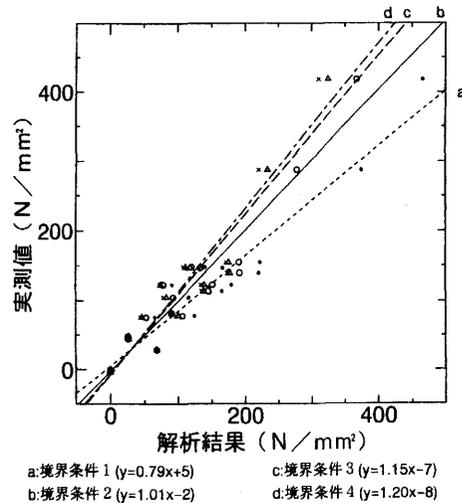


図3-2 解析結果と実測値の相関(主応力)

4 解析結果の信頼性評価

(1) 絶対値としての信頼性

図3-1で変位についての相関をみると、dが最も良い($y=x$ に近い)と考えられaが最も悪いと考えられる。一方、図3-2の主応力1についての相関をみるとdが最も良いように考えられるが、実測値は、表面応力を測定したものであり、解析結果の示す3次元空間での応力と必ずしも一致するとはいえない問題点も含んでいる。

2. 3で述べた留意点を考慮すれば、±15%程度の誤差以内であれば解析結果と測定値は一致したと考えることも良いと思われる。そういった意味では、bやcが良い境界条件であり、境界条件さえうまく設定できれば、簡易なモデルであっても絶対値としてかなり信頼性の高い解析結果を得られることが判明した。

しかし、どの境界条件が良く測定結果と一致するかを確認するためには、実験回数が増えることになり、当初の目的(試作回数や実験回数を減らすこと)と矛盾することにもなりかねない。

(2) 相対値としての信頼性

図3-1、図3-2を見ると、a~dのどの条件で解析を行ってもデータのばらつきは同じようなものであることがわかる。これは、同じ境界条件で解析した3種類のバルブの解析結果と実験結果との間に直線的な相関(つまり比例関係)があることを意味し、相対的な比較を行うのであれば、境界条件が最適でなくても、実験値と解析値の相関が高いことを示している。

従って、ある境界条件で解析したバルブ(改造前)の変位(もしくは応力)に対して、同じ境界条件で解析した別のバルブ(改造後)の値が半分であれば、実験における測定値も半分になると推測しても大きな間違いではないことがわかる。さらに、一方のバルブに測定結果があるならば、他方のバルブの測定値を推測できることもわかる。

3 バルブの高性能化

本研究の目的のひとつであるバルブの高性能化について、高耐圧化の面と薄肉化の面から以下に報告する。水道用ダクタイル鋳鉄仕切弁の2種~5種については、規格により肉厚なども定められているため、本研究結果がただちに利用できるわけではないが、今後の規格変更時等においてなんらかの参考になるのではないと思われる。

3.1 高耐圧化について

表1におもな部分の主応力を掲載したが、図1-3に示すBHモデルおよび図1-4に示すBHVモデルについては実験結果から見る限り、内圧2.94MPa(5種の弁箱耐圧試験圧力に相当)を加えても、発生圧力は150N/mm²であり、高圧で使用できる可能性がある。

これは、補強用に付加したリブの効果であり、図4-1と図4-2のa~cに解析結果を示す。なお図中aは、図1-2に示すBモデルであり、bは図1-3に示すBHモデル、cは図1-4に示すBHVモデルである。aは、図4-2に示すようにL型になっているリブ中央に応力が集中してしまったが、その点

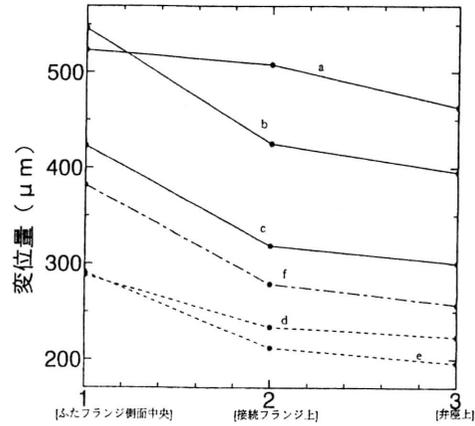
を除けば適切なリブにより弁座部の変位と発生応力が抑えられることがわかる。

表1 実験値と解析結果の比較

FEM境界条件2

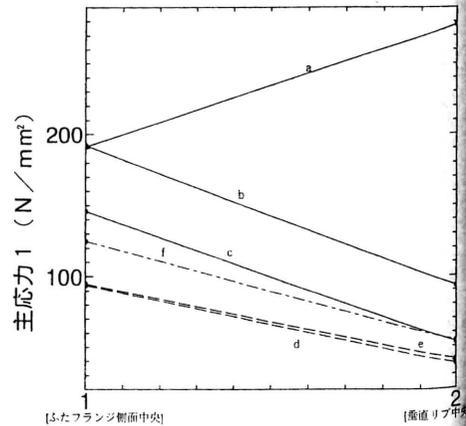
条 件	FEM	上部フランジ側面中央									リブ中央			接続フランジ			弁座			弁箱側正面		
		変位量(μm)			応力(N/mm ²)			応力(N/mm ²)			変位量(μm)			変位量(μm)			変位量(μm)					
		B	BV	BHV	B	BV	BHV	B	BV	BHV	B	BV	BHV	B	BV	BHV	B	BV	BHV			
1	歪み計	376	367	293	147	123	78	419	148	123				531	415	311	485	390	295			
1	ゲージ		393	305										372	290							
2	歪み計	-48	-70	-70	0	0	0	82	45	48												
2	ゲージ		-54	-52										-10	-11							
3	歪み計	423	446	360	155	140	114	288	105	76				508	425	319	463	395	300	-166	-155	-114
3	ゲージ	431	448	363										427	381	304						
	レーザ													460	348	275				-140	-161	-106

条件1：実験（内圧、ボルト部締め付けトルク）(0, 0) ==> (2.94MPa, 176N・m)
 FEM（内圧、ボルト部力）(0, 0) ==> (2.94MPa, 30.429N)
 条件2：実験（内圧、ボルト部締め付けトルク）(0, 0) ==> (0, 176N・m)
 FEM（内圧、ボルト部力）(0, 0) ==> (0, 30.429N)
 条件3：実験（内圧、ボルト部締め付けトルク）(0, 176N・m) ==> (2.94MPa, 176N・m)
 FEM（内圧、ボルト部力）(0, 0) ==> (2.94MPa, 0)



a: 垂直リブ(肉厚20mm, 内圧2.94MPa) d: c+水平リブ1(肉厚13.3mm, 内圧1.72MPa)
 b: T型垂直リブ(同上) e: c+水平リブ2(同上)
 c: T型垂直リブ+水平リブ(同上) f: c+水平リブ2(肉厚13.3mm, 内圧2.26MPa)

図4-1 FEMによるバルブの変位量比較



a: 垂直リブ(肉厚20mm, 内圧2.94MPa) d: c+水平リブ1(肉厚13.3mm, 内圧1.72MPa)
 b: T型垂直リブ(同上) e: c+水平リブ2(同上)
 c: T型垂直リブ+水平リブ(同上) f: c+水平リブ2(肉厚13.3mm, 内圧2.26MPa)

図4-2 FEMによるバルブの応力比較

3.2 薄肉化について

薄肉化の検討を行うために、図1-6~図1-7に示すA1、A2モデルについて解析のみを行った。解析結果を図4-1、図4-2のd~fに示す。これらは、リブの効果として最も期待できるBHVモデルを肉厚のみ2/3にしたもので、それに水平リブをさらに追加したものである。図中で点線は2種、一点鎖線は3種の弁箱耐圧試験水圧を加えた時の変位と応力を示す。解析結果を見る限り、A1モデルは2種での使用が可能であり、A2モデルは3種での使用も可能であると思われる。

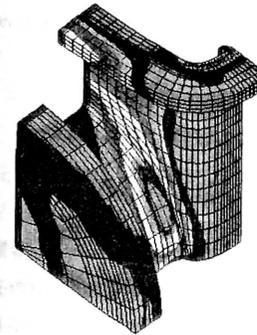


図5-1 主応力1の分布(原形モデル)

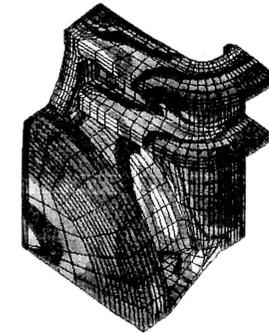
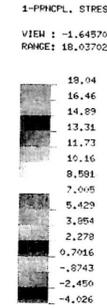
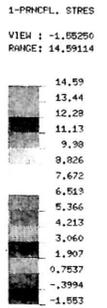


図5-2 主応力1の分布(A2モデル)



2種の弁箱耐圧試験水圧を加えたときの主応力1の分布を図5-1と図5-2に示す。また、側面方向の変位の様子を図6-1と図6-2に示す。図5-1と図6-1は原型モデル(肉厚20mm)であり、図5-2と図6-2はA2モデル(肉厚13.3mm)である。解析結果を見る限り、A2モデルのほうが原型モデルより性能が良く思われる。

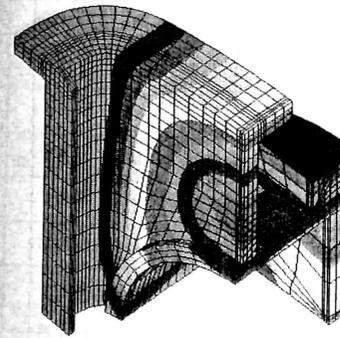


図6-1 弁箱側面方向への変位の様子(原形モデル)

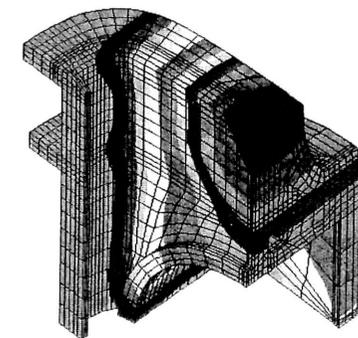
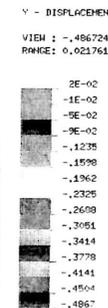
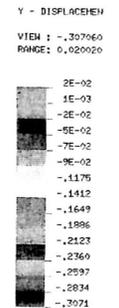


図6-2 弁箱側面方向への変位の様子(A2モデル)



3.3 ハルブの性能に関する目安について

これまでの研究で、リップによる補強効果が確認できたが、これらの効果を数値化することができれば、今後のバルブの改良などの度合いを評価しやすくなるのではないと思われる。

表2は、図1-1~図1-7に示す各種バルブ（ただし、どれも同じ材質で同じ呼び径）の解析結果の中で、バルブの性能に関係のありそうなものを一覧表にしたものである。ただし、表2中で、側面方向の変位は、弁箱側面の中で最大の変位が発生する場所をそれぞれのモデルの中から選んだものであり、全てのモデルが同じ場所で最大の変位を示すものではないことに注意する必要がある。また、主応力についても同様に選んだものであり、同一場所で最大の応力が発生するわけではないことに注意する必要がある。

表2の相対指数は、下記のような前提がある場合にバルブの性能を示す一つの指標となるのではないかとと思われる。

- ① 同じ水圧で発生する側面方向の最大変位が半分であれば、2倍の性能とみなす。
- ② 同じ水圧で発生する最大主応力が半分であれば、2倍の性能とみなす。
- ③ 体積（従って、重さ）が半分で、同じ性能（ここでは、変位と主応力）であれば、2倍の性能とみなす。

この①~③は、実際はバルブの用途によってその重みは変わると思われるが、どれも同じ重みとした場合が表2の相対指数である。この場合、同じバルブを異なった水圧で試験した場合、変位や主応力は変化するが、相対指数は変化しない。これは、同じバルブを使用する限り、性能そのものは変化しないことを示しており、当然の結果であると考えられる。

この相対指数を使えば、「適切なリップでバルブを補強すれば2倍以上の性能が得られる」という表現ができる。また、表2のBHVとBHVHとを比較すれば、BHVのほうが性能が良いことを示しており、リップをむやみに増やしても性能は向上しないこともわかる。

この相対指数を使えば、「適切なリップでバルブを補強すれば2倍以上の性能が得られる」という表現ができる。また、表2のBHVとBHVHとを比較すれば、BHVのほうが性能が良いことを示しており、リップをむやみに増やしても性能は向上しないこともわかる。

表2では最大の変位や応力を性能の目安にしたが、弁座部の変位などを性能の目安にすることも考えられる。

表2 解析によるバルブ性能の比較

$$\frac{A / (s/d) * (A/d) \text{ の値}}{A / (s/d) * (A/d) \text{ の値}} = \text{相対指数}$$

相対指数	水圧 (MPa)	体積比	主応力 (N/mm ²)	側面方向変位 (mm)
2.3	2.26	0.87	188	0.404
2.3	1.72	0.87	143	0.307
2.2	1.72	0.86	150	0.301
2.6	2.94	1.07	201	0.450
2.7	2.94	1.06	196	0.445
1.8	2.94	1.02	244	0.568
1.5	2.94	1.01	278	0.607
1	1.72	1	177	0.487
1	2.26	1	232	0.640
1	2.94	1	303	0.834

4. まとめ

以上、本研究で行ってきた実験と解析について主な部分を述べてきたが、得られた成果をまとめるときのようになる。

- (1) コンピュータシミュレーションで簡易なモデルを使用しても、境界条件が適切に選べるならば、実験結果と解析結果は良く一致すること。
- (2) シミュレーションにおける境界条件が多少異なっても、相対的な比較ならば同じ様な傾向の結果が解析で得られ、モデルの改良効果などを把握するには有効であること。
- (3) バルブの性能を示す指標のひとつとして、相対指数が考えられること。
- (4) 適切なリップでバルブを補強すれば、2倍（相対指数）以上の性能にすることができること。
- (5) 現在使用されている2種3種類のJWWA B122の呼び径300の水道用ダクタイル鋳鉄仕切弁は、適切なリップで補強すれば、5種でも使用可能と思われること。また、適切なリップで補強すれば、薄肉化が可能と思われること。

謝辞

本研究の実験にご協力いただいた運輸省船舶技術研究所大阪支所の伊飼通明氏ならびに㈱清水合金製作所の丸本芳男氏、清水工業㈱の吉居久光氏、角田鉄工㈱の井上孝史氏、宮部鉄工㈱の須藤久良氏、㈱清水鉄工所の上野恵司氏に感謝の意を表します。また、レーザホログラフィによる実験には、日立バルブ㈱の上野義郎氏と山本博信氏にお世話になりました。ここに謹んでお礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 村口、西川、酒井：バルブ製品の性能に関する研究；滋賀県立機械金属工業指導所平成4年度業務報告
- 2) 川崎：バルブ製品の性能に関する研究；滋賀県立機械金属工業指導所平成5年度業務報告
- 3) 上野：仕切弁弁箱の内圧変形；バルブ技法、第4巻第2号
- 4) 日本機械学会：技術資料 金属材料の弾性係数；1980年
- 5) 伊飼、川崎：仕切弁におけるふたボルト締めトルクの弁箱胴への影響とFEM解析結果；配管技術、Vol.36, no.11, 1994年
- 6) JIS B 1083 ねじの締付け通則
- 7) 伊飼、井上、川崎他：仕切弁についてのリップの効果及び弁箱の対称性に関する実験的検討；バルブ技報、Vol.10, NO.1, 1995年
- 8) 大塚：パソコンによる材料の強度評価；共立出版社、1989年

CAEによる 低キャピテーションバルブの開発研究(5)

試験研究係 主査 宮川 栄一

1. はじめに

バタフライ弁が、低开度を中心とする中間開度で、流量および圧力調整などに使用される場合、弁体下流で発生するキャピテーションが、新製品開発上の技術的問題点となっている。本研究は、流体解析により、キャピテーション発生領域との相関関係を明らかにしてその発生予測を行い、形状修正によるシミュレーションから低キャピテーションバタフライ弁を開発することを目的としている。

本年、特に夏場の異常渇水によって、水道用バタフライ弁ユーザーの間では、節水や給水制限のための開閉操作が増え、通常よりかなり絞った状態が増えている。このためバルブメーカーに対して、中間開度でのCv値や損失係数の問い合わせが多く発生している。また、当然バルブを絞れば、キャピテーションの発生による騒音等が懸念される状態となる。

また、1月に大災害をもたらした兵庫県南部地震では、重要なライフラインである水道配管が遮断され、水道が重要な位置づけにあることが再認識されるとともに、その水をコントロールしているバルブについても、今後益々その性能の向上とともに高付加価値化が要求されることは間違いない。

本研究では、平成5年度研究(4)の二次元シミュレーションによって考案したキャピテーション抑制形状であるノズル側軸上流偏心型弁体(長首鳥型の流線型)について、実流性能試験および三次元流体解析によってその抑制効果を評価確認したところ、実流性能試験では、同心型で観察されるオリフィス側下流で発生する特異渦キャピテーションが、流線型弁体ではほとんど発生しないことが確認でき、流体解析では、キャピテーションと密接に相関関係のある乱流運動エネルギーの上昇を抑制できることが明らかになったので以下に報告する。

2. バルブ性能試験装置、バルブ流体解析システムおよびアニメーションシステム

使用した試験装置およびシステムは、既報システムの最新バージョンを用いた。

- (1) バルブ性能試験装置 (JIS B 2005-1987準拠)
- (2) 流体解析 米FLUENT社 FLUENT Ver4.22およびVer4.25
- (3) アニメーション 米CD社 FIELD-VIEW Ver3.3

3. 実用新案申請

平成5年度に実施した流体解析の結果から、長首鳥型の流線型形状にキャピテーション抑制効果があると考えられ、シミュレーション途中のノズル側軸上流偏心型弁体を含め、最終的な長首鳥型の流線型形状について申請を実施した。出願番号は実願平6-10744である。

4. 実験方法

4.1 供試弁

前年度、二次元流体解析シミュレーションによって求めた形状であるノズル側軸上流偏心型弁体(長首鳥型の流線型)のキャピテーション抑制効果を実際に確認するために、改良前後の弁体について、铸造加工しやすいアルミニウム鋳物を使用して試作した。

弁体形状は3種類で、改良前として(a)軸非貫通同心型弁体、中間型の形状として(b)折曲型弁体、最終的の形状として長首鳥の頭のような形状をした(c)流線型弁体である。折曲型および流線型弁体は、弁体ノズル側の上流面が、弁軸に対して下流側に偏心しており、偏心率(偏心距離/弁体径)は口径に対して20%(30mm)とした。また、口径は、いずれも実流性能試験装置の可視化水槽に合わせて150mmとした。図1および写真1にその形状を示す。

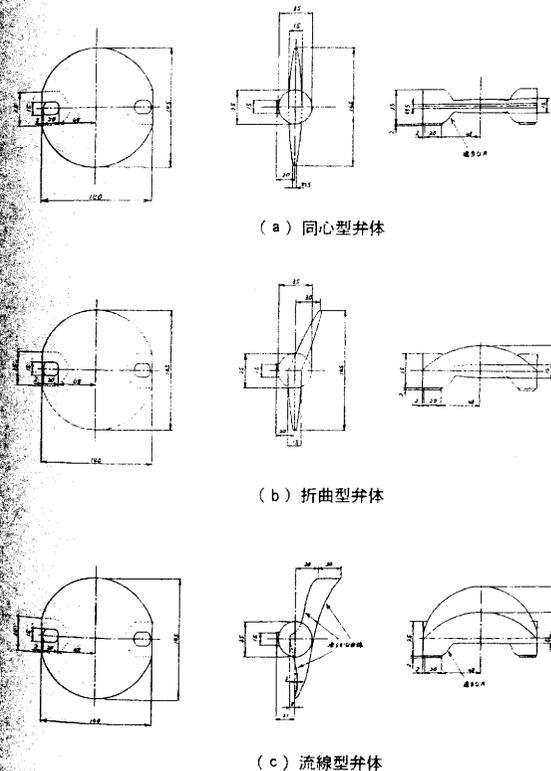


図1 性能試験用試作弁体図

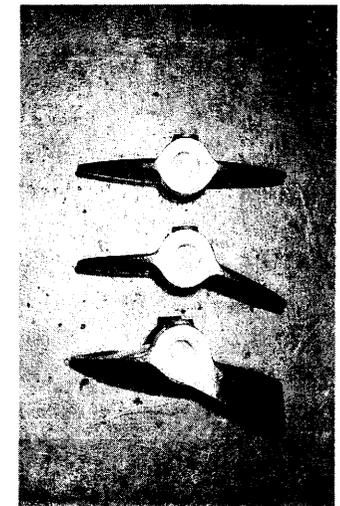


写真1 供試弁体

(上から同心型、折曲型、流線型)

4.2 写真撮影およびビデオ撮影

キャビテーション発生状況は、透明アクリル製の可視化水槽を用いて観察し、図2に示す位置より写真

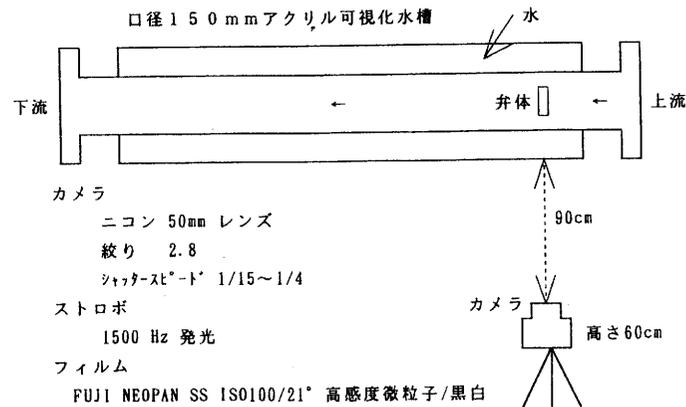


図2 写真撮影位置

撮影およびビデオ撮影を行った。使用したフィルムは、FUJI-NEOPAN-SS-ISO 100/21°の高感度微粒子/黒白フィルム、ビデオテープはS-VHSである。

4.3 流れの可視化

弁体下流側の流れを可視化すれば、流線やキャビテーション現象の理解、および後述する流体解析によって求めた速度ベクトル（あるいは流線）との比較が可能となり、一層詳細な情報が得られる。このため、種々の可視化方法を検討した。すなわち、

- ①比重が1より少し大きめで、直径1mmくらいのプラスチックビーズ玉を流す。
- ②色の着いた水に溶けない（溶け難い）染料等を流す。
- ③弁体に直接紐等をはりつける。
- ④大学等の研究でよく使用されている可視化用レーザー光を用いる。

などが考えられた。

しかし、この中で①および②を採用した場合は、完全な回収方法が困難であり、④の場合は装置がないなどの問題によって本格的には取り組めない。

そこで、手軽な方法として③を採用し、直径1.5mmの穴をノズル側とオリフィス側の弁体エッジ部分に1cmおきに1列17個、およびオリフィス側エッジから3cm内側に1列9個を明け、黄色いビニル紐をはりつけた上、接着剤により固定して可視化用弁体を作った。

4.4 性能試験

性能試験による性能値は次の式を用いて計算した。

4.4.1 キャビテーション係数試験

一般に用いられているキャビテーション係数（ σ ）を、次式により算出して求めた。

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

σ : キャビテーション係数

H_s : 760mmHg, 20°Cの大気圧 (10.332mH₂O)

H_v : その温度における飽和蒸気圧 (mH₂O)

H_1 : 弁上流圧力 (mH₂O)

H_2 : 弁下流圧力 (mH₂O)

V : 流速 (m/sec)

g : 重力加速度 (9.80665m/sec²)

4.4.2 Cv値試験

JISの「バルブの容量係数試験」に基づき、次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)

Q : 流量 (m³/hr)

ΔP : 弁上流と弁下流の差圧 (kgf/cm²)

G : 流体の比重 (1)

4.4.3 損失係数試験

次式により算出して求めた。

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

ζ : 損失係数

V : 流速 (m/sec)

g : 重力加速度 (9.80665m/sec²)

ΔH : 弁上流と弁下流の差圧 (mH₂O)

5. 実流性能試験の結果および考察

5.1 実流性能試験による性能比較

今回試作した3種類の弁体について、初生キャビテーション係数、Cv値および損失係数を測定した。その結果については、以前、本研究において検討してきた整流ディスク型および市販されている櫛歯型の測定結果も併せて図示し、比較検討を加えた。

5.1.1 Cv値

図3にCv値の測定結果、図4に弁開度に対する最大Cv値で割ったCv値比を示す。

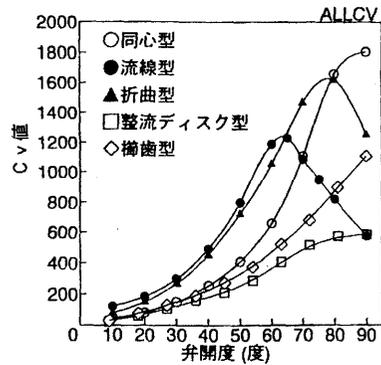


図3 バタフライ弁の Cv 値

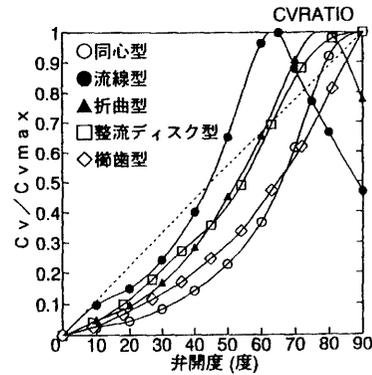


図4 バタフライ弁の Cv 値比

Cv値では、折曲型と流線型が偏心しているため、同心型に比べ同じ弁開度における開口面積の違いが大きく影響している。つまり、低開度側で同じ弁開度の場合、偏心型弁体のノズル側の開口面積が同心型に比べてより大きくなるためであり、折曲型および流線型の60度までの低開度では、同心型に比べ約2倍のCv値を示す。これを角度に直すと約15度のずれがあるということになる。また、Cv値の最大値は、同心型では全開の90度であるが、折曲型は約80度、流線型では約65度である。流線型のCv値の最大値は、同心型の開度70度強に相当している。この弁開度を超えると、逆に閉の方向となる。つまりこの角度が、最大の開口面積が得られる弁開度であり、基本的構造が同じである折曲型と流線型との差は、弁体ノズル側のボリュームの差によるものである。

また、Cv値比をみると、流線型は弁開度に対して立ち上がりが大きく、最も傾きが大きい曲線となり、流量制御の面では不利な特性といえる。

5. 1. 2 初生キャピテーション係数

図5に初生キャピテーション係数の測定結果を示す。

折曲型および流線型弁体では、いずれも開度60度までの低開度側では、同心型に比べて大きい値を示し、初生が発生しやすいことを示している。しかし、これは偏心型弁体であるため、同じ弁開度に対する開口面積が大きく、Cv値で約15度のずれがあるためであり、比較する場合、これを考慮する必要があると考えられる。

したがって、流量制御する場合、Cv値に対する初生キャピテーション係数の関係を比較する必要があり、これを示したのが図6である。

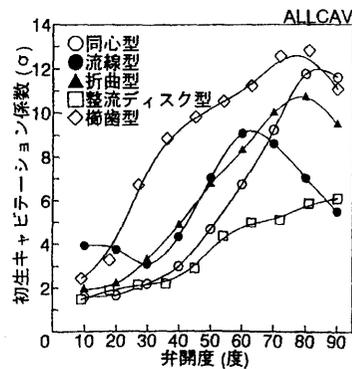


図5 初生キャピテーション係数

これによると、Cv値が約300以上の場合、流線型の初生キャピテーション係数は同心型に比べて約1割小さくされており、初生キャピテーションが発生し難いことを示している。

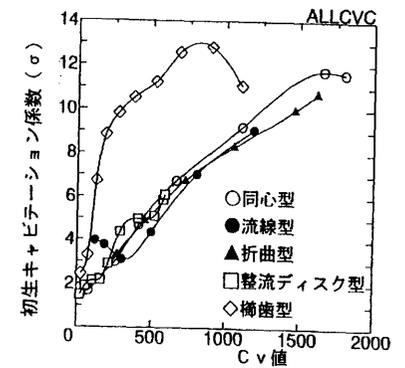


図6 Cv値と初生キャピテーション係数

5. 1. 3 損失係数

図7に損失係数の測定結果を示す。

折曲型の開度80度以下および流線型の65度以下では、同心型に比べて損失係数は非常に小さな値となっている。しかし、この弁開度を超えると逆に閉の方向となるため損失係数は大きくなる。

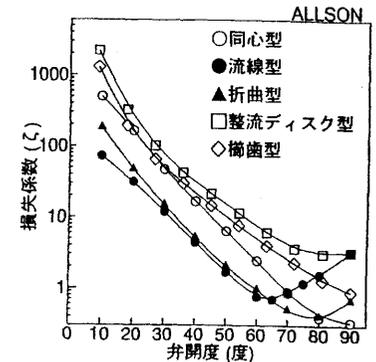


図7 バタフライ弁の損失係数

5. 1. 4 流量とキャピテーション係数

図8～10に流量とキャピテーション係数の関係を示す。

バタフライ弁で流量制御をする場合は、同じ流量あるいは差圧に対しての性能比較が必要である。折曲型や流線型弁体の場合、ノズル側が偏心しているため、同心型弁体と比較して同じ弁開度では開口面積が大きく、曲線が流量に対して高側シフトしている。つまり、同じ開度で同じ流量を流した場合、キャピテーションが発生し難いことを示している。

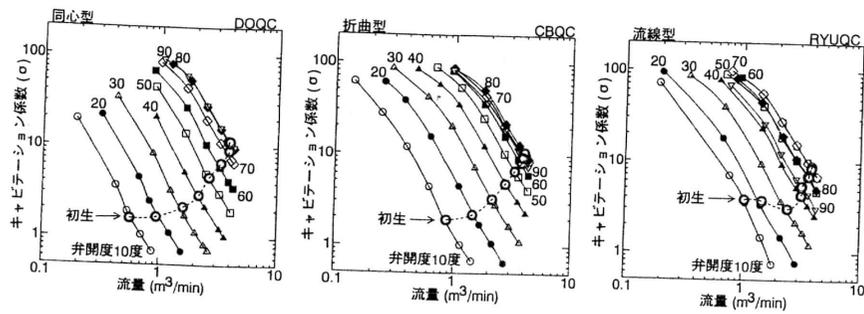


図8 流量とキャビテーション係数 図9 流量とキャビテーション係数 図10 流量とキャビテーション係数

5. 1. 5 流量と差圧

図11~13に流量と差圧の関係を示す。

折曲型や流線型では、曲線が流量に対して低差圧側にシフトしており、同じ弁開度で同じ流量を流した場合は、差圧がかなり小さいことを示している。言い換えれば、圧力制御に使用する場合、同心型に比べて低開度側でコントロールする必要があり、従来技術では制御し難い性能傾向を示す。

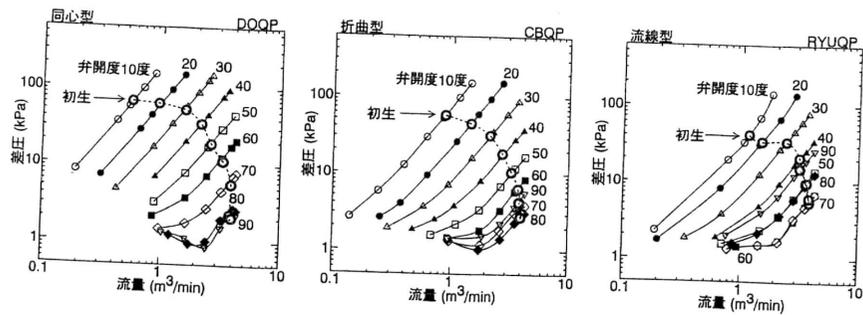


図11 流量と差圧の関係 図12 流量と差圧の関係 図13 流量と差圧の関係

5. 2 各開度の可視化流れ

写真2に同心型、写真3に流線型弁体の開度90~10度の横から観察・撮影した可視化流れを示す。

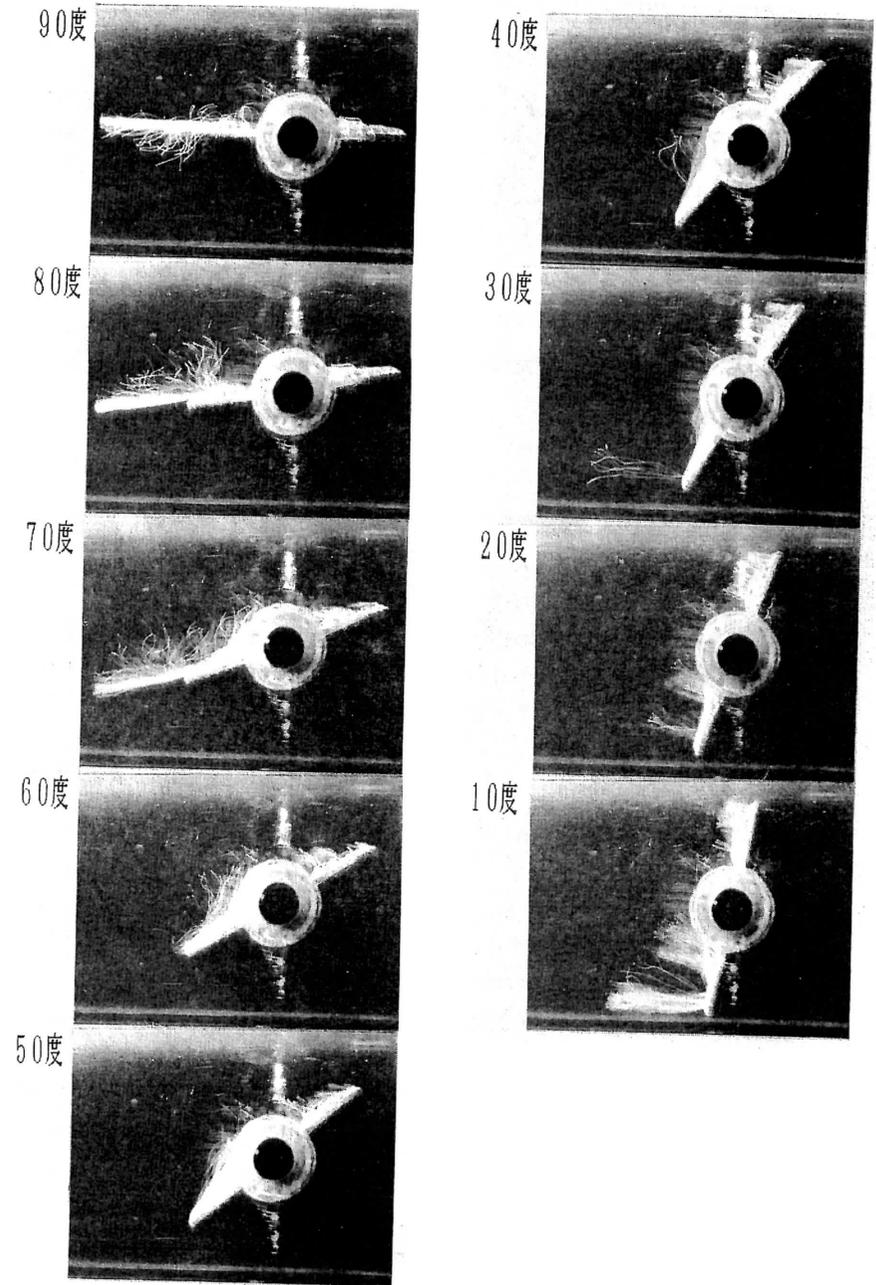


写真2 同心型弁体の各開度の流れ

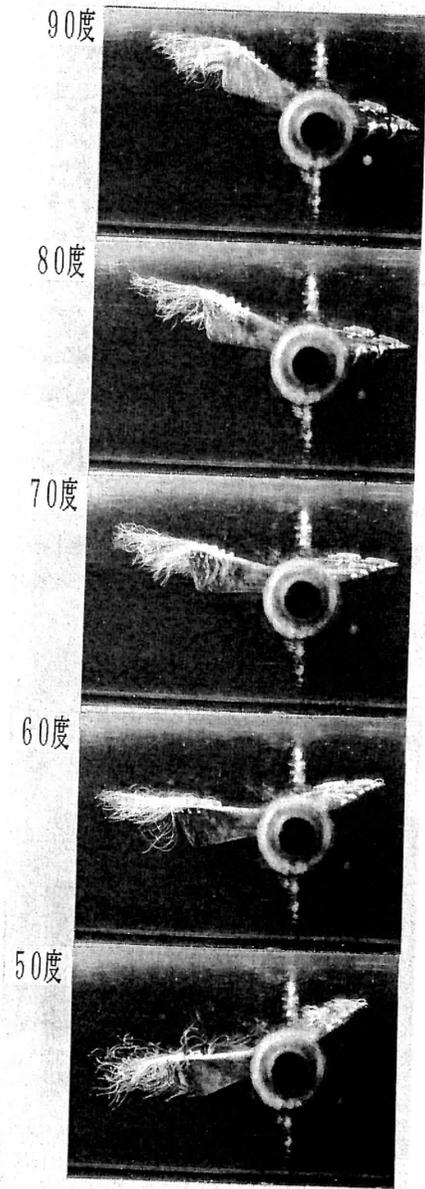
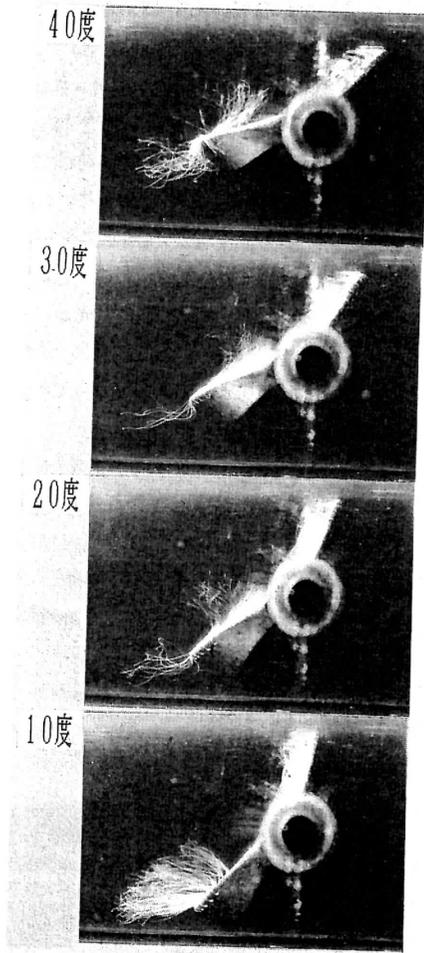


写真3 流線型弁体の各開度の流れ



同心型弁体では、開度80度以上の全開付近では、弁体に取り付けた紐は下流方向にまっすぐに伸びており、スムーズな流れ状態にある。しかし、70度では弁体中央付近は下流側へと流れる一方、ノズル側弁軸付近から内側に向かって逆流し始め、弁体下流面での流れが不安定となってくる。さらに60度以下の中間開度となると、弁体下流面上で、ノズル側からオリフィス側に向かう逆流渦が成長し、50度で完全な逆流渦となることが確認できた。全開に近い10度でも逆流渦は同様形成されるが、ノズル側弁体エッジ付近の紐は下流側へと伸び、エッジのすぐ内側が逆流の境界であることが分かった。

一方、流線型弁体では同心型と違って、開度90~50度近辺までは渦が発生し難くスムーズに流れ、40度になるとようやく下流面の弁軸付近から逆流し始めて流れが不安定となり、特にノズル側の弁体厚み部分に沿うような順方向流れと弁体下流面上での逆方向流れに分岐するようになる。30度以下の低開度においては同心型と同様、弁体下流面でノズル側からオリフィス側に向かう逆流渦が発生し、10度では両エッジの紐が全て下流方向へ向くもの、弁体下流面上は逆流となり、エッジ内側に逆流との境界があると確認できた。

それぞれの弁体の開度30度における下流面を撮影したものを写真4に示す。

これを観察すれば、先に述べた弁体下流面での逆流渦の様相が明らかに確認できる。

また、流線型弁体で最も損失係数が小さくなる開度60度付近の流れを撮影したものを写真5に示す。

紐は全て下流方向に伸び、抵抗なくスムーズに流れている様子が示されている。

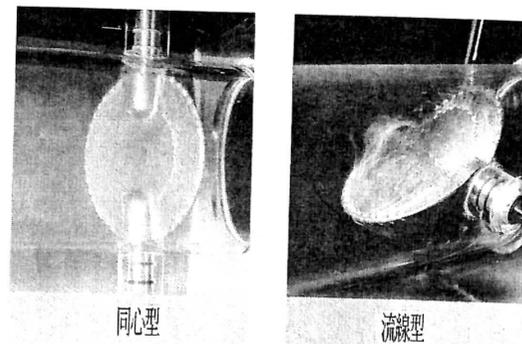


写真4 弁開度30度の弁体下流面の流れ

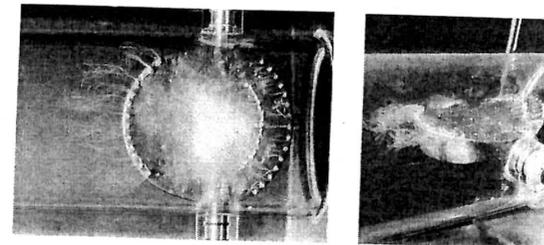


写真5 流線型弁体の流れ(弁開度60度)

5.3 キャビテーション発生状況の観察

5.3.1 各開度におけるキャビテーション様相

写真6に同心型、折曲型および流線型の3種類の弁体について、キャビテーション発生時の様相を示す。

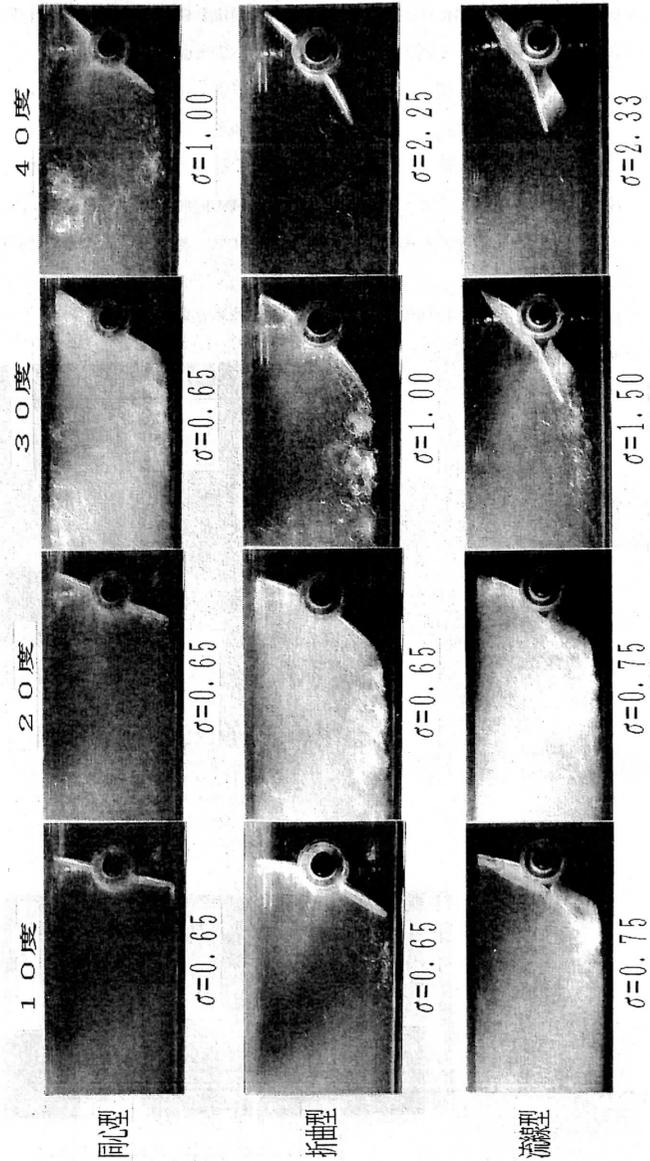


写真6 各開度におけるキャビテーション様相

発生時の条件は、それぞれの弁体の開度10度から40度について、下流圧力を0 kPaに保ちながら上流圧を上げてキャビテーションを発生させたもので、上流圧は同心型の10~30度、折曲型および流線型の10~20度は約150kPaに設定し、あとは送流ポンプ能力が最大の時とした。(同心型40度は約100kPa, 折曲型30度は約90kPa, 40度は約40kPa, 流線型30度は約80kPa, 40度は約40kPa)

それぞれの発生状況を観察すると、同心型弁体では、開度10度でノズル側エッジの隙間付近でキャビテーションが発生し、下流側は霧状となっている。20度から40度ではこれに加えて弁体のオリフィス側下流1.5D付近の配管壁近くの領域で特徴的なキャビテーションが発生し始める。特に30度と40度でのキャビテーションが激しく、いわゆる配管を壊食すると考えられている特異渦キャビテーション^{6) 7)}であり、本研究で特に低減を目的としているものである。

一方、折曲型および流線型弁体では、いずれの低開度でもこの特異渦キャビテーションの発生はほとんどみられず、折曲型は弁体ノズル側エッジから下流側にかけて、流線型は弁体ノズル側上流の側面エッジから下流にかけて発生している。

つまり折曲型や流線型弁体は、本研究の最大の目的であるオリフィス側下流1.5D付近に発生する壊食性のある特異渦キャビテーションを大きく抑える形状といえる。

しかし、流線型の低開度でのキャビテーション発生状況を詳細に観察すれば、弁体ノズル側上流の側面エッジから激しいキャビテーションが発生しており、同心型でみられるような下流配管内壁の破損が考えられない代わりに、弁体自体のノズル側側面を破損する可能性がある。

5.3.2 流線型弁体のキャビテーション

写真7~9に流線型弁体について、開度が10~30度においてσを徐々に変化させた時のキャビテーション発生状況を示す。

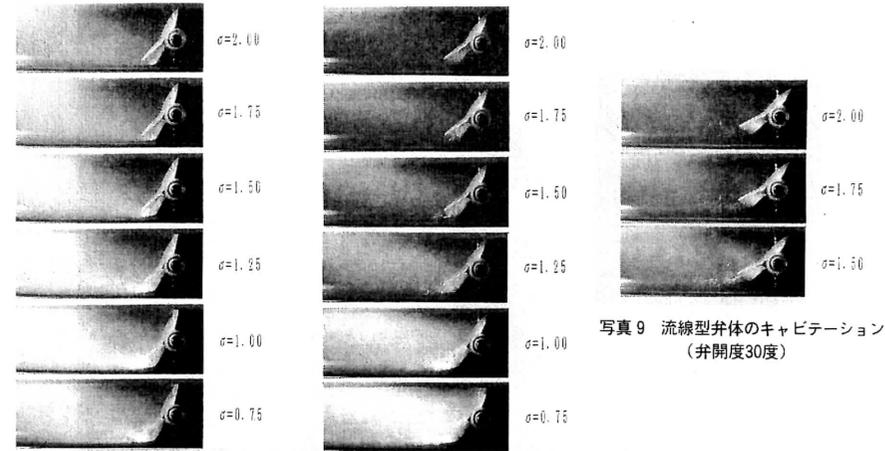


写真7 流線型弁体のキャビテーション (弁開度10度) 写真8 流線型弁体のキャビテーション (弁開度20度)

写真9 流線型弁体のキャビテーション (弁開度30度)

開度10度については、弁体ノズル側上流面からキャビテーションが発生するものの、下流側配管内は同心型の低開度でみられるキャビテーションと同様、霧状のキャビテーションが発生している。 σ を小さくするにつれ、弁体側面のキャビテーションが発達し、 σ を1.25より小さくすれば、弁体の下流側まで広がってくる。

開度20度についても10度の場合とほぼ同様の様相ではあるが、弁開度が開くため、ノズル側で発生したキャビテーションは、 σ が1.50以下で下流側領域へと広がる。しかし、 $\sigma=0.75$ で激しく発生するキャビテーションは、同心型のように配管に直接接触することはない。これは、配管との隙間にできる噴流コアによって分離されるからと考えられる。

また、開度30度になると、キャビテーション発生初期から弁体下流域で広がった発生がみられ、10度～20度でみられる弁体側面からのキャビテーションはさほど激しくはない。

6. 三次元流体解析の結果と考察

6.1 解析モデルと解析グリッド

図14に流体解析を行った流線型弁体の三次元モデルを示す。表面が曲面で構成されているため、モデリングおよび解析グリッド作成に相当時間を費やした。

また、図15に同心型および流線型モデルでの、配管中央付近の解析グリッド ($J=18$) を示す。この中

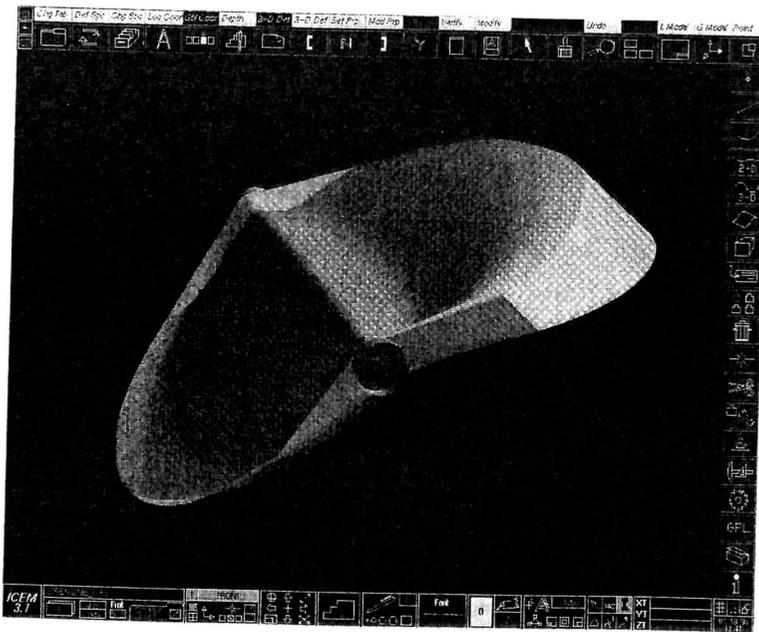


図14 流線型弁体の三次元解析モデル

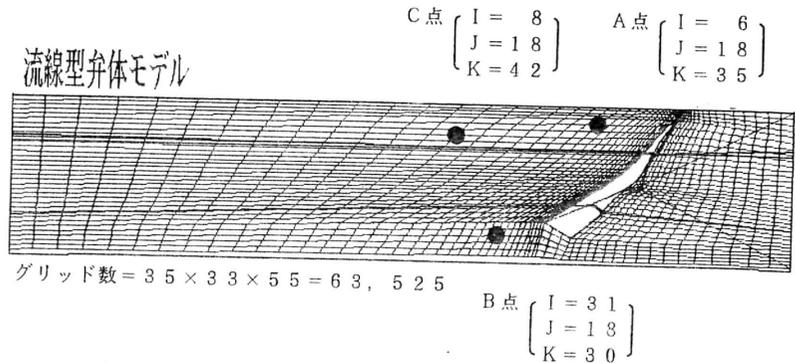
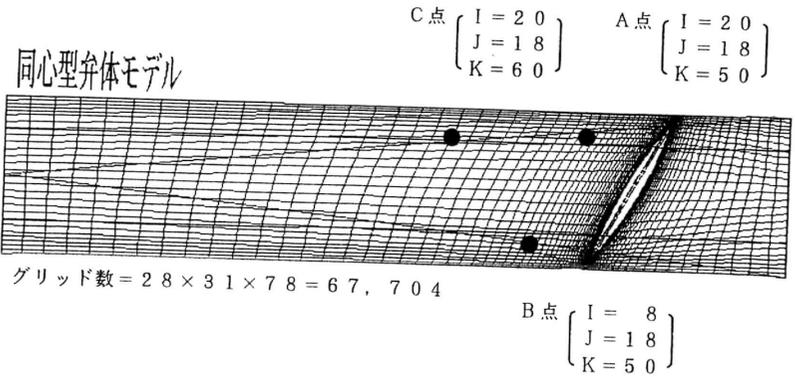


図15 解析グリッドと特定地点の位置

で、同心型弁体における典型的な3箇所でのキャビテーション発生位置の中心付近を特定地点としてグリッド中に指定し (A点、B点およびC点)、このグリッドノード点での各解析値に注目して解析結果を比較検討した。なお、流線型モデルでのB点は、偏心構造のため同心型のB点よりやや下流側へ移動した。

6.2 境界条件

流体解析に使用した壁、入口および出口部分の境界条件を表1に示す。

表1 入口出口境界条件

項目 条件	速度・圧力境界条件					備 考
	ゾーン 単位	U速度 m/sec	V速度 m/sec	W速度 m/sec	圧力 kPa	
条件 1	壁 1	0	0	0	-	同心型・流線型統一条件 (入口速度一定)
	入口 1	2.00	0	0	-	
	入口 2		圧力境界		0	
条件 2	壁 1	0	0	0	-	同心型・流線型統一条件 (入口圧力一定)
	入口 1		圧力境界		200	
	入口 2		圧力境界		0	
条件 3	壁 1	0	0	0	-	同心型弁体の 初生キャビテーション 発生時の流速実測値
	入口 1	1.50	0	0	-	
	入口 2		圧力境界		0	
条件 4	壁 1	0	0	0	-	同心型弁体の 初生キャビテーション 発生時の圧力実測値
	入口 1		圧力境界		51.824	
	入口 2		圧力境界		0	
条件 5	壁 1	0	0	0	-	流線型弁体の 初生キャビテーション 発生時の流速実測値
	入口 1	2.30	0	0	0	
	入口 2		圧力境界		0	
条件 6	壁 1	0	0	0	-	流線型弁体の 初生キャビテーション 発生時の圧力実測値
	入口 1		圧力境界		33.292	
	入口 2		圧力境界		0	
条件 7	壁 1	0	0	0	-	同心型・流線型統一条件 (入口速度一定)
	入口 1	5.00	0	0	-	
	入口 2		圧力境界		0	
条件 8	壁 1	0	0	0	-	同心型・流線型統一条件 (入口速度一定)
	入口 1	10.00	0	0	-	
	入口 2		圧力境界		0	
条件 9	壁 1	0	0	0	-	同心型・流線型統一条件 (入口圧力一定)
	入口 1		圧力境界		500	
	入口 2		圧力境界		0	
条件 10	壁 1	0	0	0	-	同心型・流線型統一条件 (入口圧力一定)
	入口 1		圧力境界		1000	
	入口 2		圧力境界		0	

※ 壁 1 : 流体が流れる配管壁
 入口 1 : 弁体上流側の配管入口
 入口 2 : 弁体下流側の配管出口

配管計算領域の入口および出口での、バルブ解析において使用可能な境界条件等の組み合わせについては既に報告した。また、弁体上流側の配管長は弁体径(=D)に対して1D、弁体下流側の配管長は4Dとしているが、弁開度が30度の場合は、下流計算領域外からの逆流が、条件によっては考えられるため、出口は全て両方向の流れが計算できる圧力境界の入口として設定した。

境界条件①および②は、弁体性能を比較するための条件として、入口に対して、同じ平均流速(同じ流量)で流入する場合と、上流圧力が同じ場合での二通りの統一条件である。

境界条件③および④は、同心型弁体の実流実験によって、初生キャビテーション発生時における実測した流速および差圧である。

境界条件⑤および⑥は、同心型弁体と同様、流線型弁体の初生キャビテーション発生時における実測した流速および差圧である。

さらに、境界条件⑦~⑩は、入口から流量が非常に多く流れた場合、および非常に大きな圧力が加わった場合の解析条件である。

6.3 解析結果

表2に同心型、表3に流線型モデルにおける、前述の各10種類の境界条件に基づく解析結果を示す。いずれも計算領域内の最大値および最小値と、特定点における解析値である。

本研究で利用した流体解析は、定性的な性格が強いが、ここで実流実験と流体解析で得られた共通のデータを用いて、定量的な面で比較検討した。すなわち、実流実験では、配管内の任意の位置のデータ採取は不可能であるが、弁体前後の圧力および流速データが得られるので、これを用いて解析結果と比較した。

図16に同心型および流線型弁体の流速と差圧の関係を示す。

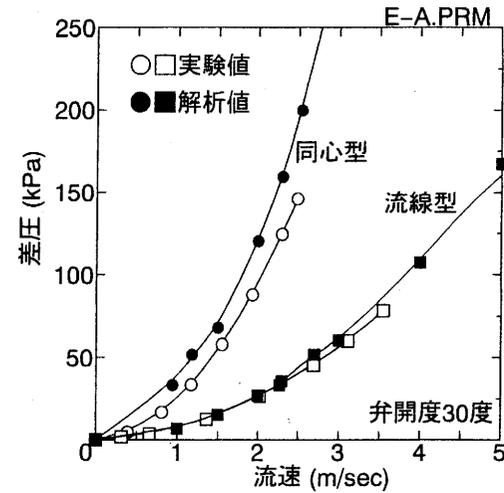


図16 実験値と解析値の比較

表2 同心型弁体の解析結果

	入口条件		速度 (m/sec)	乱流運動エネルギー (m ² /sec ²)	圧力 (kPa)		実効粘度 (kg/m*s)
	V:m/sec P:kPa	出口条件 P:kPa			最大値	最小値	
最大値・最小値	①V= 2.00	P=0	最大値 17.096	最大値 37.8065	最大値 122.509	最小値 -68.3381	最大値 12.5473
	②P= 200.000	P=0	21.8531	62.1258	200.043	-111.896	36.6169
	③V= 1.50	P=0	12.8533	21.1487	69.1358	-38.7488	9.2427
	④P= 51.824	P=0	11.1785	16.9846	53.5247	-29.3573	8.1418
	⑤V= 2.30	P=0	19.6924	50.1277	162.414	-90.7866	14.4186
	⑥P= 33.292	P=0	8.9291	11.1890	34.7044	-18.8971	6.5482
	⑦V= 5.00	P=0	42.7369	239.793	766.559	-426.769	31.9189
	⑧V= 10.00	P=0	85.3175	967.795	3062.51	-1698.25	64.5814
	⑨P= 500.000	P=0	34.5208	156.039	500.112	-278.791	25.6331
	⑩P=1000.000	P=0	48.7933	313.797	1000.22	-556.420	36.5553
A点 I=20 J=18 K=50	①V= 2.00	P=0	4.7880	7.8189	-19.777		5.9616
	②P= 200.000	P=0	6.1013	12.655	-32.951		7.5494
	③V= 1.50	P=0	3.5841	4.2617	-11.433		4.3156
	④P= 51.824	P=0	3.0429	3.2498	-8.8810		3.7732
	⑤V= 2.30	P=0	5.5104	10.194	-26.782		6.7438
	⑥P= 33.292	P=0	2.3980	2.1193	-5.7280		3.0780
	⑦V= 5.00	P=0	12.0223	49.466	-125.66		15.088
	⑧V= 10.00	P=0	24.1099	202.23	-498.64		30.909
	⑨P= 500.000	P=0	9.6730	31.922	-82.498		12.052
	⑩P=1000.000	P=0	13.7076	64.661	-164.39		17.276
B点 I= 8 J=18 K=50	①V= 2.00	P=0	2.8181	14.207	-13.785		9.6496
	②P= 200.000	P=0	3.5859	23.423	-22.986		12.428
	③V= 1.50	P=0	2.0496	7.9977	-7.9564		7.1701
	④P= 51.824	P=0	1.8570	6.1889	-6.2461		6.3968
	⑤V= 2.30	P=0	3.2034	19.022	-18.670		11.175
	⑥P= 33.292	P=0	1.4940	3.9789	-4.0703		5.135
	⑦V= 5.00	P=0	7.1397	91.009	-87.924		24.721
	⑧V= 10.00	P=0	14.5814	367.05	-350.66		50.066
	⑨P= 500.000	P=0	5.7231	59.231	-57.717		19.888
	⑩P=1000.000	P=0	8.1939	119.16	-115.22		28.358
C点 I=20 J=18 K=60	①V= 2.00	P=0	4.2943	6.8585	-7.081		8.5551
	②P= 200.000	P=0	5.5211	11.224	-11.660		10.742
	③V= 1.50	P=0	3.2425	3.7796	-4.0172		6.0249
	④P= 51.824	P=0	2.9467	2.8870	-3.1478		5.2893
	⑤V= 2.30	P=0	4.9734	9.0380	-9.3829		9.4988
	⑥P= 33.292	P=0	2.4247	1.8480	-2.0488		4.3322
	⑦V= 5.00	P=0	10.8227	43.331	-44.193		21.185
	⑧V= 10.00	P=0	21.6379	174.57	-176.42		43.040
	⑨P= 500.000	P=0	8.7771	28.083	-28.933		16.887
	⑩P=1000.000	P=0	12.4221	56.570	-57.772		24.199

※条件③と④は同心型、⑤と⑥は流線型の初生キャビテーション発生時の条件である。

表3 流線弁体の解析結果

	入口条件		速度 (m/sec)	乱流運動エネルギー (m ² /sec ²)	圧力 (kPa)		実効粘度 (kg/m*s)
	V:m/sec P:kPa	出口条件 P:kPa			最大値	最小値	
最大値・最小値	①V= 2.00	P=0	最大値 9.75799	最大値 6.12981	最大値 34.6414	最小値 -27.6943	最大値 10.0821
	②P= 200.000	P=0	25.7467	43.5401	238.642	-194.381	33.9517
	③V= 1.50	P=0	7.31300	4.41542	19.5523	-15.5037	6.6870
	④P= 51.824	P=0	13.0517	11.0674	61.8244	-49.6619	12.1886
	⑤V= 2.30	P=0	11.2253	8.4168	45.7678	-36.6793	10.4348
	⑥P= 33.292	P=0	10.7296	8.26623	42.4969	-34.4314	10.1985
	⑦V= 5.00	P=0	24.4302	39.0920	214.988	-174.662	23.3121
	⑧V= 10.00	P=0	48.8825	158.035	856.622	-701.745	47.5949
	⑨P= 500.000	P=0	40.7550	110.024	596.447	-487.839	39.4991
	⑩P=1000.000	P=0	57.6921	221.500	1192.86	-979.117	56.4389
A点 I= 6 J=18 K=35	①V= 2.00	P=0	4.5994	2.9956	-8.2126		3.0491
	②P= 200.000	P=0	12.089	21.14	-57.471		8.2606
	③V= 1.50	P=0	3.4486	1.6807	-4.5806		2.2761
	④P= 51.824	P=0	6.1522	5.3635	-14.656		4.1050
	⑤V= 2.30	P=0	5.2903	3.9665	-10.879		3.5139
	⑥P= 33.292	P=0	5.1275	3.6680	-9.4828		3.5675
	⑦V= 5.00	P=0	11.4745	19.020	-51.847		7.8016
	⑧V= 10.00	P=0	22.8898	77.132	-207.77		15.911
	⑨P= 500.000	P=0	19.1219	53.230	-143.91		13.188
	⑩P=1000.000	P=0	27.0280	107.37	-288.40		18.846
B点 I=31 J=18 K=30	①V= 2.00	P=0	2.2778	4.0002	-4.6766		6.2763
	②P= 200.000	P=0	6.0106	28.188	-33.039		16.992
	③V= 1.50	P=0	1.7130	2.2379	-2.6029		4.6661
	④P= 51.824	P=0	3.0537	7.1841	-8.3259		8.4575
	⑤V= 2.30	P=0	2.6166	5.3015	-6.1873		7.2443
	⑥P= 33.292	P=0	2.6387	5.1180	-5.4605		7.1813
	⑦V= 5.00	P=0	5.6791	25.301	-29.651		16.056
	⑧V= 10.00	P=0	11.3629	101.87	-119.46		32.591
	⑨P= 500.000	P=0	9.5011	70.908	-82.595		27.130
	⑩P=1000.000	P=0	13.4532	142.48	-165.96		38.665
C点 I= 8 J=18 K=42	①V= 2.00	P=0	3.4920	1.2517	-3.2928		2.9732
	②P= 200.000	P=0	9.0350	9.2044	-23.362		8.3934
	③V= 1.50	P=0	2.6252	0.69257	-1.8279		2.1896
	④P= 51.824	P=0	4.6303	2.2751	-5.8768		4.0618
	⑤V= 2.30	P=0	4.0106	1.6687	-4.3555		3.4490
	⑥P= 33.292	P=0	3.5957	1.5075	-3.9326		3.3928
	⑦V= 5.00	P=0	8.6230	8.2622	-20.907		7.9089
	⑧V= 10.00	P=0	17.0772	34.312	-84.185		16.510
	⑨P= 500.000	P=0	14.2397	23.548	-58.299		13.595
	⑩P=1000.000	P=0	20.0599	48.016	-117.09		19.630

※条件③と④は同心型、⑤と⑥は流線型の初生キャビテーション発生時の条件である。

ここで用いた流体解析での差圧とは、入口速度を境界条件に設定した解析では、出口を0kPaとして解析しているため入口中心の圧力を示し、入口圧力を設定した解析では、設定圧力を示す。また、流速とは、入口速度を境界条件に設定した解析では、設定速度を示し、入口圧力を設定した解析では、入口中心の速度を示している。

この図から、同心型では、いずれの流速においても実測値に比べて解析値が高めであるが、この二本の曲線がほぼ同じ間隔で並行している。すなわち、この誤差原因さえ除去すれば、曲線がきれいに一致する結果が得られると考えられる。

一方、流線型では、多少の誤差はあるものの、ほとんど実測値と解析値が一致する結果が得られ、解析が定量的にも用いることができることを示していると考えられる。

そこで、さらに別の視点からその精度を検討するために、両弁体について、初生キャビテーション発生時の実測データと、この時の流速および圧力を境界条件として解析した結果について検討を加えた。

表4に同心型、表5に流線型モデルの初生時境界条件での解析結果を示す。この中で、解析値を比較す

表4 同心型の初生時境界条件の解析値

	速度の大きさ(m/sec)				乱流運動エネルギー(m ² /sec ²)				圧力(kPa)				実効粘度(kg/m ² sec)				
	最大値	A点	B点	C点	最大値	A点	B点	C点	最大値	最小値	A点	B点	C点	最大値	A点	B点	C点
条件③(A)	12.9	3.6	2.0	3.2	21.1	4.3	8.0	3.8	69.1	-38.7	-11.4	-8.0	-4.0	9.2	4.3	7.2	6.0
条件④(B)	11.2	3.0	1.9	2.9	17.0	3.2	6.2	2.9	53.5	-29.4	-8.9	-6.2	-3.1	8.1	3.8	6.4	5.3
B/A	0.87	0.85	0.91	0.91	0.80	0.76	0.77	0.76	0.77	0.76	0.78	0.79	0.78	0.88	0.87	0.89	0.88

初生キャビテーション発生時の条件 A点: I=20, J=18, K=50
 条件③: 入口速度1.50m/sec, 出口圧力0kPa B点: I= 8, J=18, K=50
 条件④: 入口圧力51.824kPa 出口圧力0kPa C点: I=20, J=18, K=60

表5 流線型の初生時境界条件の解析値

	速度の大きさ(m/sec)				乱流運動エネルギー(m ² /sec ²)				圧力(kPa)				実効粘度(kg/m ² sec)				
	最大値	A点	B点	C点	最大値	A点	B点	C点	最大値	最小値	A点	B点	C点	最大値	A点	B点	C点
条件⑤(A)	11.2	5.3	2.6	4.0	8.1	4.0	5.3	1.7	45.8	-36.8	-10.9	-6.2	-4.4	10.4	3.5	7.2	3.4
条件⑥(B)	10.7	5.1	2.6	3.6	8.3	3.7	5.1	1.5	42.5	-34.4	-9.5	-5.5	-3.9	10.2	3.6	7.2	3.4
B/A	0.96	0.97	1.01	0.90	0.98	0.92	0.97	0.90	0.93	0.94	0.87	0.88	0.90	0.98	1.02	0.99	0.98

初生キャビテーション発生時の条件 A点: I= 6, J=18, K=35
 条件⑤: 入口速度2.30m/sec, 出口圧力0kPa B点: I=31, J=18, K=30
 条件⑥: 入口圧力33.292kPa 出口圧力0kPa C点: I= 8, J=18, K=42

るために、解析値の比(入口圧力設定時の解析値(B)/入口流速設定時の解析値(A))を求めたが、ここに示す異なった両条件(AおよびB)で得られる結果が一致すれば、解析精度が非常に良いといえることができる。

同心型では、全ての解析値において(A)が大きくなり、速度の大きさや実効粘度では約10%程度の誤差を生じている。また、乱流運動エネルギーや圧力については、約20%となっている。これは、実流実験での試作弁体と流体解析でのモデルの相違によるものが大きく影響していると考えられる。つまり、弁体形状や厚みは全く同じであるが、実験用試作弁体には弁軸を支える部分があり、このボリュームが非常に大きい。一方、解析モデルにはこれがないため前述の誤差が生じたと考えられる。解析精度が必要な場合は、この部分のモデリングも必要である。

一方、流線型でのその比(B/A)は、ほとんどの解析値が1に近く、異なる条件での解析値が非常に精度良く合っている。これは、流れが形状自身の効果によるものが大きく、試作弁体と解析モデルとの細かい違いがほとんど無視できるためと考えられる。

6.3.1 流れ模様の比較

図17に、両モデルにおける配管中央付近での速度ベクトルおよび速度の大きさの分布を示す。いずれの

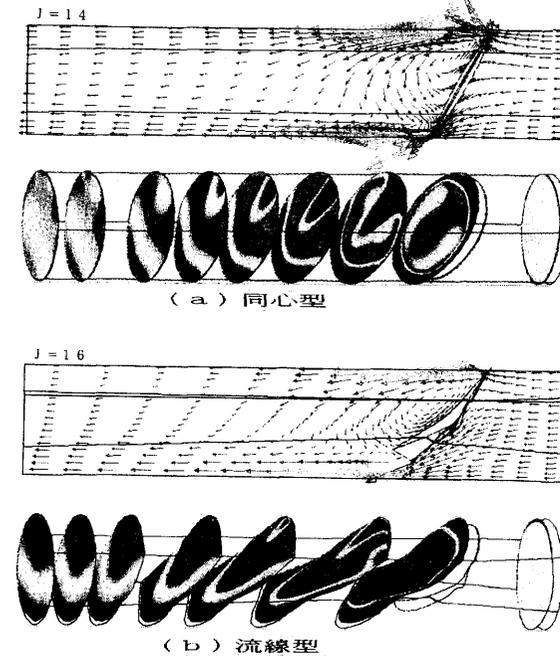


図17 速度ベクトルと速度の大きさ

モデルも、上流からの流れは、弁体直前で配管中央よりもオリフィス側寄りで分岐し、ノズル側への流れが主流となっている。また、弁体を通過後は激しく隙間から下流へ噴き出すとともに、弁体裏側においては、左回りの渦を形成している。

速度の大きさの分布をみてもこのことが示されている。同心型では、弁体のオリフィス側のエッジ付近から中心部に向かった速い領域分布が特徴的にみられ、ノズル側では両モデルとも配管壁に沿った円弧状の領域で速く、特に流線型では、かなり下流の出口付近に至ってもノズル側流れが主流となっている。

次に、境界条件①による解析結果について、流れ等をアニメーション表示して比較を行った。

ここでは、速度ベクトルから求めた流線を細切れのフィラメントに表示し、フィラメント上には乱流運動エネルギーをカラー表示した。

図18に同心型、図19に流線型の流線をフィラメントでアニメーション表示した一コマを示す。

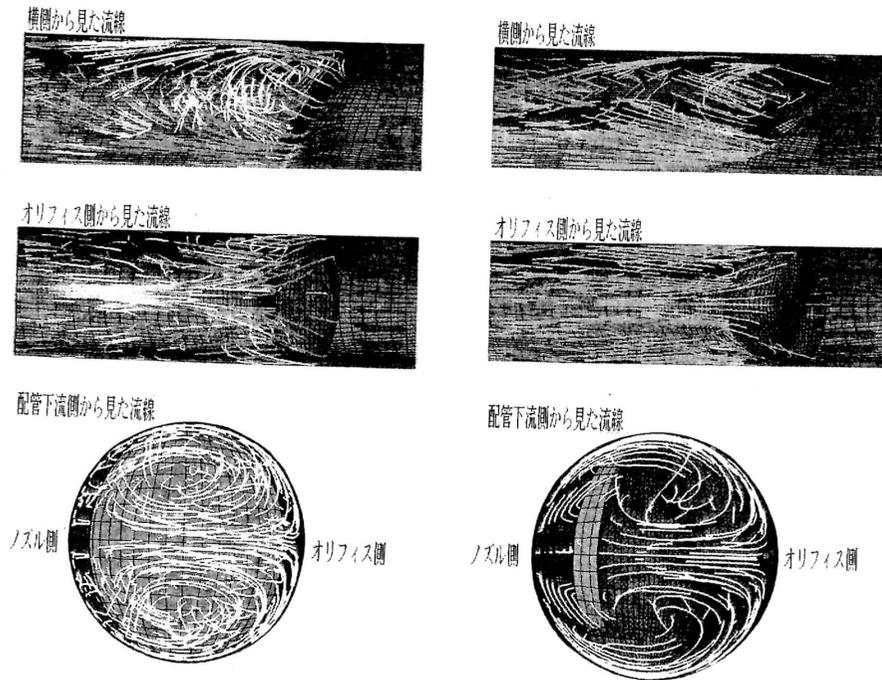


図18 同心型モデルの流線

図19 流線型モデルの流線

これによると、同心型モデルでは、配管と弁体との隙間から激しく下流に向かって流れ出しており、特にオリフィス側では、弁体エッジを通過後、配管中央部内側へ集中するように吸い込まれる流れとなり、この部分がいわゆるオリフィス噴流であると考えられる。しかし、ノズル側では通過時の速度は非常に大きくなるものの、このような現象はみられない。さらに、弁体の下流域では、弁体下流面に沿ってノズル側からオリフィス側に向かう激しい逆流渦がみられ、この渦は配管中央を境にして対称的に2つ生成している。

また、流れを配管下流側からみれば、2つの逆回りの旋回流がはっきりと生成している。これは、中央に噴き出すオリフィス噴流が、渦発生の原因のひとつになっていると考えられる。

一方流線型モデルでは、同心型に比べ、流れは非常にスムーズであり、流体は開口面積が大きいノズル側を主流として流れている。オリフィス側では、弁体下流配管の中央内側への集中がみられるが、同心型の流れほど激しくはない。弁体のすぐ下流面では同心型と同様、ノズル側からオリフィス側に向かった渦が、中央を境に対称的に2つ生じており、下流配管内でも同じく2つの旋回流が生じている。

また、この他に実施したアニメーション表示では、乱流運動エネルギー、圧力、実効粘度分布をグリッド面をスウィープさせて表示し、乱流運動エネルギーはさらに等値面立体表示(イソサーフェス)させた。最後に、流れを流体流れ(スフィア)により表示し、配管内での流体停滞情報も得られた。

すなわち、球体流れ表示によると、流線型弁体の下流面で生成される渦領域での球体滞留時間は、同心型よりかなり短いことが分かった。

6.3.2 配管中央付近の解析値の比較

図20に同心型モデルでの乱流運動エネルギー、圧力および実効粘度の解析結果を、解析グリッドのJ面をスウィープさせた時の配管中央付近(J=14)に一コマを示す。

また、図21に流線型モデルでの弁体側面付近(J=30)の乱流運動エネルギーと、配管中央付近(J=

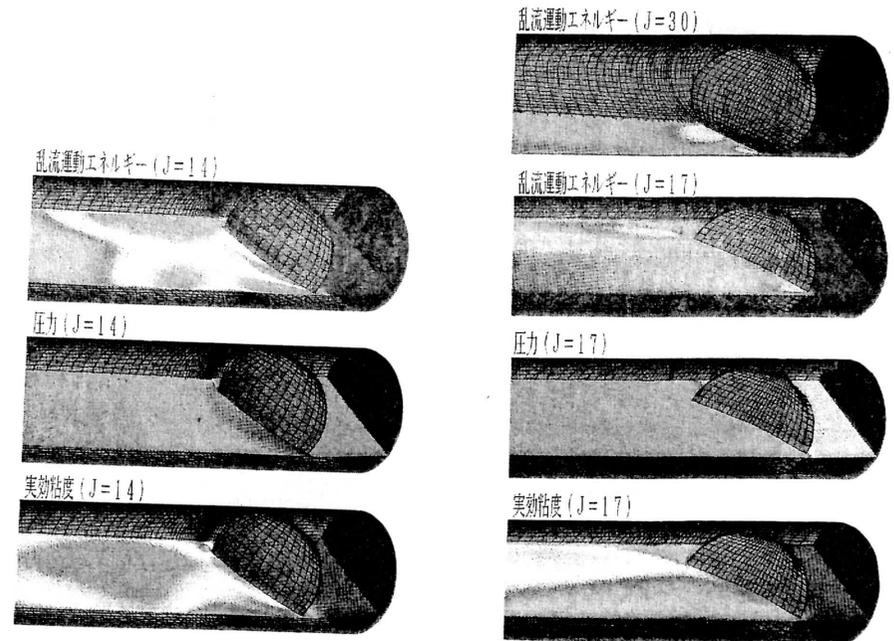


図20 同心型モデルの解析結果

図21 流線型モデルの解析結果

17) の乱流運動エネルギー、圧力および実効粘度の分布を示す。

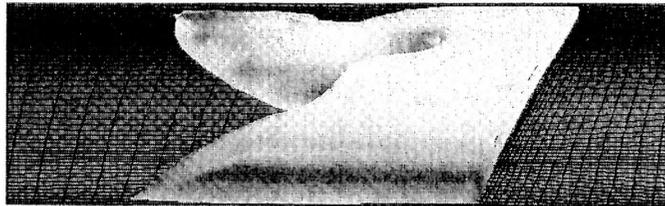
(乱流運動エネルギー)

同心型モデルの乱流運動エネルギー分布では、典型的な3箇所で大きくなる領域が現れる。つまり、弁体を通するエッジ周辺領域から急激に値が高まり、オリフィス側およびノズル側の弁体エッジ付近から配管壁に沿った下流域にかけてと、オリフィス側の下流1.5D付近の配管壁近くの3箇所で大きい領域が分布している。この内、オリフィス側下流1.5D付近の領域では、配管中央を境にして接近した2つの領域に分かれて生成している。これは、後述する三次元イソサーフェス表示(等値面の立体表示)すればはっきりと示され、弁体エッジ付近が最も高い値を示している。

一方、流線型モデルの乱流運動エネルギー分布では、同心型のような傾向はみられず、中央付近(J=17)では、弁体両エッジから下流にかけての噴き出し部分で大きくなるだけで、オリフィス側下流1.5D付近で上昇の気配は全くない。また流線型では、最も高い領域が異なり、特にノズル側のエッジ側面(J=30)が高くなる。

以上のことを直感的に理解するために、図22にイソサーフェス表示した。

同心型モデル 4.8 m²/sec² 以上の領域 (最大値 = 37.8 m²/sec²)



流線型モデル 3.1 m²/sec² 以上の領域 (最大値 = 6.13 m²/sec²)



図22 乱流運動エネルギーの等値面
(開度30度, 解析条件①入口速度2 m/sec)

同心型では、弁体エッジ周辺から下流への配管に沿った領域と、弁体下流1.5D付近に高い領域が分布する一方、流線型ではノズル側側面が起点となって、ノズル側下流へ大きく広がる分布を示すが、オリフィス側下流ではほとんど高い領域が現れないことがはっきりと分かる。

(圧力)

図20に示す同心型では、弁体の通過時に大きな圧力低下が起こり、特にノズル側に比べてオリフィス側の弁体のすぐ裏側で極端な低圧域となる。しかし、下流へいくに従って徐々に圧力回復がみられる。

一方、図21に示す流線型では弁体通過後は圧力が低下するものの、その程度は小さく、下流で緩やかに回復する。

(実効粘度)

図20に示す同心型では、弁体ノズル側寄りのすぐ裏側で一旦高くなる領域が現れ、さらに下流域の配管中央の広い範囲にわたって高い領域となって現れる。

一方、図21に示す流線型では、ノズル側で若干高い値の領域が下流に広く分布する程度である。

この実効粘度は、すでに報告したように、キャビテーションとの因果関係が深く、特に発生成長したキャビテーションが、粘度の高い領域で壊滅しやすく、キャビテーションはこの領域より下流では発生し難く、既に発生しているキャビテーションは移動し難いことである。

6. 3. 3 入口速度と乱流運動エネルギーの関係

図23に同心型、図24に流線型モデルでの入口速度と乱流運動エネルギーの関係を示す。いずれも、全解析グリッドノード中の最大値と、特定点のA点、B点およびC点の値を示す。

解析した開度30度では、流線型は同心型に比べ、入口速度の上昇に対して乱流運動エネルギーの上昇は半分以下と極めて小さく、乱流運動エネルギーが大きく抑えられている。また、3つの特定点では、い

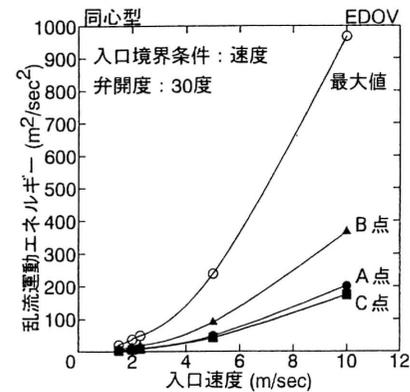


図23 入口速度と乱流運動エネルギー

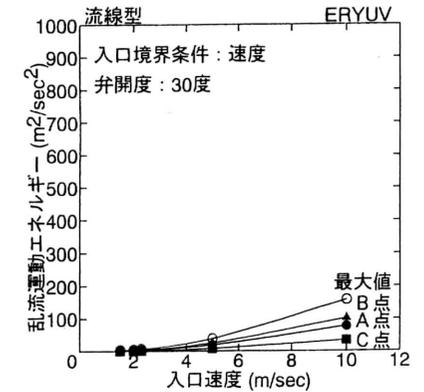


図24 入口速度と乱流運動エネルギー

れのモデルにおいてもノズル側下流のB点の値が最も大きく、次いでオリフィス側のA点、C点となっている。

この図から分かるように、きれいな二次曲線を描いており、最小二乗法により二次曲線近似をすれば、表6に示す係数が得られ、入口速度条件が変わった場合、解析せずに近似式からその値を求めることができる。これは、 $k-\epsilon$ 乱流モデルにおける乱流運動エネルギーは、次式に示すように、平均速度の二乗に比例するという定義式から明かである。

$$k \propto \frac{3}{2} (V_{avg} \times I)^2 \quad \text{ただし、} V_{avg} : \text{平均速度、} I : \text{乱流強度}$$

表6 最小二乗近似による係数

入口速度と乱流運動エネルギーの二次曲線近似

	地点	$Y = \sum A_i \times X^i \quad (i=0 \sim 2)$	$\sqrt{\Delta Y^2}$	r
同心型	最大値	A0 = 4.795978E-14 A1 = -6.976743E-1 A2 = 9.744971E+0	2.254248E-1	9.664853E-1
	A点	A0 = 1.000636E-14 A1 = -3.227033E-1 A2 = 2.054055E+0	1.625093E-1	9.657963E-1
	B点	A0 = 1.818972E-14 A1 = -2.699974E-1 A2 = 3.697359E+0	6.009439E-2	9.665111E-1
	C点	A0 = 8.652429E-15 A1 = -1.112783E-1 A2 = 1.756769E+0	2.582274E-2	9.665798E-1
流線型	最大値	A0 = 7.836430E-15 A1 = -6.475258E-3 A2 = 1.580208E+0	3.967569E-1	9.663395E-1
	A点	A0 = 3.820288E-15 A1 = -7.827764E-2 A2 = 7.790253E-1	3.714866E-2	9.662306E-1
	B点	A0 = 5.049742E-15 A1 = -5.566507E-2 A2 = 1.024217E+0	1.492795E-2	9.666169E-1
	C点	A0 = 1.694245E-15 A1 = -9.821152E-2 A2 = 3.528135E-1	3.860355E-2	9.649033E-1

6.3.4 入口圧力と乱流運動エネルギーの関係

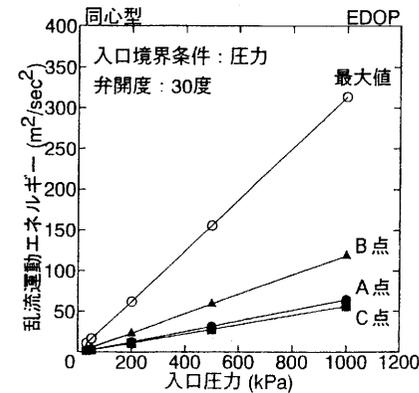


図25 入口速度と乱流運動エネルギー

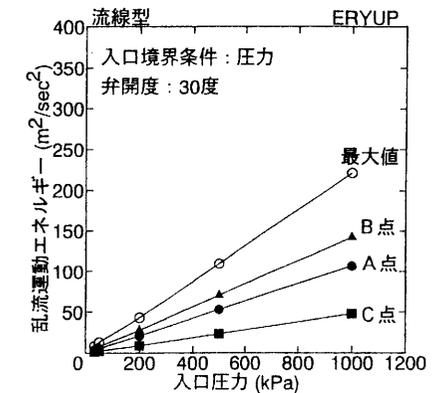


図26 入口速度と乱流運動エネルギー

表7 入口圧力と流速比

入口圧力 Pa	同心型速度 (A) m/sec (I=14, J=16, K=1)	流線型速度 (B) m/sec (I=17, J=16, K=1)	流速比 (B/A)
33,292	0.9568	2.2717	2.37
51,824	1.1808	3.4241	2.90
200,000	2.5394	5.3202	2.10
500,000	4.0115	8.4171	2.10
1,000,000	5.6740	11.912	2.10

図25に同心型、図26に流線型モデルでの入口圧力と乱流運動エネルギーの関係を示す。値は入口速度の場合と同じく、最大値、A点、B点およびC点の値である。また、表7に入口圧力に対する配管入口中心部分の速度を求め、同心型と流線型の速度比を示した。つまりこの値を便宜的に平均流速比に近似したものである。

これによると、乱流運動エネルギーの値そのものに大きな差はなく、特定点における値の順序も同じであるが、表7に示される流速比が約2倍以上であることから考えると、同じ流速（流量）でみれば流線型の値は同心型に比べて約半分の値であるということができ、乱流運動エネルギーを抑える効果が非常に大きいと考えられる。また、同じ入口圧力の解析で得られた約2倍という流速比は、性能試験におけるCv値の1.98倍と一致している。

また、入口速度の場合と同様、きれいな直線関係が得られているため、最小二乗法により一次曲線近似をすれば、表8に示す係数が得られ、入口が圧力境界の場合も近似式により解析値を予測できる。これを

説明する定義式を次式に示す。

表8 最小二乗近似による係数(2)

入口圧力と乱流運動エネルギーの一次曲線近似

	地点	$Y = A_0 + A_1 \times X$	$\sqrt{\Delta Y^2}$	r
同心型	最大値	$A_0 = 6.105505E-15$ $A_1 = 2.211928E-1$	$8.806076E-1$	$9.999477E-1$
	A点	$A_0 = 2.957611E-15$ $A_1 = 1.071496E-1$	$2.152419E-1$	$9.999847E-1$
	B点	$A_0 = 3.928873E-15$ $A_1 = 1.423369E-1$	$3.301010E-1$	$9.999817E-1$
	C点	$A_0 = 1.318552E-15$ $A_1 = 4.776907E-2$	$2.297304E-1$	$9.999427E-1$
流線型	最大値	$A_0 = 6.105505E-15$ $A_1 = 2.211928E-1$	$8.806076E-1$	$9.999477E-1$
	A点	$A_0 = 2.957611E-15$ $A_1 = 1.071496E-1$	$2.152419E-1$	$9.999847E-1$
	B点	$A_0 = 3.928873E-15$ $A_1 = 1.423369E-1$	$3.301010E-1$	$9.999817E-1$
	C点	$A_0 = 1.318552E-15$ $A_1 = 4.776907E-2$	$2.297304E-1$	$9.999427E-1$

$$P_0 \propto P_s + \frac{1}{2} \rho |V|^2 \quad \text{ただし, } P_0: \text{全圧, } P_s: \text{静圧, } \rho: \text{密度, } V: \text{速度ベクトル}$$

6. 3. 5 特定点における乱流運動エネルギー分布の比較

図27に同心型、図28に流線型の特定点における乱流運動エネルギーの解析値分布を示す。

同心型モデルのオリフィス側(左図)では、弁体通過後、乱流運動エネルギーは急激に高くなり、A点付近でピークを示す。その後一旦下がり、再びC点でピークを示す。すなわち、実際にキャビテーションが発生している位置と一致した領域で乱流運動エネルギーが高くなっていることが分かる。一方、ノズル側(右図)でも、キャビテーションが激しく発生する位置とピークが重なっていることが分かる。絶対値は、ノズル側下流のB点が最も大きい。

一方、流線型モデルのオリフィス側(左図)では、弁体通過点付近の乱流運動エネルギーが最も大きく、下流にいくに従って急激に低下する。特にピークとなる領域は見当たらず、同心型で現れるようなC点で

の上昇傾向は全く見られない。一方ノズル側(右図)では、B点付近をピークとする大きな山型カーブを描いており、実流でのキャビテーション発生状況と一致する結果となっている。

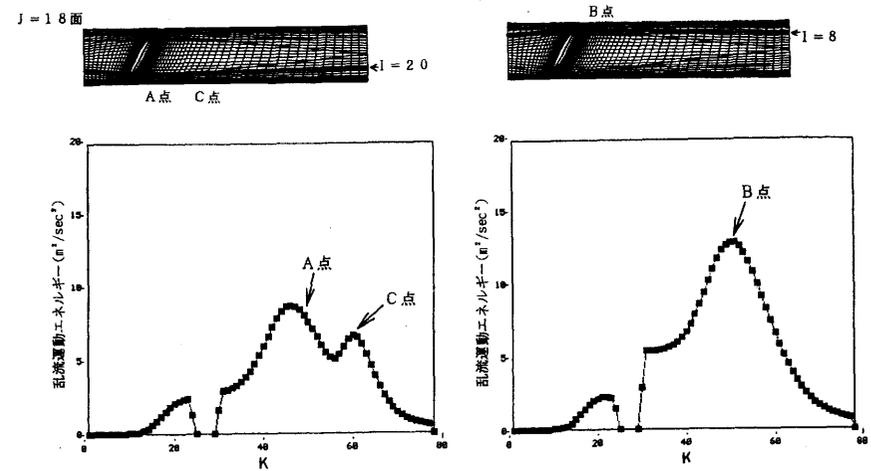


図27 同心型モデルの乱流運動エネルギー分析 (開度30度、解析条件①人工密度 2 m/sec)

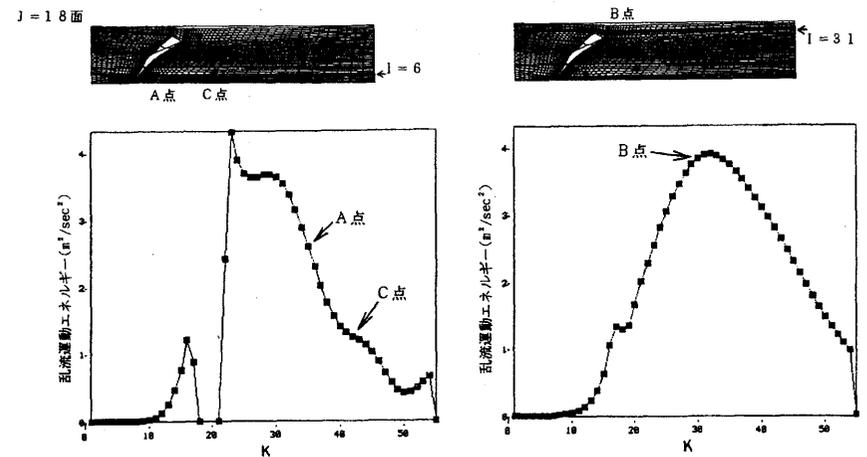


図28 流線型モデルの乱流運動エネルギー分析 (開度30度、解析条件①人工密度 2 m/sec)

6.3.6 弁体表面の圧力分布

図29に同心型、図30に流線型モデルにおける弁体上流面および下流面の圧力分布を示す。

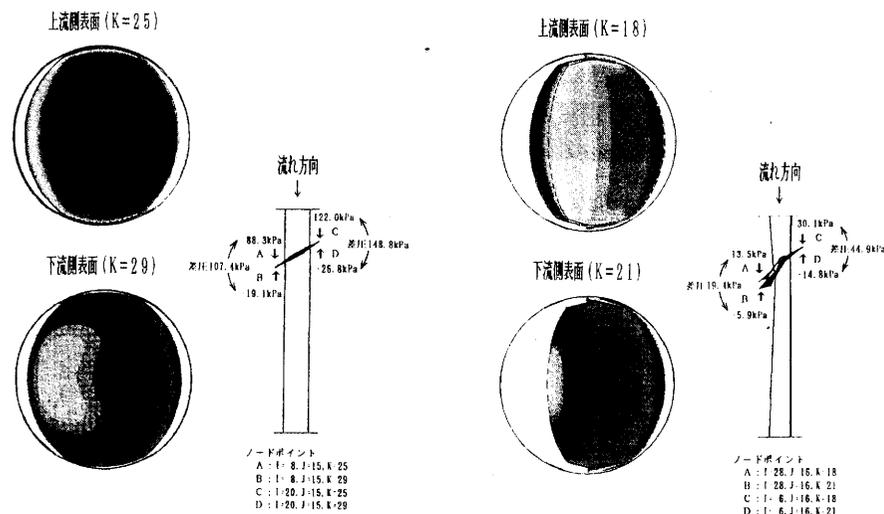


図29 同心型弁体表面の圧力分布
(開度30度、解析条件①入口速度 2 m/sec)

図30 流線型弁体表面の圧力分布
(開度30度、解析条件①入口速度 2 m/sec)

これは、弁体にかかる圧力分布が操作トルクに大きく影響し、バタフライ弁の重要な特性を左右するため求めたものである。

これによると、同心型モデルでは、弁体の中心からオリフィス側エッジにかけての広い範囲にわたって高い圧力がかかっている。弁体裏側では逆に全面負圧となり、ノズル側のエッジから少し内側寄りを中心として比較的圧力低下が小さい領域があるが、オリフィス側エッジ付近は最も圧力低下が大きくなる。弁体エッジ付近での上流面と下流面の差圧はオリフィス側で148.8kPa、ノズル側で107.4kPaである。

一方、流線型モデルでは、基本的な分布傾向は同心型と変わるところは少ないが、圧力の絶対値は同心型に比べて極めて小さい。両エッジでの差圧はオリフィス側で44.9kPa、ノズル側で19.4kPaである。

差圧から判断すれば、両モデルとも開度30度では閉の方向に力が働いているものの、両モデルでの差圧の差の大きさをみると、同心型で41.4kPa、流線型で25.5kPaであり、同心型の方が閉の方向に働くトルクが大きいことが推測できる。

7. 実用化にあたっての問題点

今まで考察してきた結果、実流性能試験および三次元流体解析結果から、本研究の最大の目的である弁体オリフィス側下流1.5D付近に発生する壊食性のあるキャビテーションは、流線型を採用することによって大きく抑えることができると分かった。

一方、業界で実用化し商品として普及を図る場合、性能、構造、素材、加工等で考えられる問題点や解

決すべき課題がいくつか上げられる。

- ① 性能試験の結果から、弁開度に対して急激に流れ、流量調整に不向きな特性のため、いかに流量コントロールに使用できるか、またその特性を逆に利用できる用途があるのか検討する必要がある。
しかし一方で、同じ口径においては流量が多いため、制御する場合には、口径の小さいサイズで制御可能となり、コストダウンに役立つと考えられる。
- ② 水道用では工事や事故等の迂回路として、短期的に逆流させて使用する場合がありますため、対応できるかどうか検討しておく必要がある。
- ③ 弁体ノズル側の厚みが非常に大きく、口径が400~500mmと大きい場合、製作上あるいはコスト上大きな問題となり、ノズル側半分だけでも中空化構造とするなどの改良が必要である。
- ④ 弁体形状が、局面を利用したもので、しかもノズル側とオリフィス側が非対称形状であることから、鋳物等による素材の製造方法、加工方法、シール方法、回転などの機構上の工夫が必要である。特に、止水部では弁軸に固執せずに、加工しやすいようにシート面を直線とした方がよい。
- ⑤ 長期にわたって低開度で使用した場合、キャビテーションは弁体ノズル側側面から常時激しく発生するため、この部分に集中して損傷を受けやすい。このため、部分的あるいは本体に、楕圓型で採用されているステンレスなどの耐キャビテーション材料を使用する必要がある。
- ⑥ 弁体側面でのキャビテーション発生対策として、止水部に改良ができるならば、ノズル側上流面のエッジ部分を局面仕上げで丸みを帯びさせ、発生を抑える方法も考えなければならない。
- ⑦ 商品化するための重要な要素である開閉トルクの特性をつかむ必要があり、偏心型弁体特有の中間開度付近でアンバランストルクが発生する懸念もあり、弁体を保持する軸の強度や減速機の使用等、その対策を検討する必要がある。
- ⑧ 中間形状である折曲型を採用する場合、構造的に流れに対して止水し難くなるのではと懸念され、止水性の良い逆「く」の字に設置した場合の特性を確認する必要がある。

8. 産地企業を支援する流体解析

本年度もバルブ産地を中心とする中小企業を支援するため、企業からの技術相談にあわせて、本解析システムを使用した指導を行ってきた。

特に新製品開発の場合、実際に物を作らずに流れをシミュレーション予測できるため、開発コストを大きく低減でき、また企業がしばしば直面するクレームや事故の原因追求では、見えない箇所の流れを推測できるため、大きな威力を発揮している。

本年度は以下の解析を実施した。

- (1) 県外企業の依頼によりノズルからの噴出ベクトルの解析
- (2) ポンプ+拡大リデュース+逆止弁の組み合わせによる解析

しかしながら、流体解析操作については当所の職員のみで、モデリングから解析作業まで全て実施しており、企業はその結果を利用するだけであった。そのため、問題を解決する上で特に着目しなければならない場所や解析条件など、適切で詳細な情報が結果に反映されていない懸念が生じている。また、

企業に対するアンケートや聞き取り等でCAE使用の要望が多く出されている。

このことから、技術的な問題点を解決したい企業が流体問題を解く技術を向上させ、また企業自らシステムを使用して解析することにより、当面している問題に対して、迅速で適切な対応ができるように企業向けに新しくシステムを導入したところである。

これに伴って、システムの活用方法や操作方法について講習会を開催したところ、6企業が受講した。しかし、利用に関する問い合わせは多いものの、操作する人材の不足や、約1月単位の解析時間（三次元解析の場合）がとれないなどの問題があって、フルには活用されていない。

9. 今後の課題

今までの研究成果を進展させ解析技術を普及させるためには、今までの研究で扱ったバルブ単体の流体解析のみならず、配管システム全体の流れを解明する必要がある。これは、特にバルブがシステムに組み込まれた場合、予想外に流れが変化して損傷や事故の原因となるため、流れを解明して最適なバルブ設置条件を求める必要がある。さらに今後、バタフライ弁の増加傾向がみられることから、高温高圧等他の使用条件での解析や、弁の信頼性を向上させるために、流体解析による評価技術も重要となっており、検討すべき問題である。

10. まとめ

- (1) 流線型弁体のCv値は、同心型弁体に比べ低開度で約2倍大きく、開度65度で最大値を示す。一方、低開度での損失係数は、非常に小さい。
- (2) 流線型弁体のCv値に対する初生キャビテーション係数は、同心型弁体に比べ約1割小さい値を示し、キャビテーションが発生し難い。
- (3) 同心型弁体の開度60度以下と、流線型弁体の開度30度以下においては、弁体下流面でノズル側からオリフィス側に向かう強い逆流渦が発生している。
- (4) 同心型弁体で発生するキャビテーションは、開度10度では霧状であり、20~40度になると、基本的に弁体両エッジから下流にかけてオリフィス側下流1.5D付近の3ヶ所で発生する。
- (5) 流線型弁体で発生するキャビテーションも、開度10度では霧状であり、20度以上になると、ノズル側側面から発生するキャビテーションが主体となり、同心型弁体でみられるオリフィス側下流の特異渦キャビテーションはほとんど発生しない。
- (6) 流速と差圧の関係について、実測値と解析値が非常に精度良く合っており、解析が定量面で検討することが期待できる。ただし、その精度を上げるためには、弁軸等の詳細部もモデリングの対象とする必要がある。
- (7) 同心型モデルで、隙間から噴き出すオリフィス噴流が解析結果によく出ており、キャビテーションの発生している典型的な3ヶ所で乱流運動エネルギーが高まっている。値はノズル側下流(B)が最も高く、次いでオリフィス側下流(A, Cの順)である。
- (8) 流線型モデルの乱流運動エネルギーは、同心型に比べ値は極めて小さく、高くなる領域もノズル側下

流が中心となり、エネルギー面でもキャビテーション抑制効果が確認できた。

- (9) 両モデルの入口速度と乱流運動エネルギーは二次式で、また入口圧力は一次式で近似でき、係数を求めれば計算で求めることができる。
- (10) 操作トルクに影響を与える、弁体表面の圧力分布は、上流面では両モデルともオリフィス側が高く、下流面ではノズル側が高い値であり、いずれも閉の方向に力がかかっている。
- (11) 実用化にあたっては、大口径弁体の製作におけるノズル側の厚み(コスト高)と、ノズル側側面への耐キャビテーション材料の適用を考慮すべきである。

最後に、この研究の遂行にあたり、滋賀県立短期大学工業部の武隆助教教授から、随所に有益なご教示を賜りました。またバタフライ弁の実際現場での使用方法や使用条件等について、(株)清水合金製作所の丸本芳男氏、清水工業(株)の岩崎実氏、(株)オーケーエムの村井米男氏から、多くの情報提供やアドバイスをいただきました。併せて皆様に感謝します。

10. 参考文献

- (1) 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
- (2) 樋口, 宮川: CAEによる低キャビテーションバルブの開発研究, 平成2年度業務報告書
- (3) 宮川 栄一: CAEによる低キャビテーションバルブの開発研究(2), 平成3年度業務報告書
- (4) 宮川 栄一: CAEによる低キャビテーションバルブの開発研究(3), 平成4年度業務報告書
- (5) 宮川 栄一: CAEによる低キャビテーションバルブの開発研究(4), 平成5年度業務報告書
- (6) 宮川 栄一: バタフライ弁のキャビテーションと流体解析による発生領域予測, 配管技術, 94, 11 P. 51-60
- (7) 伊藤, 山田, 大場, 大西, 飯高, 岩崎: 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54巻508号(昭63-12) No87-1531A
- (8) 祖山, 大場(光), 武田渉, 大場(利): バタフライ弁まわりの高壊食性渦キャビテーションの高速写真観察, 日本機械学会論文集60巻572号(1994-4) No93-1515
- (9) Eun-Bo SHIM, Keun-Shik CHANG: THREE-DIMENSIONAL VORTEX FLOW PAST A TILTING DISC VALVE USING A SEGREGATED FINITE ELEMENT SCHEME, Computational Fluid Dynamics JOURNAL vol.3 no.1, April 1994 (205-222)

自動制御弁の適正化に関する研究

試験研究係 主査 酒井 一昭

あらまし：各産業界におけるコンピュータ化への流れは、バルブ業界に於いても高度化となって波及している。

本研究は、優れた流体制御システム機器としての高付加価値化（高機能化）バルブの開発に向け、試作開発したマイコン搭載型コントローラおよび制御ソフトを使ってバルブの流量制御を適正化した内容である。

また、その状況を実流プラントにより調べたところ、精度良く制御でき、所期の目的（定格流量に対して制御精度±5%以内）が達成できたことを示した。

1. 目的

自動制御弁の市場はかなり広く、その範囲は化学工業をはじめとして、食品やビルの空調用、そして装置設備、搬送関係にいたるまで多岐にわたっている。

また、これに加えて業界におけるユーザー仕様は様々であり、営業活動も非常に厳しい状況にある。このため、自動化関連バルブの種類も極めて多く、その製品開発は一段と複雑なものとなっている。

一方、各産業界におけるコンピュータ化への流れはバルブ業界においても配管系の高度化となって波及しており、流体の多様化・精緻化、そして過酷な条件下での適応性が問われるなど使用環境は拡大してきている。このことは、従来までのバルブ単体としての製品のみばかりでなく、配管システムをも含めた高級なバルブ開発が不可欠な要素となってきたと言えるのではないかと考えられる。つまり、センサ・エレクトロニクスも含めた総合的な技術力を駆使したバルブ開発が必要になるが、このような制御弁は通常のON-OFF弁に比べて、技術的に高度でメンテナンスも難しいという問題がある。

本報では、電気信号で動作する空気式の単座形調節弁（一つの弁座を持つもの）を対象として、これに試作したマイコン搭載型コントローラを接続し、開発した制御ソフトをこのコントローラ上で動作させるという方法で、実流プラントによりバルブの定流量制御の状況を調べた結果を報告する。

2. 制御システム

2-1. 制御の対象

図1に制御システムを示した。実流プラントでの定流量制御が目的である。

拡大部分は試作したコントローラを示すが、マイコン搭載型の自動制御弁を考えているため、通常の調節弁に入出力関連機器類、それにCPUやA/D及びD/Aボード等を付け加えたハード構成となっている。これによって、配管及び弁本体との関連性が分かる。

実流プラントは、日本自転車振興会の補助（昭和62年度）を受けて当指導所に導入されたバルブ性能試験装置であり、この設置については過去の報告書で度々紹介されているため詳細は省略するが、主な仕様

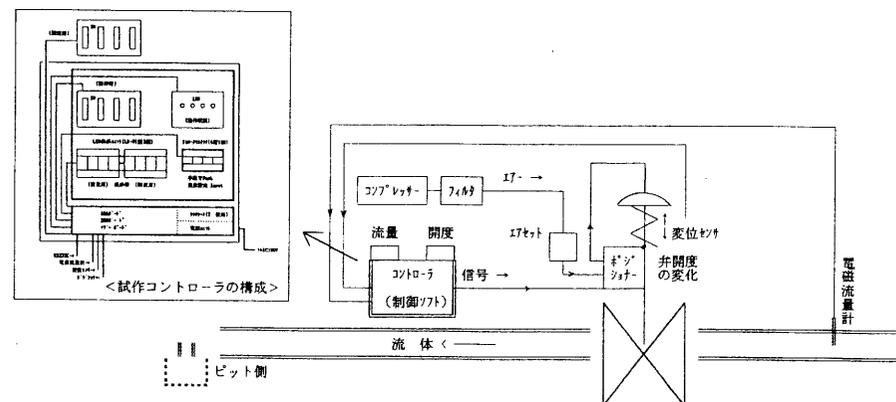


図1 制御システム

は次のとおりである。

* 主な仕様

・試験配管長さ	17.8 m
・水槽の有効容量	8 m ³
・最大流量	約 7 m ³
・最大流速	3.2 m/sec (配管径：200 A)
・最大圧力	2.2 kgf/cm ²
・計測用マイコン	YEWMAC-50V 3

2-2. マイコンの役割

図2はマイコンを搭載した自動制御弁のブロック図である。マイコンによりコンピュータ機能が付加されたことで、弁自らがセンサの出力を検出し、この信号を演算して、設定値に合った制御が自動的に行えるようになってきている。このようなバルブによって、弁固有の流体特性にマッチした制御が可能になると考えられることができる。

一般の調節弁では、通常、図のマイコンの部分調節部になっていて、これが弁の外部に設置されている。そして、弁はこの調節部から信号を受けて、与えられ信号に忠実に弁軸の位置をハード的に制御する仕組みになっている。

従って、ここで扱っている自動制御弁は、調節弁とマイコンが一体化した調節機能のあるバルブと言える。

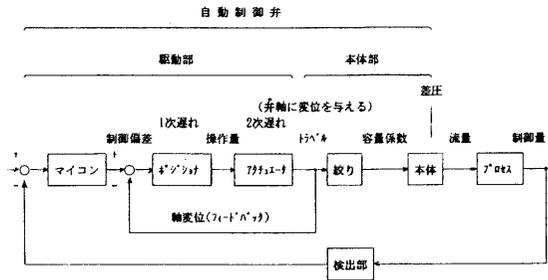


図2 ブロック図(マイコンの役割)

2-3. 制御ソフト

図3に制御の流れを示した。弁の上流側でポンプの出力状態が変化すると、これに伴って流量も変化するため、この時の流量を一定に維持できるように弁軸をコンピュータ制御する。定流量制御(設定流量→0.35m³/min)を目標としているが、ここで対象したバルブの場合、これまでに収集されたデータから判断して、流量変化が可能な範囲は最大0.7~0.1m³/minであるため、後日での確認実験を考慮し、この範囲での制御ができるようにプログラミングした。また、Cv値max.=56で最大上流圧については95kPaである。

なお、プログラムには図の制御フローからも理解できるとおり、次のような機能を持たせた。

(1). 流量設定値の読み・表示

目標流量データを読み込み、表示器へ表示できる。(上位4桁)

(2). 弁軸位置の検出・表示

弁軸の位置データを検出し、表示できる。

(3). 開度表示

(2)の位置データを開度換算させて表示

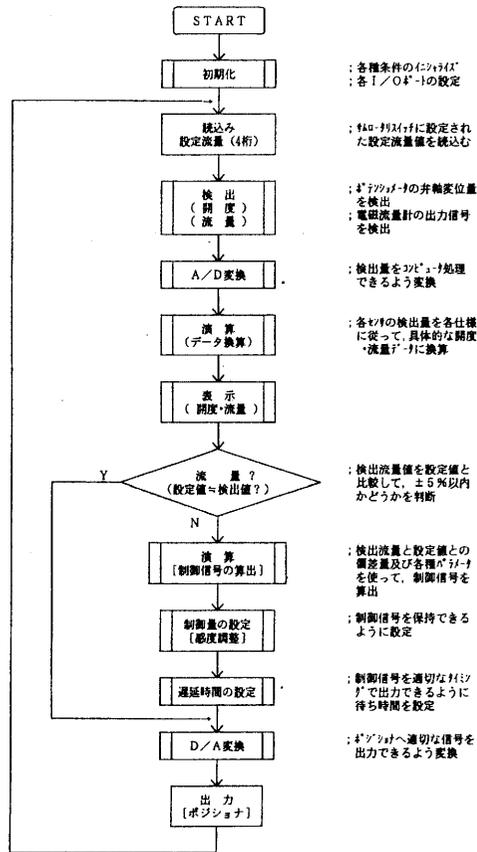


図3 制御フロー(MAIN)

できる。

(4). 流量値の検出・表示

流量データを検出し、表示できる。

(5). 制御信号の出力機能

(1)と(4)の流量データを比較し、制御信号を算出(PI演算)した後、むだ時間を施して出力できる。などである。

3. 制御プロセス

3-1. 流量の過渡特性

ソフトウェアによって流量をデジタル制御しようとする時、流量の過渡特性を事前に把握し、プログラム上での条件設定に十分反映できるようにする必要がある。ここで、弁全開時におけるポンプの吐出量を約0.6m³/minとなるように設定し、ポジションナへステップ信号を与えた時に得られるFig. 4~6の実験データで分かることを次に列記した。

(1). Fig. 4から、各ステップ信号に対する流量の応答特性は共通して、遅れ時間、立上がり傾向、整定時間などが同様な傾向である。

ただし、当然ながら出力レベルは異なっている。

(2). Fig. 5では、どの信号においても弁軸の立ち上がり傾向が同様なため、Fig. 4の出力傾向も同様であったことが理解できる。

この場合、弁の駆動部がダイヤフラム式(空気式)であるため、弁軸の動作にオーバーシュートを生じている。これは弁軸の動作量が小さい程著しいが、弁軸の整定時間は同程度である。

ポジションナへ各信号(3~5V)を付加した時、どれも信号が加わってから1sec後にポテンショメータが動作し、それぞれ同様な傾斜で1次的に出力が漸増して後、行き過ぎ現象を呈してから安定してい

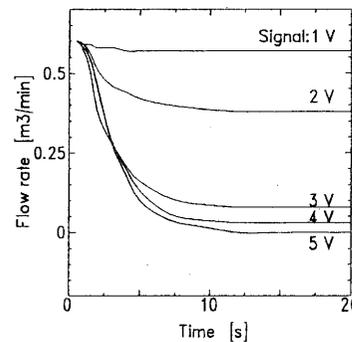


Fig.4 The transient responses of each flow

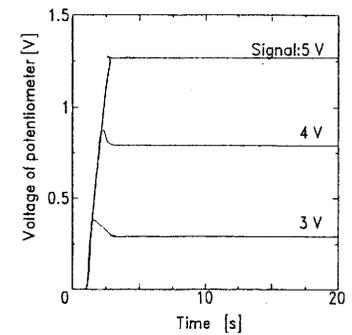


Fig.5 The transient responses of some signals

る。

(3). Fig 6は、ある特定の信号について、時間と弁軸及び流量の関係を同時に示したものである。弁軸と流量との応答は早い、これに比べて信号と弁軸は時間遅れが大きい。この点については、調節弁の特性に関する文献に記載があり、予想どおりの結果と言える。

流量変化はポテンシオメータの動作とほとんど同時期に変化を開始し、ポテンシオメータが3sec後には安定するが、流量は12secを経過して漸く安定することが分かる。

以上から、実際には3次以上の遅れであろうが、当実プラントの応答特性ではむだ時間を伴った最も単純な一次遅れの特性として扱っても大差ないだろうと考え、ソフトの適正化を行った。

3-2. 制御定数の設定

一例として、信号と流量の関係を示した特性について、記号を付したFig. 7で説明する。

まず、プロセス伝達関数は近似的に(3.2.1)式を仮定する。

$$G(s) = \frac{Ke^{-sL}}{Ts+1} \dots\dots\dots (3.2.1)$$

次に、PI定数の設定に際して、文献にZiegler-Nicholsの方法は計算が容易で実際的ということで広く用いられているとあるので、この方法を適用したパラメータを次式で決定した。

(1). 比例ゲイン
 $K_p = 0.9T / (KL) \dots\dots\dots (3.2.2)$

(2). 積分時間
 $T_i = 3.3L \dots\dots\dots (3.2.3)$

ただし、 $K=C/M$, M : 入力振幅

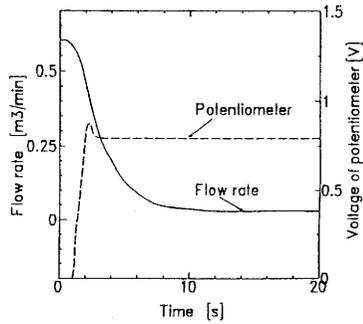


Fig.6 The difference between potentiometer's response and that of flow rate under the step signal of 4 V

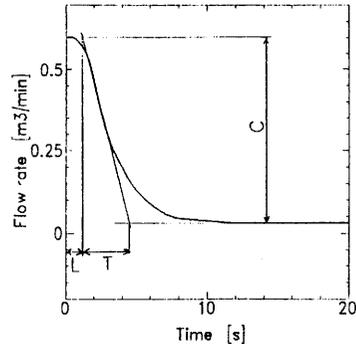


Fig.7 The transient response of flow rate

また、図3の制御フローでは制御信号が適切なタイミングで出力できるように待ち時間を設けているため、プログラムでの設定と実流プラントにおける実時間との関係を予め調べておく必要がある。これは、プログラム上だけの時間関係が把握できていても、適応されるプロセスによって実際の実行時間が違ってくるためであり、応答が遅いような特性では大きく影響してくる。図8は、プログラム上での待ち時間の設定数と実流プラントにおける実時間の関係を示したものである。N = 5 × 10⁴で約0.9sec., N = 1 × 10⁵では約1.9sec. 等の設定となることが分かる。

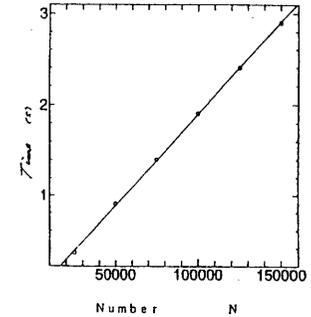


図8 プログラム上のむだ時間の設定数と実流プラントでの実時間の関係

4. ソフト開発と制御の適正化について

開発ソフトをコントローラに搭載し、その制御状況を調べたが、初めは実流プラントでうまく動作しなかった。その原因として、ソフトとハードの両面で考えられた。ソフト面では、プログラムにバグが認められなかったので、ソフト上のパラメータの設定値が適切であったかどうか。またハード面では、調節弁、コントローラ、センサ等のうち、調節弁の付属機器であるポジショナは過去に調節弁の性能を調べる実験をしていたので、調整が十分できていたかどうかである。

そこで、次の要領で適正化を行った。

(1). ポジショナの調整

ポジショナへ与えた信号と弁軸の変位が適切な関係となるようにポジショナの感度を調整し、調整用ボリュームが動かないようにロックした。

(2). パラメータの修正

一般に、PIDコントローラのチューニングはステップ応答法とジューラ・ニコルスの限界感度法が知られている。上記(1)に効果がなかったため、実流プラントで実験によって比例ゲインK (Ti = ∞, Td = 0)のみを少しずつ変化させてみるという限界感度法のような方法を試したが効果がなかった。そこで、ステップ応答法で求められるKp, Ti, Tdは一定値にしたままで次の作業を行った。

(3). 遅れ時間の調整

プログラム上でむだ時間を適当に設定すると、この設定値が小さい間は信号、変位および流量はハンチング現象を示した。しかし、ある程度以上大きくなると、このハンチングはなくなり減衰傾向を示すようになった。この調整は現場での作業であったので、非常に手間を要したが、これにより適正化が可能になった。

以上から、今回の制御ソフトにおける制御の適正化は、ステップ応答法とむだ時間の設定により行うことができた。

5. 実流プラントでの制御状況

5-1. 各設定流量における制御状況

表1に、各設定流量で制御した弁開度及び精度を示した。実験は0.1~0.6の6段階で設定したところ、

表1 各設定に対する制御状況 (実流プラント)

設定流量 Q_r m^3/min	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
弁の開度 L %	48	56	61	67	74	90
精度	流量値の変動 : $\pm 0.01 m^3/min$ 以内 弁開度の変動 : $\pm 1\%$ 以下					

流量設定値が $0.1 \sim 0.6 m^3/min$ で $\pm 0.01 m^3/min$ 以内で制御した。なお、この時の弁開度の変動は $\pm 1\%$ 以下であった。

また、図9には設定流量が途中で変わった場合の流量変化を示した。この時も表1に示すような弁開度精度で制御できた。

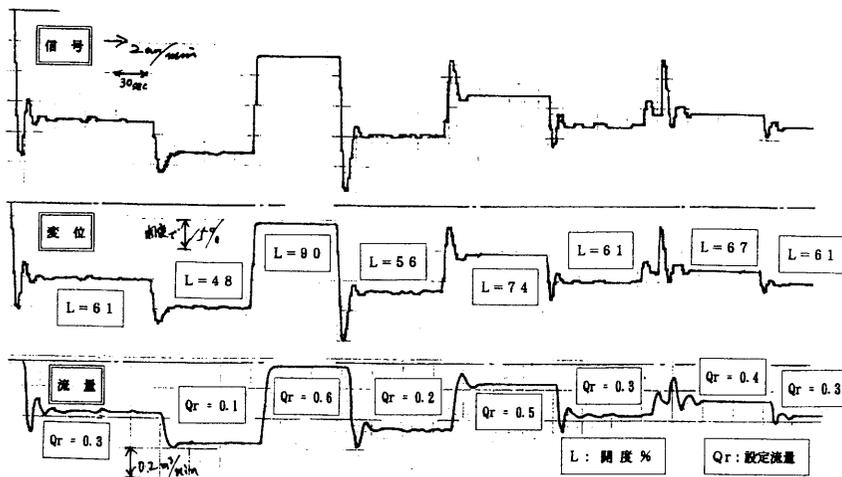


図9 設定流量が途中で変わった場合の流量変化 (実流実験)

5-2. 制御パラメータの影響

(1). 比例ゲイン

図10に比例定数Kの影響を示した。この値が大きくなると行き過ぎ量は大きくなるが、整定時間が早くなるということが直感的に理解できる。

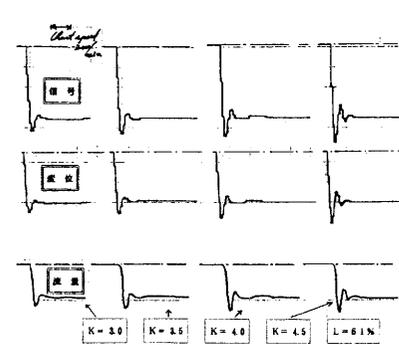


図10 比例定数Kの影響 (実流実験 $Q_r=0.3$)

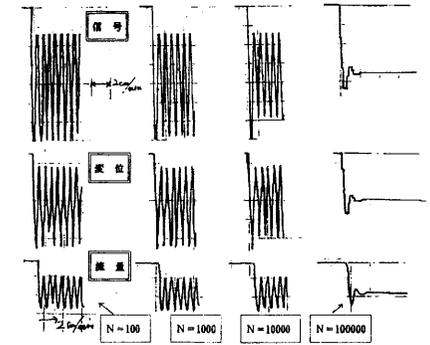


図11 遅れ時間の影響 (実流実験 $Q_r=0.3$)

(2). 遅れ時間の影響

図11と12は、プログラム上で設定したむだ時間と実流実験での流量特性の関係である。むだ時間の設定回数Nが大きい程、流量は早く安定する傾向にあり、 $N=1 \times 10^5$ を越えると大差のない結果であった。即ち、むだ時間は約2 sec. 以上あれば良いことが分かる。

5-3. ポンプ出力の変動に対する状況

図13に、ポンプの出力変化に対する制御状況を示した。この図から、ポンプの出力がアップすると弁は設定値を維持させるため、弁開度を小さくすることが分かる。また、出力がダウンした場合には逆のこと

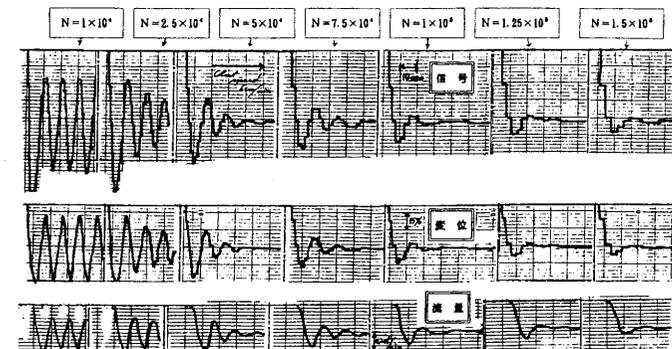


図12 むだ時間と流量特性の関係 (実流実験 $Q_r=0.3$)

が言える。ここでは、ポンプの出力を25~60Hzに変化させた場合、上流の負荷変化の初期はやや流量はゆらぎ現象を示すが、その後は表1の精度で流量制御したことが分かる。

従って、目標精度±5%以内の定流量制御が達成できたことになる。

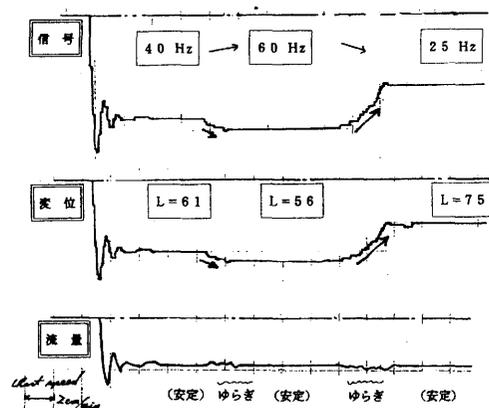


図13 ポンプ吐出量の変化に対する定流量制御の状況(実流実験 Or=0.3)

6. まとめ

自動制御弁の適正化を行ったところ、当指導所の実流プラントにおいて目標である定流量制御が可能になった。その結果をまとめると次のようになる。

(1). 設定流量0.1~0.6m³/minの場合、設定値に対して±1.7~10%。ただし、設定流量0.6m³/minの制御を定格とすれば、流量は±0.01m³/minで制御できたため、約±2% (1.7%)で制御できたと言える。

なお、この時の弁開度の変動はおよ±1%以下であった。

(2). ポンプの出力を25~60Hzに変化させた場合でも、上流の負荷変化の初期ではやや流量はゆらぎ現象を示すが、その後は上記の精度で流量を制御することができた。目標の精度±5%以内の定流量制御が達成できた。

(3). 今回の制御ソフトにおける制御の適正化は、ステップ応答法とむだ時間の設定により行うことができ、特に、プログラムで設定する出力待ちの時間は約2sec. 以上必要であることが分った。

7. 研究課題

これまで行なってきた自動制御弁の開発研究をそのまま他機種に適用しようとするれば、パラメータの調整などでかなりの時間を要する。また、各種流体や様々なプロセスでは、コンピュータを使用しなければ制御が難しい。ソフトの改良と制御法で工夫する必要がある。

なお、最近注目されているACサーボモータを使えば、小型・軽量かつ高性能な自動制御弁が期待でき

ると考えられるので、次年度は用途が拡大してきているバタフライ弁にモータを接続した場合の制御について検討する予定である。

(参考文献)

- 1) 竹中俊夫, 椎木亮: 調節弁の特性(1), バルブ技報, 第1巻第2号, 1986年7月
- 2) 松川・酒井: 自動制御弁の開発研究, 滋賀県立機械金属工業指導所業務報告書(平成2~3年度)
- 3) 酒井: 自動制御弁の開発研究, 滋賀県立機械金属工業指導所業務報告書(平成4~5年度)

新素材活用技術に関する研究 (流動層による球状黒鉛鑄鉄のオーステンパ熱処理 技術の開発1)

専門員兼試験研究係長 西内 廣志

1. 緒言

近年、産業の著しい進展に伴って産業用各装置や機械部品の使用条件がますます過酷（高速化、高熱化）になっており、従来の材料（鑄鉄等）では強度、衝撃に弱くこれらの諸条件を満足させることが出来ず耐久性のある材料が求められている。最近、注目されている素材の改質技術として球状黒鉛鑄鉄（FCD）のオーステンパ熱処理技術がある。球状黒鉛鑄鉄のオーステンパ熱処理は処理品をオーステンパ温度（820～950℃）からベイナイト恒温変態領域（250～450℃）に急冷し恒温保持によって基体組織をベイナイト処理に従来の引張強さ450N/mm²（FCD450）程度から900N/mm²（FCD900）程度にする技術である。この方法で球状黒鉛鑄鉄の優れた特性（延性）等を損なわず高強度・高靱性を得るためにはオーステンパ温度からベイナイト変態までの急冷却が必須条件である。処理条件によって機械的性質が著しく変化するため、靱性を保ちながら如何に機械的強度を向上させるかがポイントになる。以上のことを考慮して本研究では流動層熱処理炉を用い質量効果（肉厚変動）によるオーステンパ処理条件（冷却方法、恒温処理温度、時間等）の基本的検討を行った。

2. 流動層オーステンパ熱処理システム

従来、鋼および鑄鉄のオーステンパ熱処理はソルトバス（溶融塩浴炉）を中心に行われてきた。ソルトバスは熱伝導が最良で冷却速度が早くベイナイト変態を起こし易いという利点があるが、熱媒体として溶融塩（硝酸ナトリウム+硝酸カルシウム等）を使用するため、その対策が不備な場合、蒸気の発生に伴う作業環境の悪化、洗浄工程による公害の発生等が懸念される。ソルトバスに代わる無公害オーステンパ処理として流動層による方法がある。

本研究で使用した流動層オーステンパ熱処理システムの構成は流動層加熱炉、流動層恒温炉（恒温変態処理）、圧空供給装置、ワーク搬送装置からなりたっている。流動層加熱炉・恒温炉の基本構造は図1のとおりでレトルト（インコネル等）内部にアルミナを充填し下部よりガス分散板を通して流動化ガス（空気またはN₂ガス等）を吹き込むことによってアルミナは膨張・流動し、あたかも液体であるかのように挙動する。装置の主な仕様は表1のとおりである。

流動層炉の特徴は熱伝達性良好、炉内温度分布の均一、無公害・安全、種々の雰囲気処理等であるが、冷却速度がソルトバスより遅いという欠点がある。冷却速度をソルトバスに近づけるため、種々の流動化ガスによる冷却特性の検討を行った。

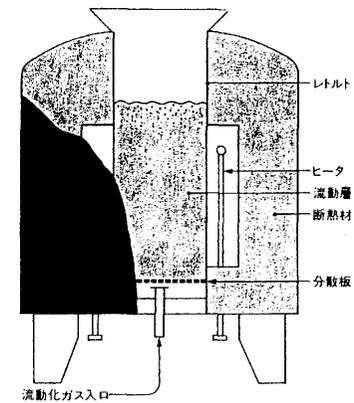


図1 流動層炉の基本構造

表1 流動層炉の仕様

(1) 流動層炉本体

項目	加熱炉	恒温炉
流動層寸法 (mm)	φ350×500H	φ350×500H
有効寸法 (mm)	φ280×400H	φ280×400H
最高使用温度 (℃)	1100	650
レトルト材質	インコネル601	SUS321
温度制御	SCR (PID連続)	ON-OFF (PID)
無負荷温度均一性	±3℃以内	±3℃以内
分散板	スクリータイプ	スクリータイプ

(2) 圧空供給装置 : ドライヤー搭載型パッケージベビコン (7.5 Kw)

(3) ワーク搬送装置 : 走行 一方向のみ3.5m、吊り上げ荷重 0.5t

2. 実験方法

2-1 供試材

高周波誘導溶解炉で鑄造したFCD450相当の鑄放し丸棒試験片（ $\phi 10 \times 300$ L、 $\phi 20 \times 300$ L、 $\phi 30 \times 300$ L）を使用した。供試材の化学成分を表2に、組織写真を写真1に示す。

質量効果による流動層炉の冷却特性を調べるため上記の試験片を $\phi 10$ 、 $\phi 15$ 、 $\phi 20$ 、 $\phi 30 \times 100$ Lに機械加工し底部の中心に1.6mmの穴を20mmあけシース熱電対K（シース外径1.6mm）が挿入出来るようにした。

表2 供試材の化学成分

C	Si	Mn	P	S	Mg
3.67	2.34	0.49	0.030	0.007	0.032

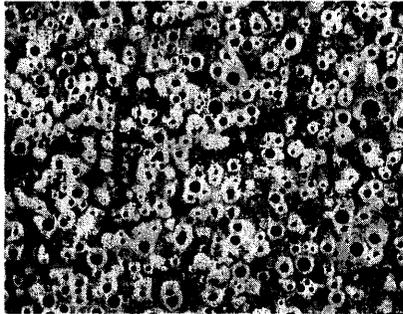


写真1 供試材の組織写真

2-2 流動層炉の冷却特性試験

質量効果、流動化ガス（空気、 N_2 、He）等による流動層炉（恒温炉）の冷却特性を調べるため、2-1の試験片をシース熱電対を挿入した状態で流動層加熱炉に投入し900℃1時間保持後、流動層恒温炉で冷却を行った。冷却処理条件は表3のとおりで試験片中心部の冷却曲線の測定についてはペンレコーダーを使用した。

表3 冷却処理条件

流動層恒温炉の温度	400℃
流動化ガスの種類 （冷却用）	空気、 N_2 、He
流動化ガスの流量	230 Nl/min

2-3 オーステンパ熱処理

オーステンパ熱処理条件は図2のとおりで2-1の各試験片を流動層加熱炉で900℃1時間加熱保持（オースナイト化処理）した後、流動層恒温炉にすみやかに試験片を移動し所定のオーステンパ温度域内（280～400℃）で空気、 N_2 、Heの急冷却（1～3 min）後、恒温処理を行った。処理後の試験片について硬さ測定および組織観察を行った。

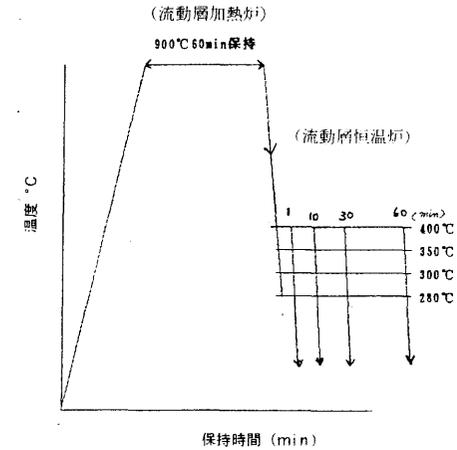


図2 オーステンパ処理条件

3. 実験結果および考察

3-1 流動層炉の冷却特性結果

オーステナイト化温度900℃1時間保持後の $\phi 10 \times 100$ L、 $\phi 15 \times 100$ Lの試験片の流動化ガスによる冷却曲線（900～400℃）を図3、図4に示す。 $\phi 10 \times 100$ Lの試験片について各種ガスによる冷却速度を調べた結果、Heガスの冷却速度は10℃/sec、 N_2 ガスの冷却速度は4.8℃/sec、空気による冷却速度は5.5℃/secでHeガスの冷却速度が最大であった。また $\phi 15 \times 100$ LでのHeガス冷却速度は8.3℃/sec、 N_2 ガス冷却速度は4℃/secであった。

次に質量効果（肉厚変動）によるHeガス冷却能について調べた結果を図5に示す。 $\phi 20 \times 100$ Lの冷却速度は4.5℃/sec、 $\phi 30 \times 100$ Lでは冷却速度が2.3℃/secで650℃付近で冷却曲線が変曲している。このことは冷却速度が緩やかなためオーステナイトからパーライト変態が生じたと考えられる。

Mo、Ni、Cu等の添加元素を含有しない非合金球状黒鉛鑄鉄をオーステンパ処理するには図6のCCT図に示すようにオーステナイト領域からベイナイト領域までの急速冷却が必要で、冷却速度が緩やかであ

ると冷却過程でパーライトNoseにひっかかり基地組織がパーライト化してしまう。以上の冷却試験結果から流動層恒温炉でのオーステンパ処理条件はHeガス冷却で肉厚がφ10~φ15までが可能であると考えられる。

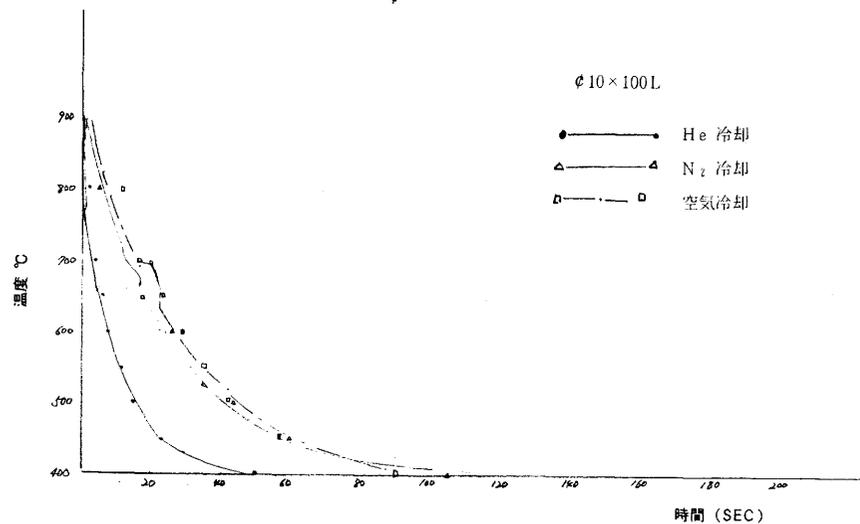


図3 流動化ガスによる中心部冷却曲線 (流動層恒温炉 400°C)

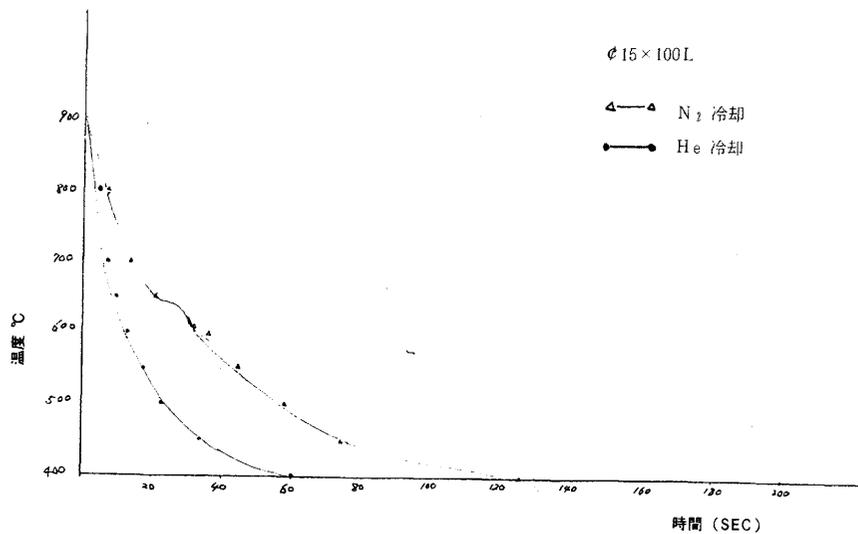


図4 流動化ガスによる中心部冷却曲線 (流動層恒温炉 400°C)

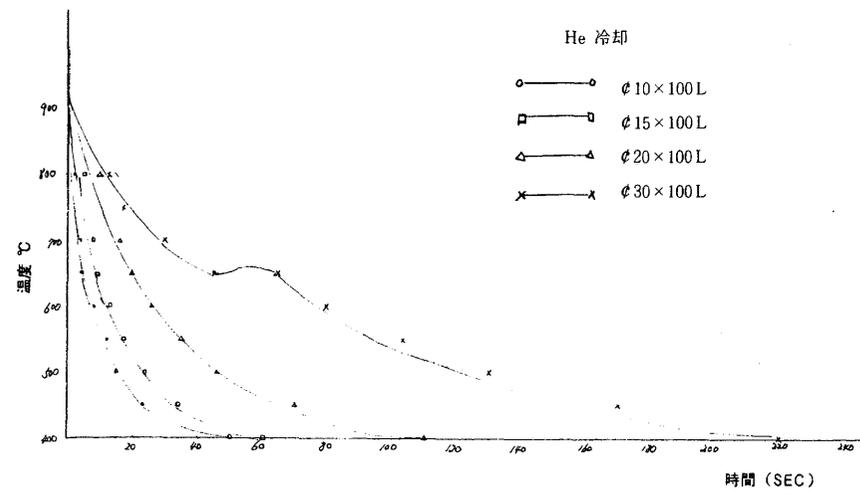


図5 質量効果による中心部冷却曲線 (流動層恒温炉 400°C He冷却)

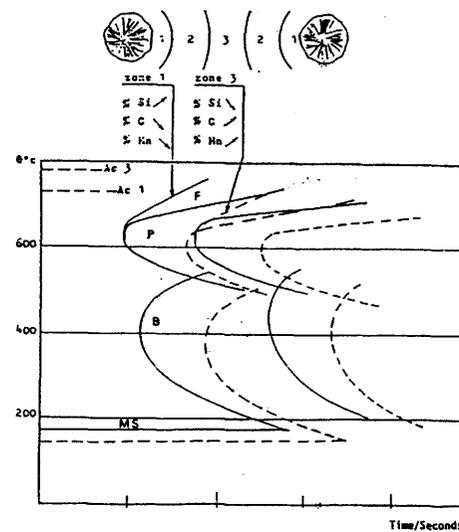


図6 CCT線図

3-2 オーステンパ処理温度による硬さおよび組織

φ15×100Lの試験片を用いて280~400℃の流動層恒温炉中で処理した試験片の硬さの変化を図7に示す。(処理条件: Heガス冷却(60sec)、恒温変態処理時間1時間後水冷) 処理後の硬さ試験はロックエル硬度計およびマイクロピッカース硬度計で測定を行った。図7から明らかなようにオーステンパ温度が上昇するにつれHRC硬さは漸次減少する。オーステンパ処理温度400℃でのHRC硬さは30、基地組織のHV(0.3)硬さは340であった。

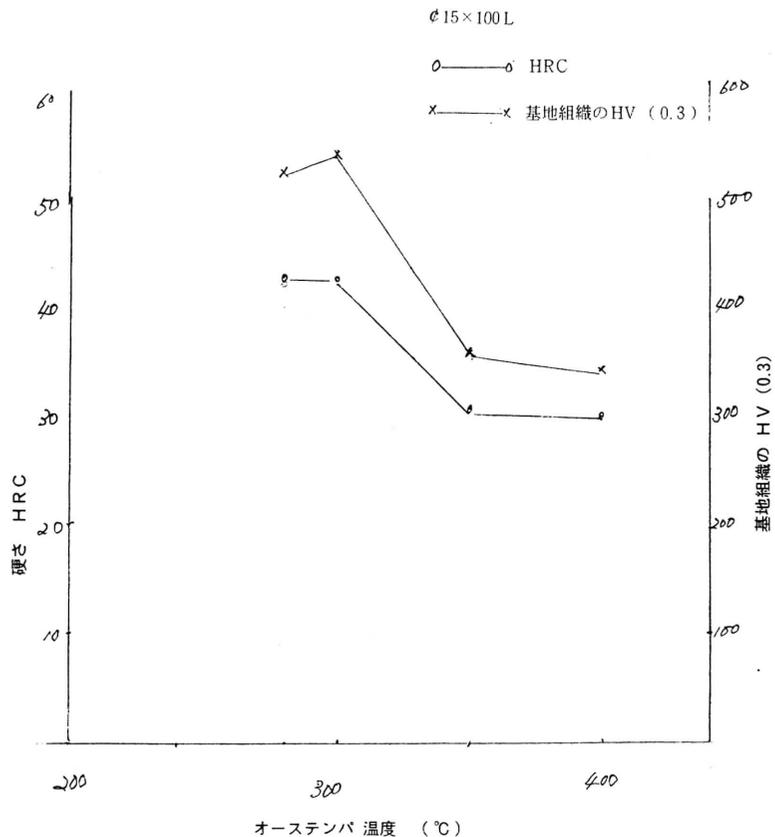


図7 オーステンパ処理温度によるADI(オーステンパ球状黒鉛鉄の硬さ)

次に280℃、300℃、350℃、400℃でオーステンパ処理(恒温変態処理)した試験片の組織を写真2に示す。280℃、300℃では基地組織が微細な針状フェライトからなる下部ベイナイト組織であり350℃、400℃では棒状フェライトからなる粗い羽毛状の上部ベイナイト組織である。

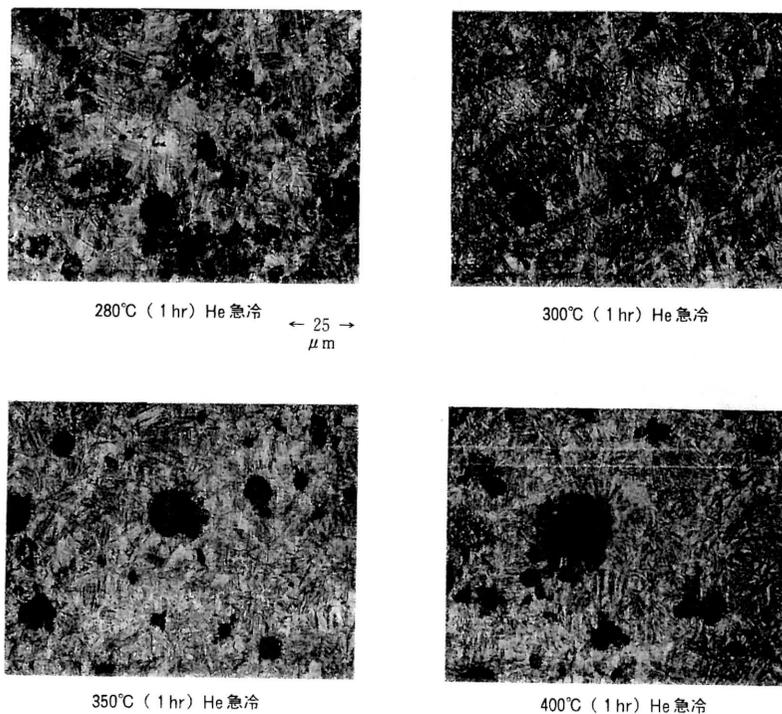


写真2 オーステンパ組織写真

3-3 オーステンパ処理時間による硬さおよび組織

オーステンパ処理時間(1~60min)による硬さおよび組織を図8、写真3に示す。(処理条件: φ15×100L試験片 He冷却 400℃恒温変態処理) 1min処理の硬さはHRC50で組織はマルテンサイト組織である。処理時間が10minを超えると硬さは概ね一定になりベイナイト組織になる。

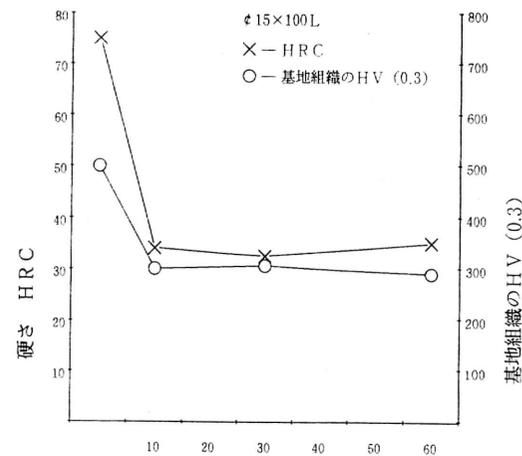


図8 400℃恒温処理時間による硬さの変化

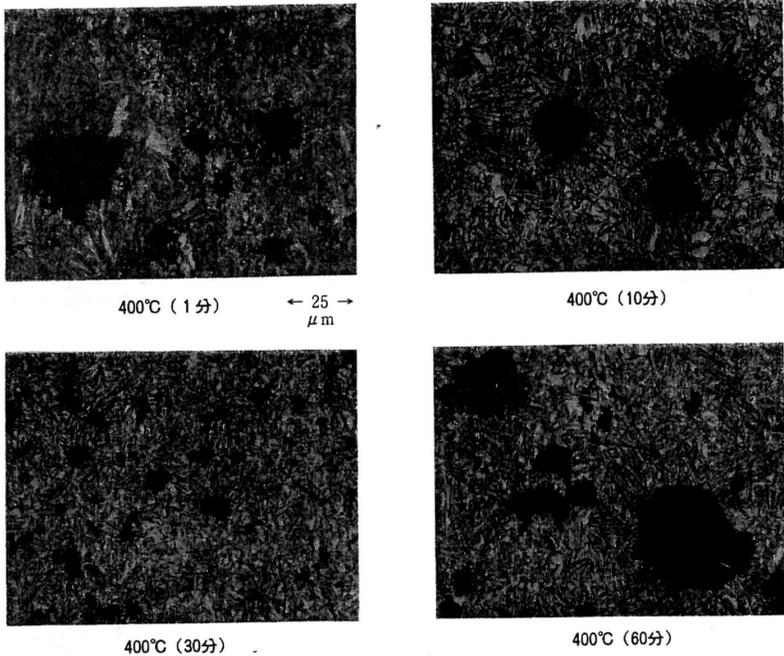


写真3 処理時間によるオーステンパ組織写真

N₂ガス、He冷却による組織試験の結果を写真4に示す。(処理条件：φ15×100L試験片 400°C恒温変態処理1時間) N₂ガスおよびHeガスでの冷却曲線は図4のとおりでN₂ガスではオーステナイト化温度900°Cから400°Cオーステンパ処理温度までの冷却時間が120secかかったため冷却過程中CCT曲線のパーライトNose (Ps) にひっかり組織が微細なパーライト組織になった。

一方Heガスによる冷却は400°C恒温変態までの時間は60sec以内でPs線にひっかからないため組織はベイナイト組織になる。

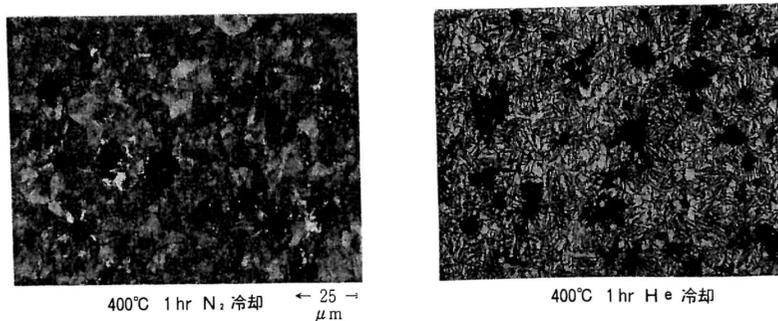


写真4 N₂冷却、He冷却によるオーステンパ組織写真

4. まとめ

以上の結果を要約すると次のとおりである。

- (1) 流動層炉での球状黒鉛鑄鉄のオーステンパ熱処理で最も重要な因子はオーステナイト化温度からベイナイト恒温変態域までの冷却速度である。
- (2) 流動層炉での冷却用ガスで冷却速度の速いガスはHeガスが最も速く次に空気、N₂ガスである。
- (3) Heガス冷却でオーステンパ熱処理が可能な非合金球状黒鉛鑄鉄の内厚はφ15までである。
- (4) オーステンパ温度が上昇するにつれて硬さは低下し棒状の上部ベイナイト組織になり低温でのオーステンパ温度では硬い針状の下部ベイナイト組織になる。
- (5) ベイナイト恒温変態域までの冷却が遅い場合パーライト組織になる。

謝 辞

本研究を遂行するにあたって御指導いただいた技術会議の時実先生(立命館大学教授)、種岡先生(カオスハイテク協同組合技術部長)並びに技術委員のみなさんに深謝します。

参考文献

- (1) 西内、所：新素材活用に関する研究1(材料に関する調査)平成5年度業務報告
- (2) 井川克也：球状黒鉛鑄鉄の基礎と応用 P71~76 丸善社
- (3) 栗花信介：流動層炉による球状黒鉛鑄鉄のオーステンパ処理 平成3年度福島工業試験場研究報告
- (4) 滝田光晴：鑄鉄の熱処理に関する最近の話題 熱処理技術協会誌 1987 No.5

「新素材活用技術に関する研究」 金属粉末冶金技術の開発 —放電プラズマを利用した焼結法によるAl-Si系材料の開発—

試験研究係 主任技師 所 敏夫

1. 緒言

産業の発展に伴い、装置および部品等の基盤である材料への要求は厳しくなり、より材料の高級化が求められている。また、材料開発の方法として粉末冶金法は、従来からの溶解鑄造成形法とは異なり、比較的历史が新しくまた様々な特徴もあり、成熟期にあると考えられる素形材産業において、今後も発展が期待される分野であると言われている。

また、我が滋賀県において、異種接合等をも含めた粉末冶金技術が今後県内で普及されると予想される新規分野であると考えられている¹⁾。このような状況のもと粉末冶金法を用いた材料開発は将来を見据えた技術開発であると予想される。

そこで、粉末冶金技術の開発研究を行い、手始めとして、軽量化・耐熱・耐摩耗性に優れたAl-Si系材料の開発を放電プラズマを利用した焼結法により行った。

よく言われているように、Al-Si合金を溶解鑄造法で作成した場合、Si量が増加すると(過共晶領域)、その組織は初晶Siが粗大かつ不規則に晶出し、鑄造性、切削性および機械的性質が悪く言われている²⁾。そのため、第3元素としてリン(P)、ナトリウム(Na)、ストロンチウム(Sr)、アンチモン(Sb)、カルシウム(Ca)および希土類元素(RE)等の添加^{3) 3) 4)}、また冷却速度の変更による初晶Siの微細化により⁵⁾、初晶Siの大きさは40~50 μm 程度まで微細化できると報告されている。

一方、粉末冶金法は任意の大きさの粉末を用いることができるため、焼結粒子サイズを微細化すれば、Si粒子を40~50 μm 以下にできると考えられる。

本研究の目的は、粉末冶金法のうち放電プラズマを利用した焼結法を用い、Al-Si系材料を製作し、その特性を評価することである。

2. 放電プラズマを利用した焼結法

放電プラズマを利用した焼結法は、加圧・通電加熱法の一つであり、焼結を促進するため放電プラズマを用いたホットプレスである。その概要は図1に示すように、加圧系、特殊電源および操作・制御系により構成されて、粉末を予め型(グラファイト等)に装入し圧縮後、電流をパルス状で流すことによる粉体相互の接触部に発生する放電プラズマと直接通電による加熱とを組み合わせ焼結する方法であり、成形と焼結が同一装置で可能となる。

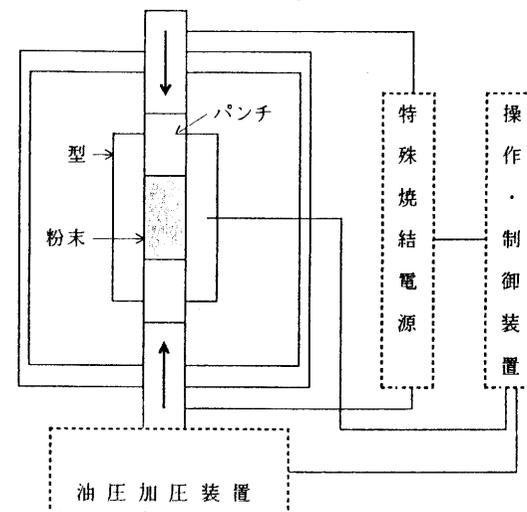


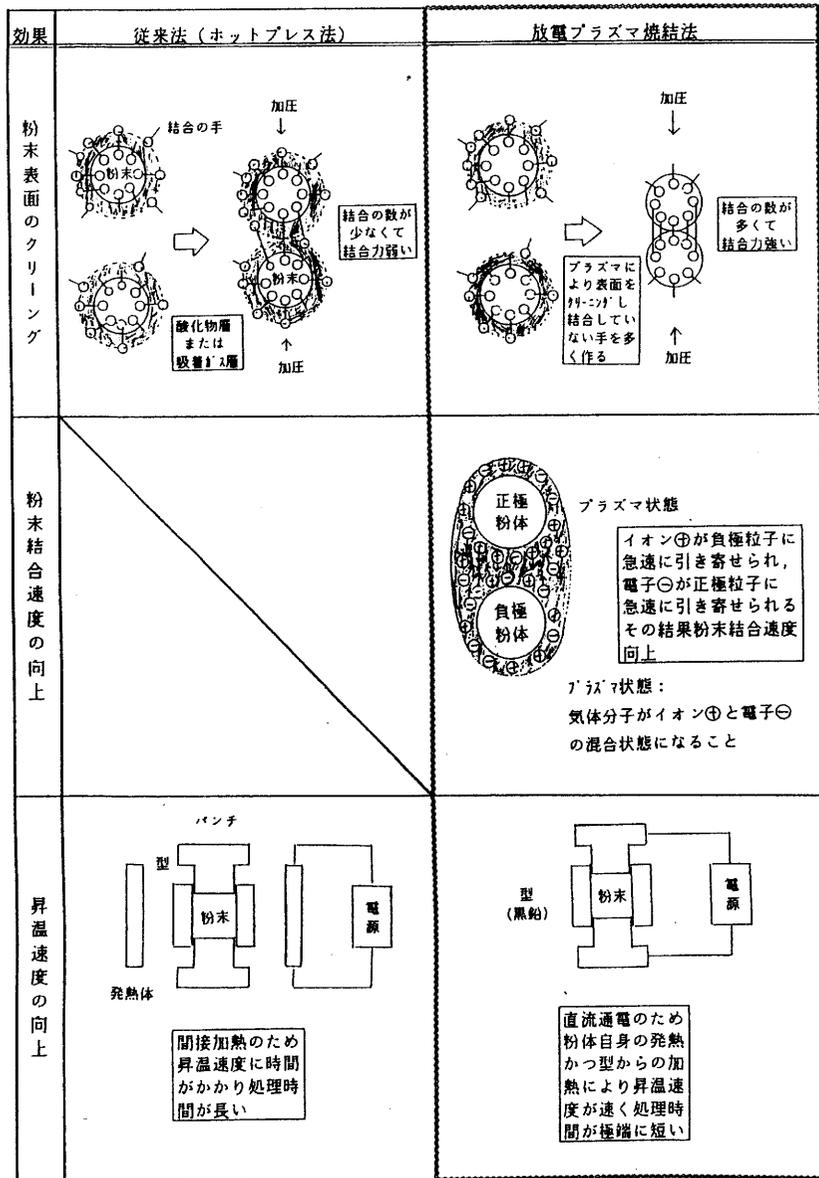
図1 放電プラズマを利用した焼結法の装置

その特徴はホットプレス法と比較して表1のように言われている。

- ① 粉体表面のクリーニング：粉体表面の酸化皮膜や吸着ガスなどの不純物蒸発による粉体表面の活性化
- ② 粉末結合速度の向上：プラズマ中のイオン・電子の移動が促進
- ③ 昇温速度の向上：外部からの伝熱加熱ではなく、直接通電により急速昇温が可能

その結果、低温焼結および短時間焼結が可能となり効率的に焼結が行え、また結晶粒の粗大化抑制が可能となり機械的にも強度がある材料が製作できると予想される。

表1 放電プラズマを利用した焼結法の特徴



3. 試験方法

(1) 供試粉末

試験に用いた原料粉末はAl粉, Si粉およびAl-Si系の急冷凝固粉である。それらの粉末の特性を表2~4に, また原料粉末のX線回折結果を図2~4に示す。

焼結に際し, Al粉およびSi粉はメノウ製乳鉢を用い所定所定配合量混合して供試粉末を作成し, またAl-Si系の急冷凝固粉はそのままで供試粉末とした。

表2 Al粉の特性

成分	成分 (wt%)	Mesh	Mesh (wt%)
	Al		99.78
Si	0.05	100~150	18.2
			57.3
Fe	0.15	150~200	22.6
Cu	tr	200~350	2.0
Mn	tr	-350	
Ti + V	0.01		
OtherMn	0.01		

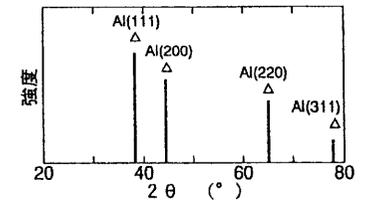


図2 Al粉末のX線回折

表3 Si粉の特性

見掛密度 (g/cm ³)	0.62
粒度 +63 μm (%)	0.4
+145 μm (%)	1.8
-45 μm (%)	97.8

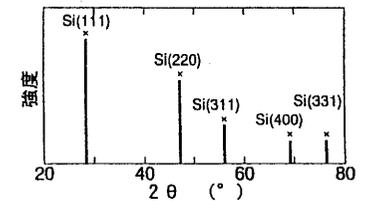


図3 Si粉末のX線回折

表4 Al-Si系急冷凝固粉の特性

成分 (%)	粒度	
	500 μm	297 μm
Al	R	R
Si	19.3	39.6
Cu	2.1	1.0
Mg	0.9	---
Others	<1.5	<1.5

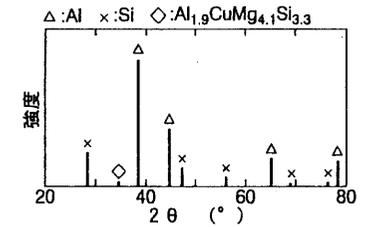


図4 急冷凝固粉末のX線回折 (粒度 500 μm)

(2) 放電プラズマを利用した焼結

焼結に用いた粉末は、Al粉とSi粉との混合粉およびAl-Si系の急冷凝固粉であり、供試粉末の充填は図5に示すグラファイト型（外径：60mm 内径：30mm 高さ：60mm）の中に相対密度（焼結体の密度/理論密度）が100%で焼結体の厚さが5mmになるように供試粉末を装入した。

焼結中の温度計測は、図5に示すように熱電対をグラファイト型に挿入して行い、この温度を焼結温度とした。

焼結は、表5に示すように主に供試粉末（AlとSiの配合比を変えた混合粉、急冷凝固粉）および加圧力を変化させた条件で行い、まず所定の荷重を行った後、放電工程を経て通電を行い、寸法が直径30mm厚さ約5mmの焼結体試料を作成した。

表5 Al-Si系焼結条件

粉	混合粉	Al-0, 10, 20, 30, 40, 50vol%Si
末	急冷凝固粉	Al-19.3, 19.6wt%系Si
放電条件	放電時間 (s)	30
	放電間隔 (ms)	30
	放電時の電圧 (V)	30
	放電時の電流 (A)	750
加圧力 (Kgf/cm ²)		283 600
焼結温度 (°C)		400~560
昇温時間 (min)		5~10
焼結時間 (min)		0~5
雰囲気		大気
焼結体寸法		径:30mm 厚さ:~5mm

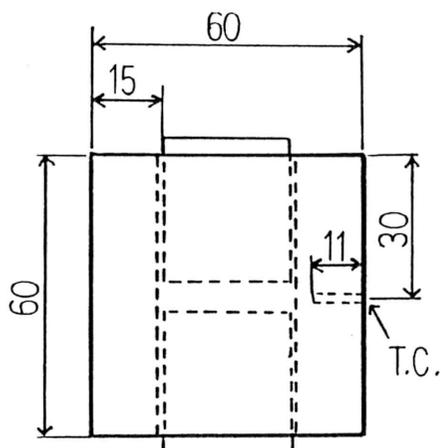


図5 焼結型の外観

(3) 評価方法

マクロ的な焼結状態を評価するために、焼結体の密度を測定し、ミクロ的評価のため金属顕微鏡およびEPMAを用いた組織観察を行った。

また、機械的特性を評価するため、マクロ的硬度測定のためロックウェル硬度（HRH）試験を、ミクロ的硬度測定のためマイクロピッカース硬度試験を行った。

そして、耐熱材料の一つの指標となる熱膨張を測定した。

4. 試験結果

(1) 原料粉末

① Al粉末

写真1のように、Al粉末は比較的丸みを帯びた形状であり、粉体表面には多少の凹凸が存在していた。



写真1 Al粉末の外観

② Si粉末

写真2のように、Si粉末は全体的に凝集して、比較的角張った形状であり、粉末表面にはSiの二次粒子と考えられる微細な粉末が付着していた。

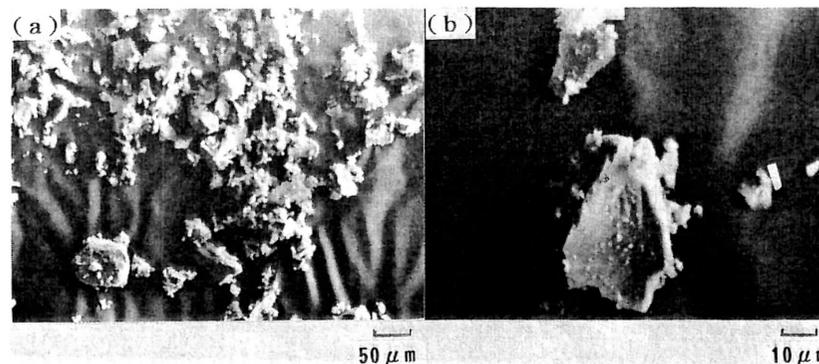


写真2 Si粉末の外観

③ Al-Si系急凝固粉末

写真3および4のように、Al-Si系急凝固粉末は比較的丸みを帯びていて、粉末表面には滑らかな凹凸が存在していた。また、写真3(c)および写真4(c)のように粉末断面観察から1個1個の粉末はAl層の中に初晶のSi粒が細かく分散(5μm程度)していた。

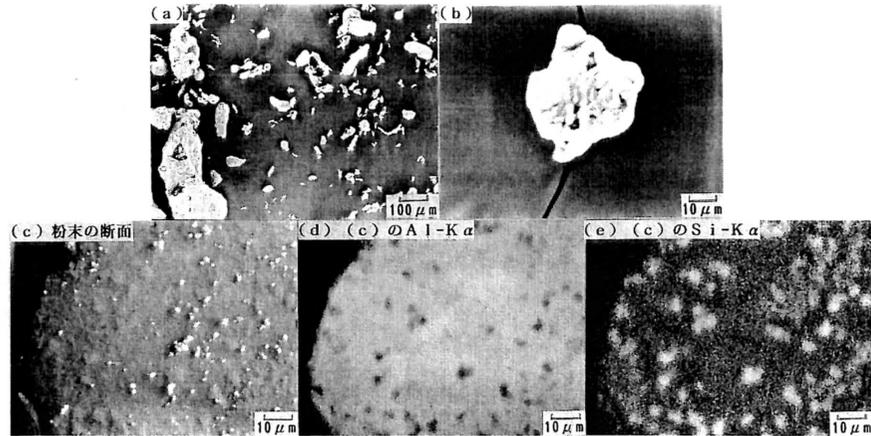


写真3 Al-19.3%Si系急凝固粉末の外観と粉末内部組織

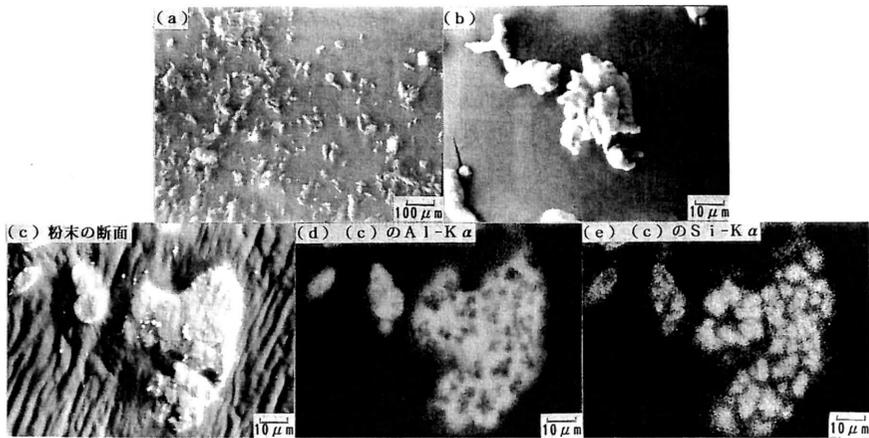


写真4 Al-39.6%Si系急凝固粉末の外観と粉末内部組織

(2) 焼結状態の評価結果

図6に放電プラズマ条件を一定にした場合のAl,Si混合粉の焼結体密度測定結果を示す。図6からSi量が増加すると相対密度は低下したため、Si量が増加すると焼結性が悪くなることがわかった。また加圧力を283Kgf/cm²(図6○印)から600Kgf/cm²(図6□印)へ増加させた場合、相対密度が増加し、Al-10vol%Siにおいてもほぼ理論密度の焼結体が得られた。

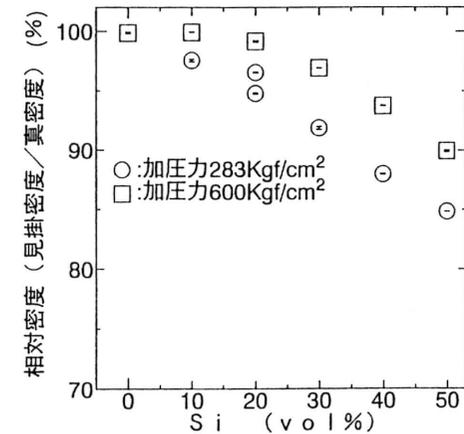


図6 Al-Si混合粉焼結体密度におよぼすSi量および加圧力の影響

写真5および6に各配合で混合した焼結体の組織を加圧力ごと(283, 600Kgf/cm²)に示す。組織観察から、加圧力283Kgf/cm²の場合、20vol%Siまでは焼結がかなり進行していて、30vol%Siにおいては多少焼結しているが、40vol%Si以上では焼結が進行していないことがわかった。また、加圧力600Kgf/cm²の場合、30vol%Siまでは焼結が進行しているが、50vol%においてほとんど焼結が進行していないことがわかった。

また、EPMA観察の結果、焼結が進行している部分は写真7に示すように数μmの拡散層があった。

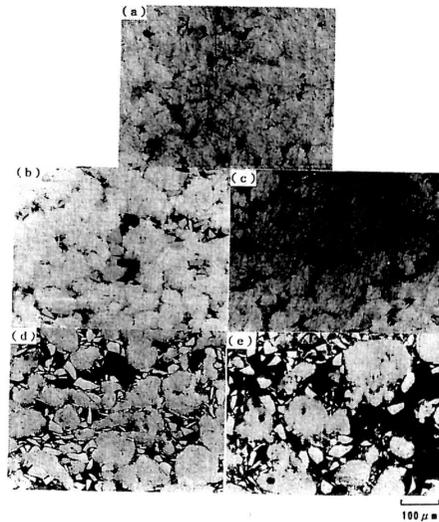


写真5 加圧力 283kgf/cm² における混合粉の焼結組織

- (a) Al-10vol%Si (b) Al-20vol%Si
 (c) Al-30vol%Si (d) Al-40vol%Si
 (e) Al-50vol%Si

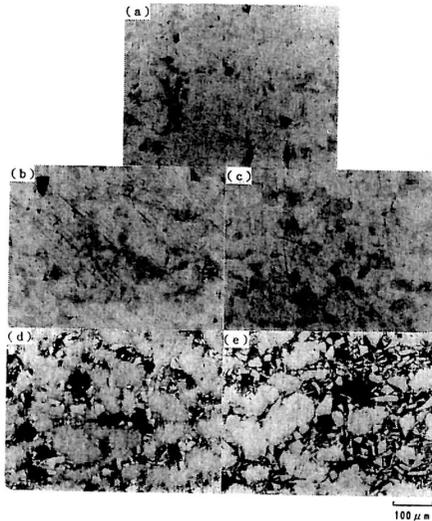


写真6 加圧力 600kgf/cm² における混合粉の焼結組織

- (a) Al-10vol%Si (b) Al-20vol%Si
 (c) Al-30vol%Si (d) Al-40vol%Si
 (e) Al-50vol%Si

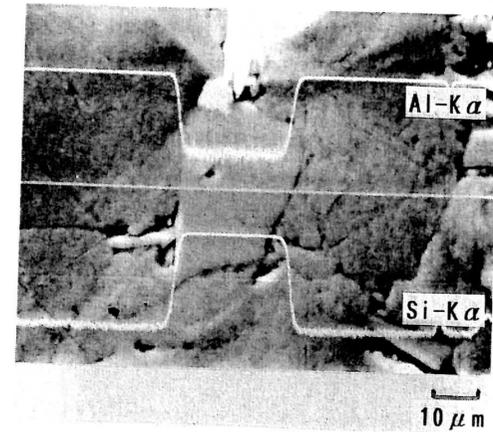


写真7 混合粉の焼結状況

図7に放電プラズマ条件および加圧力を一定にした場合のAl,Si混合粉およびAl-Si系急凝固粉の焼結体密度測定結果を示す。同一温度で焼結した場合、Al-Si系急凝固粉焼結体の相対密度は、短時間焼結で混合粉のそれに比べ、同等であり(図7□印)、また低温焼結(〜525°C→410°C)でも、混合粉のそれと概ね同等であった(図7■、▲印)。

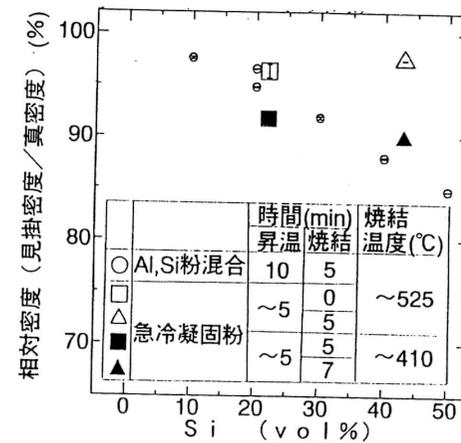


図7 Al-Si 焼結体密度におよぼす粉末性状の影響

写真8に急凝固粉の焼結体の組織を示す。低温焼結(～410℃)においても小穴は多存在するが粉体の結合は良好であり焼結が起こっている(写真8(a))、高温焼結(～525℃)においてはほぼ緻密体であった。(写真8(b))。また、Si量が多い場合でも微細なSiが均一に分散した緻密体に近い組織であった(写真6(c))。

したがって、急凝固粉は混合粉に比べ焼結され易い粉末であることがわかった。

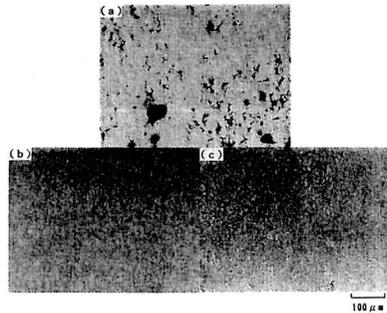


写真8 加圧力283kgf/cm²における急凝固粉末の焼結組織
 (a) Al-19.3%Si系 焼結温度 ～410℃
 (b) Al-19.3%Si系 焼結温度 ～525℃
 (c) Al-39.6%Si系 焼結温度 ～525℃

(3) 機械的特性の評価結果

はじめに、マクロ的な硬度を調査するため、焼結体のロックウェル硬さ(HRH)を測定した。図8に放電プラズマ条件を一定にした場合の各種焼結体のロックウェル硬さ(HRH)を示す。加圧力283kgf/cm²混合粉焼結体のHRHは、Si量が20vol%までは増加し、30vol%でほぼ飽和し、40vol%Siでは低下し、50vol%では測定時、焼結体に亀裂が生じ測定不能であった。また、加圧力600kgf/cm²混合粉焼結体のHRHはSi量と共に増加するが、40vol%程度で飽和している。

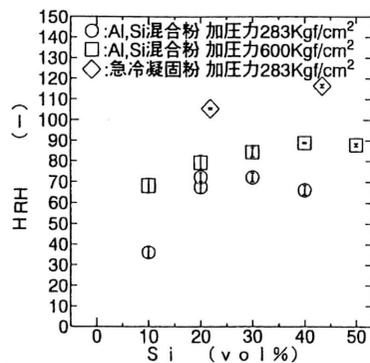


図8 Al-Si焼結体硬さにおよぼすSi量、加圧力および粉末性状の影響

次に、ミクロ的な硬度を調査するため、AlおよびSi組織のHVを測定した。その結果を図9および図10に示す。Al組織のHVは30～35程度であり、Si量が増加すると若干ではあるがHVが減少した。また、Si組織のHVはAl層より非常に硬く700～900程度であり、Si量が増加するとHVが減少した。

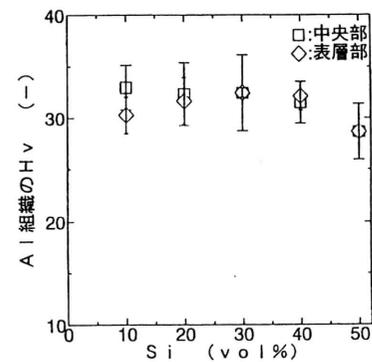


図9 Al-Si混合粉焼結体Al組織の硬度

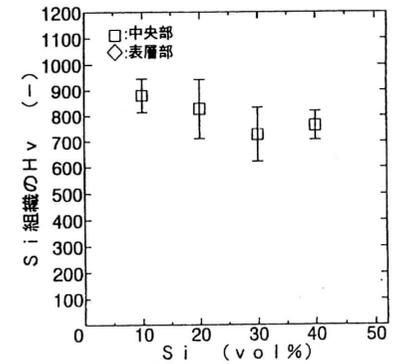


図10 Al-Si混合粉焼結体Si組織の硬度

よく知られているように、Alは軟らかく延性のある材料であり、Siは硬く延性のない材料であり、本来粉体の分散性および焼結性が良好であるならばSi量が増加するとマクロな硬さは増加すると予想される。しかし、Si量が増加すると焼結性が悪くなり多孔質化したため(写真5,6)、ミクロ的には硬度が低下した。このことにより、粉体の分散性および焼結性が良好な場合には、Si量が増加すると共にマクロ的硬度は増大し(写真5(a)(b)、写真6(a)～(c))、それ以上Si量が増加すると硬化粒子は増えるが分散性および焼結性が次第に悪くなりマクロ的硬度が停滞し(写真5(d)、写真6(d)(e))、最終的にはSi量が増してもほとんど焼結が進行していないため、硬度が低下する(写真5(e))と考えられる。

一方、図8に示すように同一条件の混合粉に比べ、急凝固粉のHRHは増加した(図8◇印)。この理由として、急凝固粉末はAl層の中に微細なSi粒子が分散した粉末であり(写真3(c)写真4(c))、焼結時には個々の粉末は主にAl層が接触し反応すると考えられるため、乳鉢で混合したAl,Si混合粉の焼結体より粒子の分散性および焼結性が良好であると考えられる(写真8)。そのため、同一条件の混合粉より急凝固粉の焼結体はマクロ的な硬度であるHRHが増大したものと推察できる。また、Si量が増加しても焼結性が良好である急凝固粉の焼結体は、硬いSi粒子が多いほどHRHが増大した。

(4) 熱膨張測定結果

図11にAl-Si系の線膨張係数測定の結果を示す。Si量が増加すると線膨張係数は混合粉および急凝固粉の焼結体とも同程度に低下し、20vol%Si程度では線膨張係数は、Al焼結体のそれに比べ3/4に低下し、40vol%Si程度では3/5に低下し鋼および铸铁レベルの低膨張となった。

耐熱材料は温度変化による体積変化起因の割れを抑制する必要がある、線膨張係数の小さい材料が望まれる。また、接合を考えた場合、接合材両者の熱膨張を同等にすることが必要であり、線膨張係数をコントロールできる材料が望まれる。

したがって、本焼結法で作成されたAl-Si系材料は、溶製されたそれと同様に軽量・耐熱材料への適応が可能であり、また鋼等との接合材となる可能性があると考えられる。

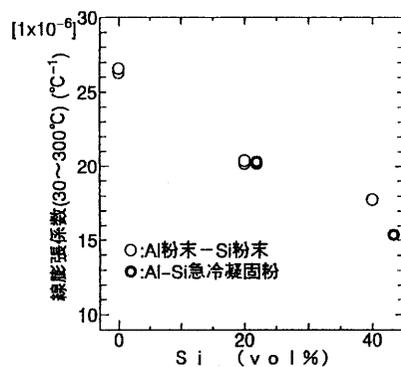


図11 Al-Si系の線膨張係数

焼結性が悪くなり硬度が低下したものと考えられる。また、加圧力が大きいほど硬度が増加した。

④ 急凝固粉の焼結体は混合粉のそれよりも硬く、Si量が多くなると硬度が増加した。

⑤ Al-Si系焼結体の線膨張係数は、Si量が増加すると低下し、混合粉および急凝固粉の焼結体とも同程度の値であり、40vol%Si程度で約 17×10^{-6} となった。

[参考文献]

- 1) 西内廣志, 所敏夫: 滋賀県立機械金属工業指導所業務報告(平成5年度)(1994) 115
- 2) 例えば 日本金属学会: 非鉄材料(講座・現在の金属学 材料編5)(1987)
- 3) 安達充: 軽金属34(1984) 361
- 4) 小錦利憲, 堀江皓, 平塚真人, 千田昭夫: 鋳物668(1994) 803
- 5) 宋基敬, 朴雪鍾, 中江秀雄: 鋳物66(1994) 822

[謝辞]

本研究は通商産業省工業技術院名古屋工業技術研究所において地域技術指導研修として実施させて頂きました内容であり、研究の遂行に際して終始懇切なご指導を頂きました名古屋工業技術研究所の加藤清隆主任研究官および松本章宏通商産業技官に厚く感謝申し上げます。

また、本稿をまとめるにあたり、懇切なご指導を頂きました当技術会議分科会委員である立命館大学時實正治教授、カオス・ハイテク協同組合種岡一男氏、福田金属箔工業(株)稲葉恒太氏および(株)オーケーエム竹内芳良氏、に厚く感謝申し上げます。

5. 結論

新規性のある放電プラズマを利用した焼結法を用い、AlおよびSiの混合粉末ならびにAl-Si系急凝固粉末を種々の条件で焼結し、焼結体の評価を行った。

- ① AlおよびSi混合粉末の焼結体において、同一加圧力の条件ではSi量が増加するに従い、相対密度が低下し、焼結性が悪くなった。また加圧力を増加させると低加圧に比べ焼結性はよくなった。
- ② Al-Si系急凝固粉末の焼結体は、AlおよびSi混合粉末の焼結体に比べ相対密度が同等以上であり、焼結性が良好であった。
- ③ 混合粉の焼結体において、Si量が増加すると硬度が増加したが、ある程度Si量が増加すると硬度は低下した。これは焼結性が良好な場合は硬質粒子(Si)が多いほど硬度は高くなるが、Si量が増加していくと

CAD/CAMシステムによる バルブ加工の合理化、省力化研究(4)

指導係 係長 樋口 英司

1. はじめに

生産性の向上を図る手段として、CAD/CAMシステムを用いたバルブ加工の合理化、省力化研究を4年継続して実施してまいりましたが、今年度はバルブ加工用データ・ベースの改良・作成と加工プログラムの改良およびアリ溝加工用ツールの剛性強化を図りながら加工時間の短縮について検討しましたので、その結果を報告します。

2. バルブ加工の切削に関する実態調査

バルブ企業の加工実態をつかむとともに加工データ・ベースの充実・強化を図る目的から産地のバルブ関連企業21社を対象にアンケート調査を実施しました。

2-1. 調査項目

- ① 水道用・産業用・船用仕切弁弁箱の加工口径（主体は口径200mmまで）
- ② 加工専用治具の使用状況
- ③ 加工機械と加工口径
- ④ 加工機械とツール
- ⑤ 加工条件と加工口径（切り込み量・回転数切削速度）
- ⑥ 一個当りの実加工時間

上記項目の③から⑥については、加工箇所（フランジ面・シート面・アリ溝・ボルト穴）ごとに同じ設問をしている。

⑦ 弁箱全加工の実加工時間

2-2. 調査結果と考察

調査企業21社の中で回答企業14社、回収率は67%です。

回答していただけなかった企業の中には、調査対象口径のバルブを全て外注している企業および対象バルブ以外のバルブ製造を行っている企業が4社ありました。

2-2-1. 調査結果

- ① 主に加工されている仕切弁弁箱の口径
口径125mm～400mmを自社加工されている企業が86%と多く、小口径の50・75・100mmおよび大口径の450mm以上は外注先やそれぞれ得意とされる企業で加工しているところが多い。
- ② 加工専用取り付け治具の使用
取り付け治具が弁箱の芯出し用治具と兼ねている企業が70%以上と治具の利用度は高い。

③ フランジの三面加工

③-1. 加工機械

全ての口径において三面加工専用機を用いた加工がトップで続いて汎用旋盤の順になっている。

③-2. ツール

使用されているツールはロウ付バイト続いてスローアウェイバイトの順でマシニングセンタでは正面フライスが主になっている。

使用されている正面フライスのサイズは有効径63mm、刃数4枚がバルブの口径150mmから350mmの間で使用されているだけで顕著に使用されているサイズはない。

③-3. 切り込み量

荒加工と仕上げ加工のセットでは、切り込み量2mmと0.5mmおよび3mmと0.5mmの組み合わせがそれぞれ全体の86%を占めている。

③-4. 回転数

荒加工・仕上げ加工とも200rpmが主で、フライスの有効径から切削速度を計算すると約40m/minになり、一般的な加工条件と比較すれば切削速度は遅い。

③-5. 切削速度

主な切削速度は100～130m/minが一番多く標準的な切削条件と合致した結果となっている。

④ シート面の加工

④-1. 加工機械

シート面の加工については汎用旋盤による加工がトップで続いて専用機の順になっている。

ツールと切り込み量については③項の種類と順位とも同じく回答されている。

④-2. 回転数

100～150rpmの回答が多いが、その中でも100rpmがほとんどと推測できる。口径75mmの水道用仕切弁で径85mmのシート面を加工するとして切削速度は約35m/minとなり一般的な値よりも遅い。

一般的には铸铁で90m/min程度である。

⑤ アリ溝加工

⑤-1. 加工機械

汎用旋盤、専用機の順でほとんどの企業がこれらの機械に代表される。

⑤-2. ツール

ロウ付けバイトが主で続いて専用ツールが用いられている。専用ツールはマシニングセンタおよびNC中グリ盤で使用されている。

⑤-3. 回転数と切削速度

100rpmが一番多く、切削速度の回答値とマッチしない。切削速度では80m/minがトップで平均的な値である。

⑥ ボルト穴の加工

⑥-1. 加工機械

ラジアルボール盤が一番多く続いて多軸ボール盤、専用機の順になっている。

⑥-2. ツール

ほとんどがソリッドドリルでコーティングドリルの使用は極く少ない。

⑥-3. 回転数

主は300rpm続いて200rpmの順である。使用するドリル径を19mmとして切削速度を計算すると300rpmで約18m/minとなり一般値より遅い。

一般値で鋳鉄の場合、30m/min程度が普通である。

2-2-2. 考察

調査結果から推測できることは、いずれの設問回答とも各回答との関連性がほとんどない。さらに一般的な加工条件のデータと比較しても全体的に設定値が低いことがわかる。

このことから判断して弁箱全加工の実加工時間データは三面加工機+アリ溝加工専用機および三面加工機+汎用旋盤の組合せであっても疑問と言わざるを得ない。

結果的に判断して横型マシニングセンタによる実加工時間がマシニングセンタ以外の他の加工機械1台および2台を使用されていると考えれば一番妥当なデータと云える。

マシニングセンタの集計結果を表1に示す。

表1 マシニングセンタの実加工時間

横型マシニングセンタ	
実加工時間(分/個)	口径(mm)
90	150
105	200
150	250
180	300
240	350

3. 加工データ・ベースの改良、作成

前項の調査結果の中で本研究のデータとして活用できるものがあればと期待を持っていましたが残念ながら参考になるデータは皆無に等しい。

この調査結果の中には企業間の色々な思いが絡み合っていると考えられる。

したがって加工データ・ベースの作成については当所の手持ちデータや市販されている切削データおよび工具メーカー等のデータを参考にバルブ加工に必要なと考えられるデータをCAMのデータ・ベースに附加した。

現在の工具データ登録のファイル名および登録数は表2のとおりです。

表2 工具データ登録

ファイル名選択

ファイル名	コメント
新規登録	
TOOLDATA	
S45C	材質 軟鋼
FC200	材質 FC 2 0 0
SCS13	材質 SCS 1 3
FC300	材質 FC 3 0 0
FCD450	材質 FCD 4 5 0
S55C	材質 中鋼
SK	材質 中硬鋼
SKD	材質 ダイス鋼
SKH	材質 硬鋼
SUS	材質 マルテンサイト系
SUS304	材質 オーステナイト系

ファイル: SUS 材質 マルテンサイト系

工具タイプ選択

NO	タイプ	名称	登録数	総登録数 251
1	FM01	フェースミル TIN	5	
2	FM02	フェースミル P10	12	
3	FM03	フェースミル P20	12	
4	CD01	センタ	2	
5	DL01	ドリル	39	
6	DM01	座グリ	12	
7	BR01	荒中グリ	26	
8	ML01	エンドミル TIN	0	
9	ML05	エンドミル K20	0	
10	ML06	エンドミル P20	24	
11	MB01	荒ボールミル	0	
12	MR01	荒Rミル	0	
13	BR02	中中グリ	26	
14	ML02	中エンドミル	13	
15	MB02	中ボールミル	0	
16	MR02	中Rミル	0	
17	BR03	仕中グリ	26	
18	ML03	仕エンドミル	13	
19	MB03	仕ボールミル	0	
20	MR03	仕Rミル	0	
21	ML04	荒エンドミル	0	
22	CF01	面取り	2	
23	RM01	リーマ	5	
24	TP01	ミリタップ	34	
25	TP02	並タップ	0	
26	TP03	細目タップ	0	
27	UB01	裏座グリ	0	
28	UM01	裏ミル	0	

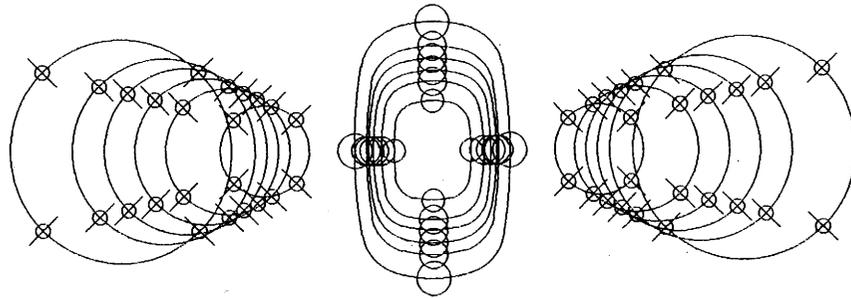
4. CAMシステムのカスタム化の検討

バルブのように形状が同じで口径の違いによって各部の寸法が定期的に変る製品については、その寸法が変化する部分をカスタマイズ化することによって図形データの輸入が大巾に削減される。

このことから配管側の丸フランジ左右両側と上部小判形フランジのボルト穴位置とピッチ円の図形データ作成用マクロソフトをCAM導入メーカーに依頼して作成しました。

作成したBEN MCRによって描画したものを図1に示す。

図1 BEN MCR



今後はBEN MCRを参考に弁座シール面やアリ溝加工部分の図形データ作成用マクロソフトの作成にチャレンジをしたいと思っています。

5. アリ溝加工用ツールの剛性強化と試作改良

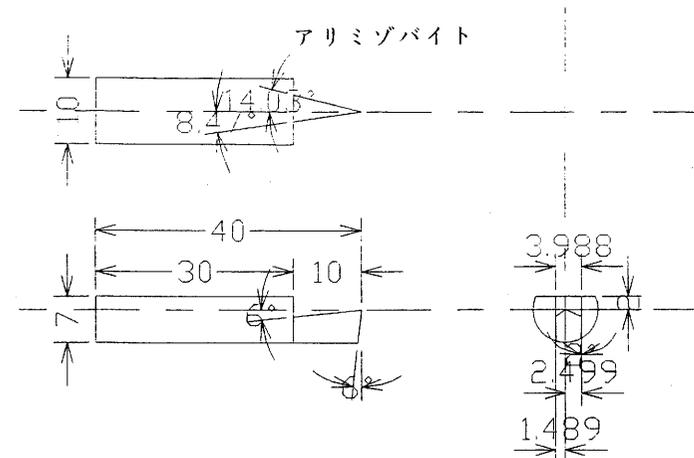
去年度から課題となっている部分で今年度重点をおいて進めたところです。



写真1 ロウ付けバイト

当初、アリ溝加工用ツールとして写真1に示す超硬チップ(G2)ロウ付けバイトを使用して試削を行いました。バイトが小さくチップの厚みが厚いためシャンクの剛性が弱くすぐに折損するネックがありました。そこでシャンク剛性を上げる目的から工具メーカーとも相談してシャンクを含めてツール全体に超硬を使用、刃先部分にアルミナコーティングをした図2のツールを試作して試削を重ねましたが期待した効果を得ることはできなかった。

図2 コーティングバイト



5-1. 原因

アリ溝加工用ツールが折損する原因をつかんで効果的な対策を講ずる検討を行った。

5-1-1. フェーシングの時間測定

オートマチック・フェーシングヘッドを用いたフェーシング加工(アリ溝部)のフェーシング時間をバイト種動量3.64mm(実移動寸法)で測定した。

フェーシングを行う場合、ヘッドの切削時間(移動時間)はヘッドの一回転の送り量によって移動時間を計算で求めることができる。

$$\text{移動時間} = \frac{\text{スライド移動量} + \text{主軸一回転当りの送り量}}{\text{一秒間の回転数}}$$

上式を用いて移動時間を計算すると

$$\frac{3.64\text{mm} + 0.03\text{mm}}{80\text{rpm} \div 60} = 91.02\text{秒}$$

$$\approx 1\text{分}31\text{秒} \quad \text{①}$$

フェーシングヘッドを空運転でスライド移動量3.64mmをストップウォッチで時間測定した結果は下記のとおりで計算時間との差は大きい。

時間測定に使用したプログラムを附記しておきます。

切削時間	
2' 03" 73	
2' 08" 70	
2' 06" 39	
平均	2' 06" 61 ②

時間測定用プログラム (MDI)

S60 M04 G04 P2000

M05

S80 M03

M05

) 切削

S80 M03

M05

) 早戻り

①と②の時間を比較すればその差は歴然です。

早戻り時間についても同様な方法で比較しますと次のとおりです。

$$\text{早戻り時間} = \frac{\text{スライド移動量} \div \text{一回転当りの早戻り量}}{\text{一秒間の回転数}}$$

$$\frac{3.64\text{mm} \div 0.48\text{mm}}{80\text{rpm} \div 60} = 5.69\text{秒} \quad \text{③}$$

実時間の測定結果

早戻り時間	
8" 09	
7" 79	
7" 88	
平均	7" 59 ④

5-1-2. Z方向の送り量と実移動時間

アリ溝を45度方向に入れるとすればフェーシングのスライド移動量と同じ移動量だけZ方向に移動させればよいことになり、しかもフェーシング切削および早戻り時間とZ方向のそれぞれの送り時間が一致すればアリ溝ツールへの負担が軽くなり折損も少なくできることとなります。

したがってフェーシングの切削速度と合致するZ方向の送り速度を計算すれば以下のようになります。

$$\text{送り速度 (mm/min)} = \text{一回転当りの送り量 (mm/rev)} \times \text{一分間当りの回転数 (rpm)}$$

$$\begin{aligned} \text{送り速度 (mm/min)} &= 0.03 \text{ (mm/rev)} \times 80 \text{ (rpm)} \\ &= 2.4\text{mm/min} \end{aligned}$$

早戻り速度も同様に

$$\begin{aligned} \text{送り速度 (mm/min)} &= 0.48 \text{ (mm/rev)} \times 80 \text{ (rpm)} \\ &= 38.4\text{mm/min} \end{aligned}$$

では実際に計算値の送り速度で移動量3.64mm Z方向に送った時の実移動時間を測定すれば当然合致すると思われるが、本設備の制御装置では一分間当りの送り量設定を0.1mmに設定できるF1桁指定がオプションになっており不可能なため、計算値の近傍の送り量と移動時間の関係を測定しました。その結果は以下のとおりです。

切削送り		早戻り	
送り量 (mm/min)	時間	送り量 (mm/min)	時間
F 1	4' 30" 88	F 38	8" 04
F 2	2' 01" 27	F 40	7" 80
F 3	1' 30" 96	F 42	7" 08
F 4	1' 08" 35	F 45	6" 96

時間測定用プログラム (MDI)

S60 M04 G04 P2000

M05

S80 M03 G01 Z-78.0 F2

M05

S80 M03 G01 Z-74.36 F38

M05

計算値に近い送り量は二重線のところになります。この送り量の実切削送り時間、早戻り実測時間とフェーシングヘッドの実移動時間(切削送り)、早戻り時間を比較してみますと表3になります。

項目	種類	
	切削送り	早戻り
フェーシングヘッド	2' 06" 61	7" 59
Z 方 向	2' 01" 27	8" 04

表3

5-2. 対策

5-2-1. マシン

表3から切削速りに注目するとZ方向が5秒34速く止ることになります。したがってアリ溝ツールが折損するのは当然の結果と云えます。

では折損をおさえるにはどうするか送り量で微細な送りができない以上、Z方向の送りを5秒34継続させなければフェーシングヘッド側と一致しないわけです。

Z方向の送り量は2mm/minから一瞬間では約0.03mmの値になり5秒34ではZ方向に0.16mmだけ深く切り込めば良いことになります。したがってZ方向の移動量は全体で3.8mmにセットすれば解決できる。

早戻り側についてはフェーシングヘッドの早戻り時間に近づける送り量に変更しなければならない。実移動時間を測定した中ではF40が近いが感触ではF41でも妥当な値になると考えられる。

5-2-2. ツール

ツールの剛性強化を主体に折損対策を考えてきましたが、技術会議中の本研究分科会の先生方からご指摘をいただき高速度工具鋼鋼材のツールを試作し試削を行うことになりました。

ツールの材種

SKH4（高速度工具鋼4種）～国産

直径10mm×長さ100mm

（指示はイスラエル製のハイス）

丸バイト研磨用の簡単な治具を作製し、グラインダーと工具研削盤を用いて図3のアリ溝バイトを作製した。

6. 試削

ツール折損の原因究明とその対策を施した結果を確認するため試削を数回繰り返し行いました。

その結果ほぼ完全なアリ溝形状で加工することができました。その加工形状を写真2に示す。

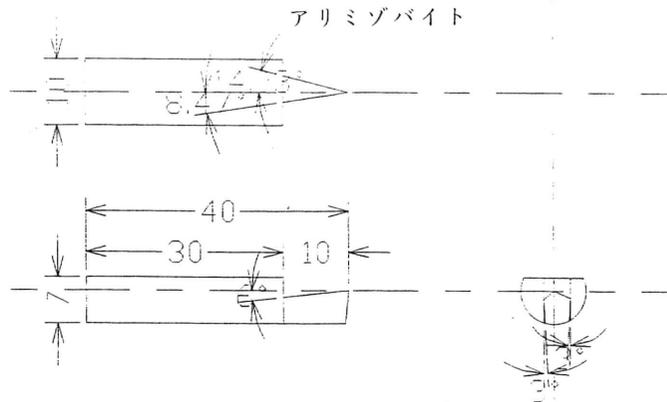


図3 SKH4 アリミゾバイト

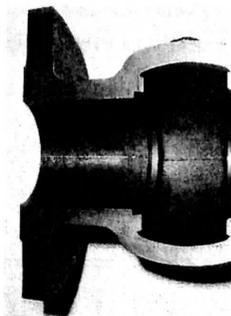


写真2 試削アリ溝の形状

試作したSKH4のアリ溝バイトも折損もなく数個の加工には十分持ちこたえることが実証できました。試削した後の試作バイトの刃先状況を写真3に示す。

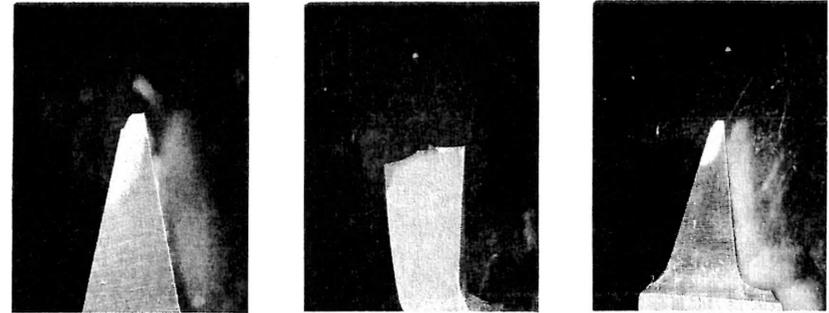


写真3 試削後のSKH4アリ溝バイト

若干刃先部分にチッピングが確認できますが上すくい面に蒸着摩耗痕もはっきりと見る事ができます。試削に用いたアリ溝バイトを写真4に示す。

さらに刃先の持ちを良くするためにはTiNコーティング等を行えばさらに持ちはよくなると思う。

現在の弁箱全加工の試削時間は一個当たり平均28分でもう少し加工条件を上げれば25分を切ることは可能と考える。今後も試削を繰り返して改良を重ねる予定である。

現状で本研究のCAD/CAMシステムで対応できるシステム・フローを図4に示す。

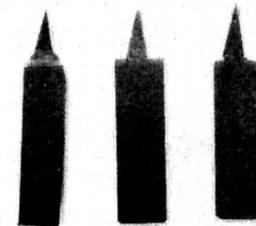


写真4 試削に用いたアリ溝バイト
右からロウ付け・コーティング・SKH4