

# 業務報告書

平成4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

わが国の経済は、依然として、設備投資の減退と個人消費の低迷が続き景気の停滞状況はますますきびしくなりつつあります。さらに円高の影響がこれに拍車がかかり、今後の動向が深刻なものとなりつつあります。

このような中で、伝統的な技術による産地産業は海外との競合など苦しい情勢が続いており、まさに構造転換を余儀なくされております。

これらの実態を踏まえ、当所では知識集約的なソフト面をさらに高めるため、バルブ性能面をさらに重視し、コンピュータによる流体解析と構造解析を行い、実流実験を繰り返すことにより従来解明し得なかった難題が逐次明らかになり、新しい高機能バルブの開発に努めております。

さらに、CAD/CAMによる自動化省力化のプログラムの開発、自動バルブの開発も行っておりました。

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

平成5年9月

滋賀県立機械金属工業指導所

所長 上田成男

## 目 次

|  |    |
|--|----|
| I 概 要                                  |    |
| 1 沿 革 .....                            | 1  |
| 2 規 模 .....                            | 1  |
| 3 組 織 .....                            | 2  |
| 4 職 員 .....                            | 2  |
| 5 予算および決算 .....                        | 4  |
| 6 試験研究設備の整備状況 .....                    | 8  |
| 7 主要設備 .....                           | 9  |
| II 依頼業務                                |    |
| 1 依頼試験数および手数料 .....                    | 14 |
| 2 設備使用件数および使用料 .....                   | 14 |
| III 指導業務                               |    |
| 1 技術アドバイザー指導事業 .....                   | 15 |
| 2 一般巡回技術指導 .....                       | 15 |
| 3 簡易巡回技術指導 .....                       | 16 |
| 4 技術相談 .....                           | 16 |
| 5 調 査 .....                            | 17 |
| 6 技術普及講習会 .....                        | 17 |
| 7 新技術技術者研修 .....                       | 17 |
| 8 出版刊行物 .....                          | 18 |
| 9 生産技術研究会 .....                        | 18 |
| IV. 研究業務                               |    |
| 1. バルブ製品の性能に関する研究 .....                | 19 |
| (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(3) .....    | 31 |
| 3. 自動制御弁の開発研究 .....                    | 62 |
| (自動制御弁のソフト開発)                          |    |
| 4. CAD/CAMシステムによるバルブ加工の合理化・省力化研究 ..... | 74 |
| (CAD/CAMによるプログラム作成とデータ通信の検討)           |    |

## I 概 要

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

## 1. 沿革

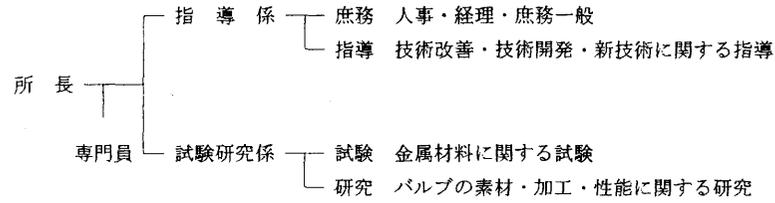
- 昭和21年4月 長浜市に県立長浜工業試験場を設置、機械、繊維の2部制とする。
- 昭和27年4月 工業試験場を機械部門と繊維部門に分割し、機械部は滋賀県立機械金属工業指導所と称す。
- 昭和34年4月 本指導所の整備計画ならびに彦根市に移築を決定
- 昭和35年10月 庁舎竣工新庁舎にて業務を開始（現別館）
- 昭和38年3月 実験研究棟（精密機械加工室、熱処理中間試験室、ジグボーラ室、その他）を増築
- 昭和43年1月 同上2階実験研究室を増築
- 昭和49年10月 本館 竣工
- 昭和62年12月 バルブ性能試験装置を設置
- 昭和63年4月 滋賀バルブ協同組合が庁舎に移転
- 平成2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

## 2. 規模

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

（平成5年4月1日現在）

3. 組織 (平成4年4月1日現在)

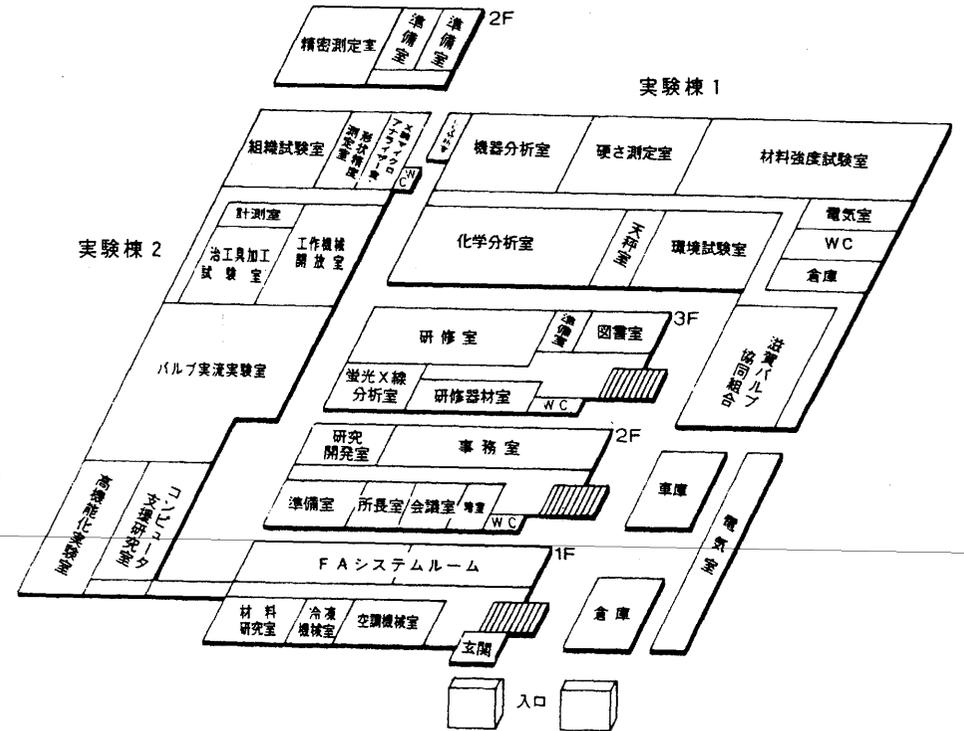


4. 職員

4.1 職員構成 (平成4年4月1日現在)

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

建物配置図



5. 予算および決算

(1) 平成4年度 歳入予算執行状況

(単位：円)

| 科 目 |              |     |                           | 予算通知額     | 調 定 額     | 収入済額      | 不 納<br>欠損額 | 収 入<br>未済額 |
|-----|--------------|-----|---------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| 款   | 項            | 目   | 節                         |           |           |           |            |            |
| 06  | 使用料及び<br>手数料 |     |                           | 4,472,000 | 4,354,900 | 4,354,900 | 0          | 0          |
|     | 01           | 使用料 |                           | 858,000   | 878,400   | 878,400   | 0          | 0          |
|     |              | 07  | 商工使用料                     | 858,000   | 878,400   | 878,400   | 0          | 0          |
|     |              |     | 05<br>機械金属<br>工業指導所       | 858,000   | 878,400   | 878,400   | 0          | 0          |
|     | 02           | 手数料 |                           | 3,614,000 | 3,476,500 | 3,476,500 | 0          | 0          |
|     |              | 04  | 商工手数料                     | 3,614,000 | 3,476,500 | 3,476,500 | 0          | 0          |
|     |              |     | 05<br>機械金属<br>工業指導所<br>試験 | 3,614,000 | 3,476,500 | 3,476,500 | 0          | 0          |
| 12  | 諸 収入         |     |                           | 90,000    | 96,000    | 96,000    | 0          | 0          |
|     | 07           | 雑 入 |                           | 90,000    | 96,000    | 96,000    | 0          | 0          |
|     |              | 05  | 雑 入                       | 90,000    | 96,000    | 96,000    | 0          | 0          |
|     |              |     | 29<br>経営技術等<br>研修講習<br>受  | 90,000    | 96,000    | 96,000    | 0          | 0          |
| 合 計 |              |     |                           | 4,562,000 | 4,450,900 | 4,450,900 | 0          | 0          |

(2) 平成4年度 歳出予算執行状況

(単位：円)

| 科 目 |       |           |                        |                | 予算令達額      | 支出済額       | 残 額 | 備 考 |
|-----|-------|-----------|------------------------|----------------|------------|------------|-----|-----|
| 款   | 項     | 目         | 節                      | 細 節            |            |            |     |     |
| 07  | 商 工 費 |           |                        |                | 75,674,905 | 75,674,905 | 0   |     |
|     | 01    | 商 工 業 費   |                        |                | 1,051,762  | 1,051,762  | 0   |     |
|     |       | 03        | 工業振興費                  |                | 1,051,762  | 1,051,762  | 0   |     |
|     |       |           | 01                     | 報 酬            | 420,000    | 420,000    | 0   |     |
|     |       |           | 08                     | 報 償 費          | 125,000    | 125,000    | 0   |     |
|     |       |           | 09                     | 旅 費            | 432,762    | 732,762    | 0   |     |
|     |       |           | 11                     | 需 用 費          | 55,000     | 55,000     | 0   |     |
|     |       |           |                        | 01<br>食 糧 費    | 9,000      | 9,000      | 0   |     |
|     |       |           |                        | 02<br>その他需用費   | 46,000     | 46,000     | 0   |     |
|     |       |           | 12                     | 役 務 費          | 16,000     | 16,000     | 0   |     |
|     |       |           |                        | 02<br>その他役務費   | 16,000     | 16,000     | 0   |     |
|     |       |           | 14                     | 使用料及び<br>貸 借 料 | 3,000      | 3,000      | 0   |     |
|     | 02    | 中 小 企 業 費 |                        |                | 74,623,143 | 74,623,143 | 0   |     |
|     |       | 02        | 中 小 企 業<br>指 導 費       |                | 388,880    | 388,880    | 0   |     |
|     |       |           | 08                     | 報 償 費          | 87,300     | 87,300     | 0   |     |
|     |       |           | 09                     | 旅 費            | 120,580    | 120,580    | 0   |     |
|     |       |           | 11                     | 需 用 費          | 132,000    | 132,000    | 0   |     |
|     |       |           |                        | 01<br>食 糧 費    | 3,000      | 3,000      | 0   |     |
|     |       |           |                        | 02<br>その他需用費   | 129,000    | 129,000    | 0   |     |
|     |       |           | 12                     | 役 務 費          | 5,000      | 5,000      | 0   |     |
|     |       |           |                        | 02<br>その他役務費   | 5,000      | 5,000      | 0   |     |
|     |       |           | 14                     | 使用料及び<br>貸 借 料 | 44,000     | 44,000     | 0   |     |
|     |       | 07        | 機 械 金 属<br>工 業 指 導 所 費 |                | 74,234,263 | 74,234,263 | 0   |     |

| 科 |   | 目 |                 | 予算令達額      | 支出済額       | 残額 | 備考 |
|---|---|---|-----------------|------------|------------|----|----|
| 款 | 項 | 目 | 細 節             |            |            |    |    |
|   |   |   | 01 報酬           | 1,140,628  | 1,140,628  | 0  |    |
|   |   |   | 04 共済費          | 146,699    | 146,699    | 0  |    |
|   |   |   | 08 報償費          | 638,300    | 638,300    | 0  |    |
|   |   |   | 09 旅費           | 1,915,862  | 1,915,862  | 0  |    |
|   |   |   | 11 需用費          | 15,570,689 | 15,570,689 | 0  |    |
|   |   |   | 01 食糧費          | 216,022    | 216,022    | 0  |    |
|   |   |   | 02 その他需用費       | 15,354,667 | 15,354,667 | 0  |    |
|   |   |   | 12 役務費          | 5,668,639  | 5,668,639  | 0  |    |
|   |   |   | 02 その他役務費       | 5,668,639  | 5,668,639  | 0  |    |
|   |   |   | 13 委託料          | 1,566,457  | 1,566,457  | 0  |    |
|   |   |   | 01 電気保安業務委託     | 273,396    | 273,396    | 0  |    |
|   |   |   | 02 恒温恒湿点検委託     | 184,370    | 184,370    | 0  |    |
|   |   |   | 03 警備業務委託       | 537,660    | 537,660    | 0  |    |
|   |   |   | 04 浄化槽等維持管理業務委託 | 100,425    | 100,425    | 0  |    |
|   |   |   | 05 ボイラー整備検査委託   | 99,600     | 99,600     | 0  |    |
|   |   |   | 06 火災報知設備保安検査委託 | 36,874     | 36,874     | 0  |    |
|   |   |   | 07 排出水の分析委託     | 126,072    | 126,072    | 0  |    |
|   |   |   | 08 冷凍機保安点検委託    | 159,650    | 159,650    | 0  |    |
|   |   |   | 14 使用料及び賃借料     | 82,360     | 82,360     | 0  |    |
|   |   |   | 15 工事請負費        | 28,943,000 | 28,943,000 | 0  |    |
|   |   |   | 18 備品購入費        | 18,364,629 | 18,364,629 | 0  |    |

| 科   |   | 目 |               | 予算令達額      | 支出済額       | 残額 | 備考 |
|-----|---|---|---------------|------------|------------|----|----|
| 款   | 項 | 目 | 細 節           |            |            |    |    |
|     |   |   | 19 負担金補助及び交付金 | 171,800    | 171,800    | 0  |    |
|     |   |   | 02 会議等負担金     | 168,800    | 168,800    | 0  |    |
|     |   |   | 03 社会保険協会負担金  | 3,000      | 3,000      | 0  |    |
|     |   |   | 27 公課費        | 25,200     | 25,200     | 0  |    |
| 合 計 |   |   |               | 75,674,905 | 75,674,905 | 0  |    |

6. 試験研究設備の整備 (平成4年度)

| 設備名                    | 数量 | 型式                         | 製造者         | 備考  |
|------------------------|----|----------------------------|-------------|-----|
| 摩擦摩耗試験機                | 1式 | EFM-III-EN                 | (株)オリエンテック  | 県 単 |
| バルブ流体解析<br>アニメーションシステム | 一式 | FIELD-VIEW<br>Version 3.2他 | コベルコシステム(株) | 県 単 |
| ストロボスコープ               | 1式 | MF-80                      | (株)菅原研究所    | 県 単 |
| 液晶ビジョン                 | 1式 | CU-SX1                     | シャープ(株)     | 県 単 |

7. 主要設備

| 品名                  | 規格                       | 購入年月日    | 備考               |
|---------------------|--------------------------|----------|------------------|
| 治具中ぐり盤              | 三井精機製JBD型No.3            | 38.6.17  | 日本自転車振興会<br>補助物件 |
| 万能工具研削盤             | 牧野フライス社製C-40             | 38.12.23 | "                |
| ブロックゲージ             | 津上製PTW A級                | 39.8.18  | "                |
| 万能顕微測定器             | 三井精機製MLD 1000            | 40.1.14  | "                |
| 万能工具顕微測定器           | 津上製T-MCL 2型              | 38.      | "                |
| 旋盤                  | 大阪工作所製360HB-X型           | 43.3.19  | "                |
| 超硬工具研磨盤             | アサヒダイヤモンド工業製<br>SDG型     | 43.9.10  | "                |
| 表面粗さ計               | テーラーボブソン社製<br>タリサーフ4型    | 43.11.30 | "                |
| 万能フライス盤             | 日立精機製MS型U                | 43.12.28 | 中小企業庁補助物件        |
| プロジェクション<br>オブチメーター | カールツァイスイエナ社製<br>MOD20/20 | 44.10.21 | 日本自転車振興会<br>補助物件 |
| キヤス試験機              | 東洋理化製CASSER-1            | 44.10.29 | "                |
| 流速効果腐食試験装置          | 山崎精機研究所VF-1              | "        | "                |
| カット・オフ(帯鋸盤)         | アマダ製CRH-300S             | 45.8.30  | "                |
| ショア硬さ試験機            | 三光計器製S44計量研型             | 45.9.25  | 中小企業庁補助物件        |
| ブリネル硬度計             | 三精工業製SDLB計量研型            | 45.9.29  | "                |
| 工業用赤外線温度計           | 旭産業製TA-1                 | 45.10.20 | 日本自転車振興会<br>補助物件 |
| デジマイクロ              | オリンパス製 DM253<br>顕微鏡STM   | 45.10.30 | 中小企業庁補助物件        |
| 液化炭酸超低温装置           | 柳本製作所OTS-60              | 45.10.31 | 日本自転車振興会<br>補助物件 |
| オートコリメータ            | ニコン6D型                   | 46.8.16  | "                |
| 島津万能試験機             | 電子管式REH-100型             | 46.9.29  | 中小企業庁補助物件        |
| 周波数自動分析記録装置         | 国際振動研究所製SM-2200          | 47.9.28  | 日本自転車振興会<br>補助物件 |
| エレマ電気炉              | 東海興商製CE-20               | 47.10.30 | "                |
| 高温鋳物砂試験機            | 東京衡機製力量500kg             | 47.10.31 | "                |

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

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

| 品名                                   | 規格   | 購入年月日    | 備考               |
|--------------------------------------|--|----------|------------------|
| 金属顕微鏡用照明装置                           | (株)モリテックス<br>NRG-48-1000S                            | 62. 7.14 | 県 単              |
| バルブ性能試験装置<br>本実流量変位測定器               | 日本科学工業(株)<br>ジェック(株) DSA-605C型                       | 62.12.11 | 日本自転車振興会<br>補助物件 |
| リフト運搬車                               | 杉国工業(株) SPR20-LL                                     | 62.12. 5 | "                |
| ロックウェル硬度計                            | 明石製作所 AHT-AT   | 63.10.14 | 県 単              |
| 重金属廃水処理装置                            | 同和鉱業(株) LIP-20AHI                                    | 63. 8.11 | "                |
| スポットエアコン                             | ダイキン工業 SUAS2MAU                                      | 63. 7. 1 | "                |
| ゴム硬度計                                | (株)島津製作所 200型  | 63. 7.28 | "                |
| XYプロッター                              | (株)ファナック A3  | 63. 9.14 | "                |
| 摩耗テスター                               | 日本コントラクター(株)製<br>OP-300                              | 元. 7.31  | 日本自転車振興会<br>補助物件 |
| 振動騒音解析装置                             | (株)小野測器製 CF-360                                      | 元. 8.30  | "                |
| ビデオモニター                              | 松下電器産業製 NV-DS1                                       | 元. 5.16  | 県 単              |
| パーソナルコンピュータ                          | 日本電気(株)製<br>PC-9801-RX21                             | 2. 1.19  | "                |
| バルブ流体解析CAEシステム<br>ソフトウェア<br>ハードウェア   | 米国Creare.x社製FLUENT/BFC<br>富士通(株)製S-4/1               | 2.12.25  | 中小企業庁補助物件        |
| バルブ設計CAD/CAMシステム<br>ソフトウェア<br>ハードウェア | オートデスク(株)製AutoCADGX-III<br>日本電気(株)製PC-H98model70-002 | 2.11.30  | "                |
| 水中マイクロホン                             | B&K社製8103  | 2.10. 5  | 県 単              |
| 溶存酸素計                                | 電気化学計器(株)製DOL-40                                     | 2. 8.20  | "                |
| ドラフトチャンパー                            | (株)ダルトン製DP-5   | 2. 9.14  | "                |
| 純水製造装置                               | 島津理化学器械(株)製SWAC-500                                  | 2. 6.15  | "                |
| 精密万能投影機                              | (株)ニコン製 V-12A  | 2.12.25  | "                |
| ビデオカメラ                               | 松下電器製 NV-M900  | 3. 2.18  | "                |
| 電磁式膜厚計                               | サンコウ電子SL-120C  | 3. 3.22  | "                |

| 品名                     | 規格                                    | 購入年月日   | 備考               |
|------------------------|---------------------------------------|---------|------------------|
| CNC旋盤                  | (株)オークマ製LB25C型                        | 3.11.15 | 日本自転車振興会<br>補助物件 |
| 平面研削盤                  | (株)長瀬鉄工所製SGC-95型                      | 3.11.20 | "                |
| 表面粗さ測定器                | (株)小坂製作所SE-30AK                       | 3.10. 4 | "                |
| 真円度円筒形状測定器             | (株)小坂製作所EC-307B                       | 3.10. 4 | "                |
| アナライジングレコーダ            | 横河電機(株)製AB3200型                       | 3.11.29 | "                |
| 強度解析システム               | EMRC社製NISA II                         | 4. 1.31 | "                |
| 排ガス洗浄装置                | セイコー化工機(株)製SYS-20SP                   | 3. 8.30 | 県 単              |
| シヨア硬度計                 | (株)今井精機製D-D型                          | 4. 1.31 | "                |
| キャス試験機                 | スガ試験(株)製 CASSER<br>-ISO-3             | 4. 3.24 | "                |
| 液晶ビジョン                 | シャープ(株)CU-SX1                         | 4. 6.20 | "                |
| ストロボスコープ               | (株)菅原研究所MF-80                         | 4. 8.30 | "                |
| 摩擦摩耗試験機                | (株)オリエンテックEFM-III-EN                  | 4.10.30 | "                |
| バルブ流体解析<br>アニメーションシステム | コベルシステム(株) FIELD-VIEW<br>Version 3.2他 | 4.12. 8 | "                |

## 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 3,476,500円

|            |                  |
|------------|------------------|
| (1) 材料試験   | 142試料 (637試験)    |
| (内 訳)      | 抗 折 22試験         |
|            | 引 張 237 "        |
|            | 耐力・降伏点 63 "      |
|            | 伸 び 175 "        |
|            | 硬さ (H B) 136 "   |
|            | 硬さ (その他) 4 "     |
|            | そ の 他 24 "       |
| (2) 分析試験   | 213試料 (563成分)    |
| (内 訳)      | ね ず み 鑄 鉄 21試料   |
|            | 球 状 黒 鉛 鑄 鉄 6 "  |
|            | 青 銅 鑄 物 90 "     |
|            | そ の 他 96 "       |
| (3) その他の試験 | 78試料 (267試験)     |
| (内 訳)      | 組 織 試 験 185試験    |
|            | そ の 他 の 試 験 82 " |
| (4) 成績書複本  | 64 通             |
| (内 訳)      | 和 文 33通          |
|            | 欧 文 31 "         |

## 2. 設備使用件数および使用料

使用料 878,400円

|       |             |            |
|-------|-------------|------------|
| (内 訳) | 25 t オートグラフ | 98回        |
|       | 100 t 万能試験機 | 110 "      |
|       | ブリネル硬度計     | 89 "       |
|       | 高周波プラズマ分析装置 | 79 "       |
|       | C S 同時定量装置  | 19 "       |
|       | 電子天秤        | 59 "       |
|       | そ の 他       | 61 "       |
|       | 計           | 4,354,900円 |

### Ⅲ 指 導 業 務

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

## 1. 技術アドバイザー指導事業

| 実施企業         | 指導内容                      | 担当アドバイザー |
|--------------|---------------------------|----------|
| 湖北工業(株)      | アルミ抜きカスの再生利用法について         | 上辻清久     |
| (株)昭和バルブ製作所  | 断面形状・リップ形状の評価法と計算方法       | 神沢一吉     |
| (株)滋賀カツラ     | 工程の改良および省人・自動化対策について      | 森野修範     |
| 山口工業(株)滋賀工場  | 一走目の溶込みとUT検査の対応について       | 木谷聰生     |
| (株)上野工作所     | A1材のサビ対策と接着技術について         | 宮原俊夫     |
| 協和工業(株)      | 寸法測定の自動化                  | 武田和忠     |
| 山口工業(株)滋賀工業  | 炭酸ガス半自動溶接の実技教育について        | 木谷聰生     |
| エスピーバルブ工業(株) | 熱膨張とバタフライ弁のクリアランスとの関係について | 竹下常四郎    |

## 2. 一般巡回技術指導

バルブの強度計算および設計の基礎知識について

- (1) トルク・推力の計算法
- (2) 内圧による歪み・割れ等の計算法
- (3) リップの効果
- (4) 各種数式・資料の活用法
- (5) その他設計に関する技術指導

期 間 平成4年8月3日(月)～7日(金)

指導員 滋賀県技術アドバイザー 神沢一吉

指導企業 角田鉄工株式会社  
株式会社牧村製作所  
日の本工業株式会社  
宮部鉄工株式会社  
株式会社大島製作所

指導班 (5企業)

専門員 村口 明義  
 指導係長 樋口 英司  
 試験研究係長 松川 進  
 主査 宮川 栄一  
 主査 西川 哲郎  
 主任技師 酒井 一昭

3. 簡易巡回技術指導

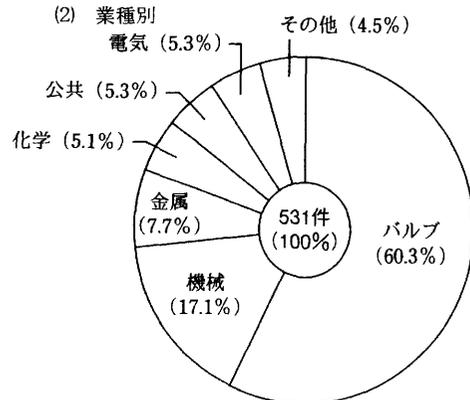
指導対象 平成2年度および3年度設備貸与企業  
 期間 平成4年9月7日(月)～10月8日(木)  
 指導員 滋賀県技術アドバイザー丸尾和好  
 指導企業 15社(近畿精工(株)ほか14社)

4. 技術相談・指導

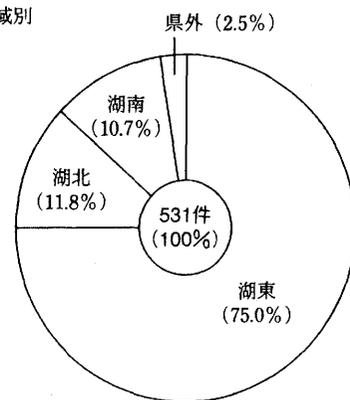
(1) 専門分野別件数

| 項目    | 件数  | 比率    | 項目         | 件数  | 比率     |
|-------|-----|-------|------------|-----|--------|
| 金属材料  | 34  | 6.4%  | 分析技術       | 20  | 3.8%   |
| 熱処理技術 | 25  | 4.7%  | 防食技術       | 33  | 6.2%   |
| 機械加工  | 69  | 13.0% | 設備貸与・設備近代化 | 15  | 2.8%   |
| 試験法   | 208 | 39.2% | 実地指導       | 2   | 0.4%   |
| 鑄造技術  | 22  | 4.1%  | その他        | 66  | 12.4%  |
| 金属組織  | 37  | 7.0%  | 計          | 531 | 100.0% |

(2) 業種別



(3) 地域別



5. 調査

- (1) 彦根バルブ動向調査 21企業 (4回/年)
- (2) 制度融資等にかかる事前調査
  - 設備機械貸与調査 11企業
  - 設備近代化資金貸付診断調査 3企業
  - 技術改善費補助金等にかかる調査 6企業

6. 技術普及講習会

| 年月日    | 内容                               | 講師                 | 場所         | 参加人員 |
|--------|----------------------------------|--------------------|------------|------|
| 4.6.3  | 設計技術者のためのCAE入門<br>——現場で役立つ強度解析   | 大阪産業大学<br>前川 佳徳    | 指導所<br>研修室 | 35人  |
| 4.7.10 | データベース活用セミナー<br>——科学技術情報のオンライン検索 | 日本科学技術センター<br>梶 正憲 | "          | 19人  |
| 4.10.7 | 平成3年度研究発表会                       | 当所職員               | "          | 15人  |
| 4.11.9 | 製造物責任と企業の取り組み方                   | 西芝電機(株)<br>梅田 政夫   | "          | 36人  |
| 5.1.29 | 世界情勢の変化と日本経済                     | 京都新聞社<br>船越 昇      | "          | 39人  |
| 5.3.16 | 「ISO 9000」とは何か<br>——国内現状と企業の対応   | (株)ミットヨ<br>美藤 信    | "          | 57人  |

7. 新技術技術者研修

- (1) コース名 NCプログラミング入門コース
- (2) 研修期間および時間数  
平成5年2月23日(火)、24日(水)、12時間
- (3) 場所 滋賀県立機械金属工業指導所
- (4) 受講者および修了者  
受講者 16名  
修了者 16名
- (5) 講師 オークマ(株) 京滋NCセンター  
吉本 五男
- (6) 科目と時間配分

| 科目          | 時間                  | 科目                             | 講師                           | 内容                             |
|-------------|---------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 2.23<br>(火) | 10:00<br>～<br>12:00 | NCプログラムの<br>基礎知識               | オークマ(株)<br>京滋NCセンター<br>吉本 五男 | プログラムの考え方<br>加工工程、切削条件等(講義)    |
|             | 13:00<br>～<br>17:00 | プログラムの説明                       |                              | プログラムの記号説明からプログラムの作成<br>まで(講義) |
| 2.24<br>(水) | 10:00<br>～<br>12:00 | 機械操作説明およ<br>び実習                | 同<br>上                       | NC機械操作の説明<br>(講義、実習)           |
|             | 13:00<br>～<br>17:00 | 操作実習<br>精密測定<br>対話型自動プログラミング実演 |                              | 班別により各実習項目を行う<br>(実習)          |

## 8. 出版刊行物

平成3年度業務報告書

SHIGA機工指ニュース №43、№44

## 9. 生産技術研究会

|       |       |              |
|-------|-------|--------------|
| (1)会長 | 澤村直幸  | (澤村バルブ工業)    |
| 幹事    | 加藤光雄  | (安治川鉄工建設)    |
|       | 清水重信  | (協和工業)       |
|       | 山崎春美  | (昭和バルブ製作所)   |
|       | 澤田満   | (角田鉄工)       |
|       | 松井繁徳  | (大日本スクリーン製造) |
|       | 浜口浩一  | (宮部鉄工)       |
|       | 宮川栄一  | (機械金属工業指導所)  |
| 会計監事  | 村上宜規  | (大洋産業)       |
|       | 宮嶋誠一郎 | (宮嶋弁棒鍛造所)    |
| 事務局   | 松川進   | (機械金属工業指導所)  |

### (2)事業概要

|              |    |
|--------------|----|
| ア 技術講習会      | 4回 |
| イ 工場見学       | 2回 |
| ウ 幹事会(総会を含む) | 4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(3)
3. 自動制御弁の開発研究  
(自動制御弁のソフト開発)
4. CAD/CAMシステムによるバルブ加工の  
合理化・省力化研究  
(CAD/CAMによるプログラム作成と  
データ通信の検討)

# 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)

専門員 村口 明 義  
主 査 西 川 哲 郎  
主任技師 酒 井 一 昭

## 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付けシール性を保ち、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。しかし仕切弁の弁箱部分は、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いわみの少ないものでなければならない。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。またコンピュータを使用した数値解析の手法として有限要素法 (FEM) による解析も行われているが、従来3次元のモデルはデータ入力の手間や、長時間わたるコンピュータの使用など必ずしも手軽に利用できるものではなく、限られた分野のみにおいて行われてきた。しかしコンピュータのダウンサイジングやFEMプログラムに改良により従来に比較して利用し易い環境になりつつある。本研究では当所に導入された有限要素法による強度解析システムを使用し水道用仕切弁の解析を行うとともにひずみゲージによる測定をおこない、また補強リブのモデルについても解析を試みその効果について検討をおこなったのでその結果を報告する。

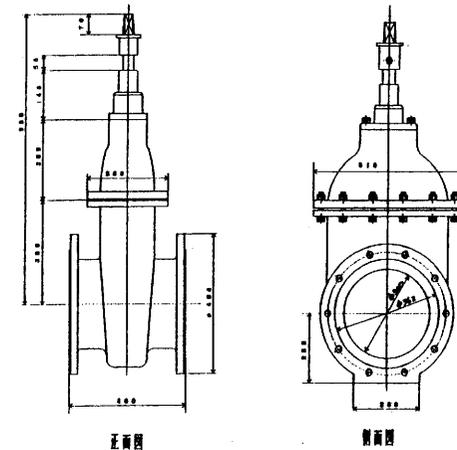


図1 水道用ダクタイル鋳鉄仕切弁の形状と主要寸法  
JWWA B 122 呼び径300

## 2. 解析モデル

解析対象としては彦根地区の水道バルブメーカーで共同設計されたJWWA（日本水道協会規格）B122水道用ダクタイル鋳鉄仕切弁を用いた。解析モデルは呼び径300のものでその全体の主要寸法を図1に示す。また弁箱の主要寸法および各部の名称を図2に示す。弁箱胴の断面形状（フランジ形状）は弁箱の変形、たわみに大きく関係していると考えられる。今回の対象となったモデルは3つの円弧で規定された形状である。弁箱の3次元のモデル化に当たっては実際の弁箱胴の3円弧で規定された断面形状ではモデル作業が非常に複雑となり時間を要するため、解析の効率化を図るため簡略化した1円弧の形状とした。しかし、弁箱の変形、たわみを考える上では断面形状は重要な要素であり、簡略化したモデルと実際の弁箱の断面形状の2次元平面モデルによる解析を併せておこない、その違いを検討することとした。また3次元モデル作成にあたっては弁箱下側の管との接続部についても一部簡略化を図ったが、解析には大きな影響を与えないものと考えられる。解析にはFEMソフトであるNISA IIの静解析ソフトを用いた。この静解析ソフトは線形/非線形構造解析が可能である。要素タイプについては2次元および3次元シェル要素、3次元ソリッド要素等を選ぶことができる。本解析では3次元ソリッド（8節点6面体要素モデル）を用いた。モデルの作成に当たっては対象性から弁箱の4分の1を行った。要素数は4043、節点数は5804である。要素分割を図3に示す。解析モデルに用いたバルブの材質はFCD450であり、物性値としてヤング率147GPa（ $1.5 \times 10^4 \text{ kg f / mm}^2$ ）、ポアソン比0.27を使用した。内圧については後で述べる強度試験のデータと比較するため圧力値0.98MPa（ $10 \text{ kg f / cm}^2$ ）1.96MPa（ $20 \text{ kg f / cm}^2$ ）2.94MPa（ $30 \text{ kg f / cm}^2$ ）の条件で解析を行った。また弁箱の変形を抑えるためにもうけられるリブの効果について検討するため上記モデルにおいて各種リブをつけたモデルについても解析を試みた。補強されたものについては次の3モデルを作成した。

- ① 弁箱内部に弁体を案内するためにつけられたガイドをつけたもの。
- ② ふたフランジと管フランジと一体となった垂直方向のリブをもうけたもの。
- ③ ふたフランジと平行にはちまき状の水平方向のリブをつけたもの。

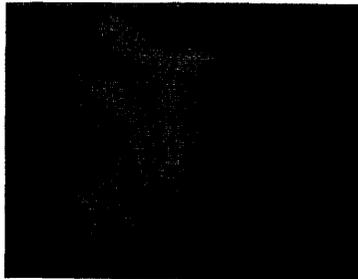


図3-1 3次元要素分割図

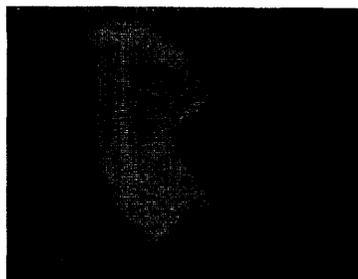


図3-2 3次元要素分割図

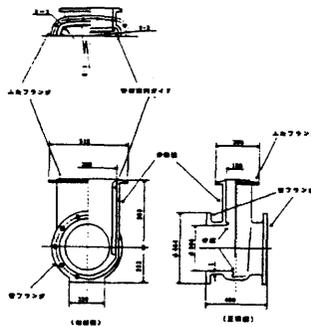


図2 弁箱の主要寸法および名称

以上のモデルの分割要素の図4、図5、図6に示す。さらに従来の水道用仕切弁の規格であるJIS B 2062の仕切弁についてもモデル化をおこない解析を試みた。JIS B 2062の水道用仕切弁の弁箱材質はFC200であり物性値としてはヤング率118GPa（ $1.5 \times 10^4 \text{ kg f / mm}^2$ ）ポアソン比 0.25を用いた。また同モデルについては材質をFCD450とした物性値の解析も行った。解析モデルに状況をまとめると表1のようになる。なお計算機はS-4/2を使用した。

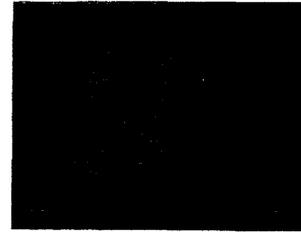


図4-1 弁体案内ガイド付モデル



図4-2 弁体案内ガイド付モデル

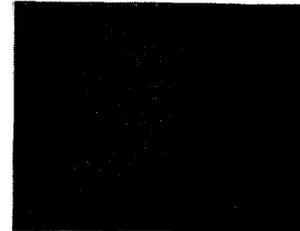


図5-1 垂直リブモデル



図5-2 垂直リブモデル



図6-1 水平リブモデル



図6-2 水平リブモデル

表1 解析状況

|                     | 要素数   | 節点数   | 縦弾性係数 [GPa] | ポアソン比 | 要素の種類     | 計算時間 [sec] | 処理時間 [sec] |
|---------------------|-------|-------|-------------|-------|-----------|------------|------------|
| B122モデル             | 4,043 | 5,804 | 147         | 0.27  | 3-D Solid | 1548.18    | 2,938      |
| 内部ガイド付              | 4,109 | 5,942 | 147         | 0.27  | 3-D Solid | 1571.47    | 2,798      |
| 垂直リブ                | 4,639 | 6,600 | 147         | 0.27  | 3-D Solid | 2319.11    | 4,417      |
| 水平リブ                | 4,204 | 6,044 | 147         | 0.27  | 3-D Solid | 1594.44    | 3,016      |
| JIS B 2062 (FC200)  | 4,523 | 6,416 | 147         | 0.27  | 3-D Solid | 1908.41    | 3,389      |
| JIS B 2062 (FCD450) | 4,523 | 6,416 | 147         | 0.27  | 3-D Solid | 1921.94    | 3,654      |
| フランジ付               | 4,953 | 7,028 | 147         | 0.27  | 3-D Solid | 2579.61    | 4,887      |

### 3. 強度試験

試験に用いたバルブは2.においてモデルとなった水道用ダクタイル鋳鉄仕切弁で呼び径300のもので、その主要寸法は図1に示したものである。材質はFCD450で、測定についてはひずみゲージによる測定とダイヤルゲージによるふたフランジの変位の測定を行った。ひずみゲージは直角形ロゼットゲージを用い、ふたフランジおよびその下側78mmの弁箱胴の位置を中心に27カ所で測定した。ひずみゲージの貼付位置を図7に示す。ひずみゲージの貼付は鋳肌面をサンドペーパーで仕上げ接着した。ふたフランジの変形(たわみ)はバルブ側面部のふたフランジ中央部にダイヤルゲージを設置

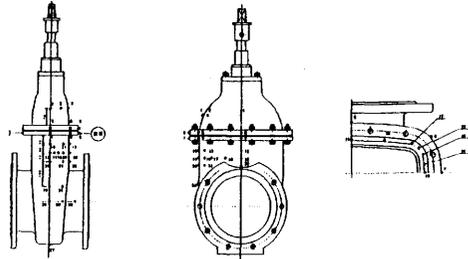


図7 ひずみゲージ貼付位置および変位測定位置

し水平方向の変位を測定した。加圧については管フランジの両側をカバーフランジで覆いバルブを密閉し、水圧ポンプで加圧することにより行った。負荷圧力の測定についてはバルブ加圧口直前の供給管で行った。なおバルブ内の圧力は直接測定していない。図8に測定時の写真を示す。加圧については無負荷から順次加圧していき最高2.94MPa (30kg f/cm<sup>2</sup>) までとし、ひずみとふたフランジの変位を同時に測定した。ひずみおよび応力の方向については、ふたフランジに平行な弁箱胴回りの方向を円周方向とし、これに直角な方向を垂直方向と称することとする。応力の計算にはロゼットゲージにより主ひずみの大きさと方向を求め、さらに主応力の大きさと方向を計算により求めた。その結果から円周方向および垂直方向の応力を求めた。なお詳しい計算式については省略する。計算に用いたヤング率およびポアソン比は2.の解析モデルのところでも述べた値であり、ヤング率147GPa (1.7×10<sup>4</sup>kg f/cm<sup>2</sup>) ポアソン比 0.27を用いた。なおこの試験は同バルブを共同設計されたバルブメーカーの技術者の人たちと共同で実施し、上記以外の項目についても試験を行なわれている。またサイズについても呼び径300以外にも呼び径75, 200, 350のバルブについても試験を行った。この試験の詳しい結果について別報に譲ることとする。

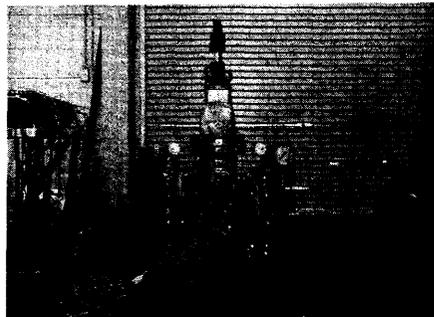


図8 ひずみおよび変位測定写真

### 4. 解析結果

#### 4. 1. ふたフランジの解析

解析結果から解析モデルの妥当性を検討することが必要であるが、3.の強度試験におけるふたフランジの変形量と解析結果からの変形量の比較を行うと図9のグラフようになる。FEMの解析結果はふたフランジの側面部中央部の水平方向(FEMのモデル上ではY軸方向)の変形量をプロットした。この図より呼び径300の測定結果と同モデルFEM解析の計算値では解析値の方が若干小さくなっているが、ほぼ一致した結果となっている。次に応力値で検討すると、ふたフランジ側面部中央(図7ひずみゲージ貼付位置では9)の位置およびふたフランジ正面部中央(図7ひずみゲージ貼付位置では7)について行う。それぞれの円周方向での応力値の比較をおこなうが、一見して考えられるようにひずみゲージ9の位置では引張応力、ひずみゲージ7の位置では圧縮応力値となる。FEM解析の応力値はそれぞれの位置(節点)での円周方向の応力値とする。図10はふたフランジ側面部中央、図11はふたフランジ正面部中央の応力値を示したものである。側面部中央(ゲージ9)の円周方向応力値についてはFEM解析の結果は測定値より大きな値となっており、呼び径350のバルブの値よりもやや大きくなっている。一方正面部(ゲージ7)の円周方向の応力値については解析値と測定値は良く一致しておりほぼ同一直線上にある。側面部中央の応力値については解析値がやや大きくなっているが、その原因の1因としては3次元モデルでは弁箱の断面の形状の違いによる影響が考えられる。

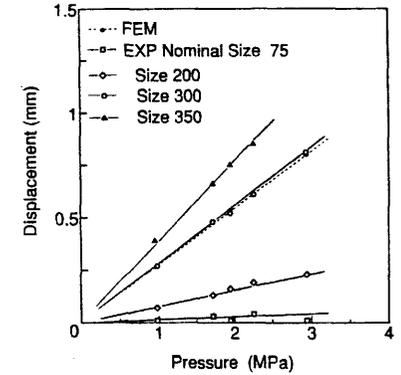


図9 ふたフランジ側面部中央の水平方向の変位

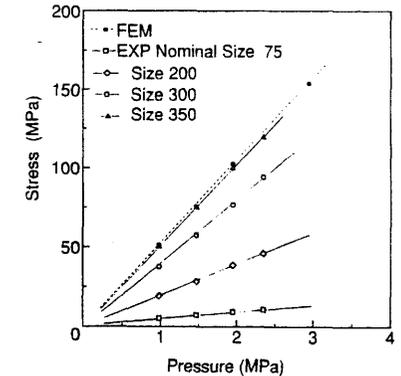


図10 ふたフランジ側面部中央の応力値

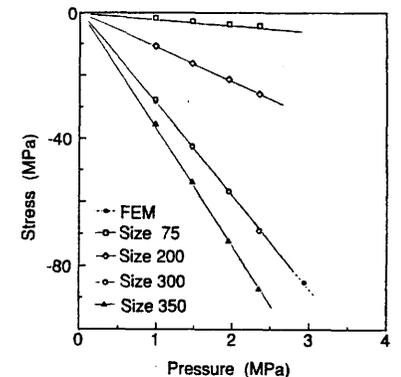


図11 ふたフランジ正面部中央の応力値

#### 4. 2. 2次元断面モデル

3次元計算モデルは断面形状を1円弧としてモデリングしているが、実際には図2のような3円弧による断面形状である。また実物には弁体を案内するためのガイドが正面部中央の内側につけられている。そこで断面形状について2次元平面での内圧による解析により、それぞれの形状に違いによる比較を行うこととする。そのモデル形状は図12の4モデルである。それぞれのモデルによる側面部中央（ゲージ9に相当）の円周方向の応力値は表2ようになる。この結果より3円弧のガイド付きモデルと1円弧のモデルを比較すると、同じ内圧に対し1円弧の方が約1.11倍ほど応力値が大きくなる。これより1円弧の3次元モデルの応力値を補正して比較したものが図13である。しかし補正した応力値もまだ実際の測定値よりも大きくなっている。

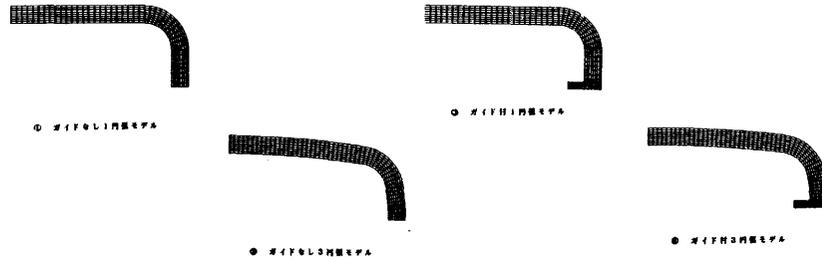


図12 2次元断面形状モデル

表2 2次元断面形状による応力値の比較

| 圧力<br>[MPa] | ふたフランジ中央部応力値              |                            |                           |                            | ①/④   |
|-------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|-------|
|             | ①<br>ガイド付<br>3円弧<br>[MPa] | ②<br>ガイドなし<br>3円弧<br>[MPa] | ③<br>ガイド付<br>1円弧<br>[MPa] | ④<br>ガイドなし<br>1円弧<br>[MPa] |       |
| 0.98        | 120.3                     | 122.0                      | 132.4                     | 133.7                      | 1.111 |
| 1.96        | 240.6                     | 244.0                      | 264.9                     | 267.2                      | 1.111 |
| 2.94        | 360.9                     | 366.2                      | 397.3                     | 400.9                      | 1.111 |

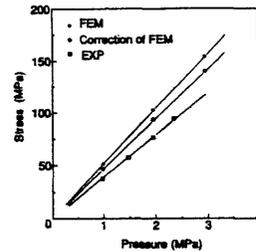


図13 ふたフランジ側面部中央の  
応力値（補正後）

#### 4. 3. 弁箱胴の応力分布

次に弁箱の応力分布についての検討を行う。図14は弁箱側面部中央の円周方向の応力について垂直方向の位置による応力値を示したものである。これによるとふたフランジはフランジ径の大きさの影響もあり応力値は大きなものとなっているが、それより下側の弁箱胴の部分では管フランジの接続部までの中間部付近（ゲージ貼付位置の番号では19付近）で最大となる。解析値と測定値との比較においてはほぼ同じような様相を示しているが、ふたフランジ部では解析値が、その下側の領域では実測値の方が大きな値を示している。図14にはFEM解析において弁体案内ガイドを備えたモデルについての応力値もプロットしたが、ガイドのないモデルと応力値はほとんど同じ値となっている。図15は弁箱正面部の垂直方向の位置による応力値の分布である。正面部については圧縮応力が生ずるものと考えられるが、ふたフランジでは大きな圧縮応力値となってい

るが、それより下側では応力値は小さくなっている。全般的には圧縮傾向であるが、ふたフランジに近い部分では応力値が引張側（プラス側）となっているところも見られる。実測値との比較ではふたフランジではほぼ同一の値となっているが、それより下側では解析の絶対値が小さくなっている（一部応力値がプラス側となっている）。また案内ガイド付きのモデルではその傾向がさらに大きくなっている。弁箱断面の応力分布については図16に示す。これは弁箱胴の中間部（配管と弁箱胴との接合部とふたフランジとの中間部）付近の断面の応力値である。これは先の2次元断面形状の応力分布と同様に側面部中央付近で引張応力、正面部では圧縮応力となっている。解析値と実測値についてはともに同じような傾向を示しているが、引張圧縮いずれも実測値の方が大きな値となっている。また特徴的な点として、2次元断面形状の解析では、側面部中央（ゲージ19に相当）で引張応力がピークとなっていたが、解析では中央よりずれた位置での応力値の方

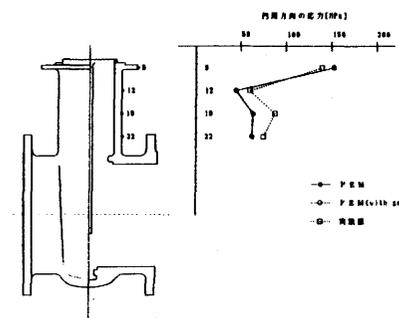


図14 弁箱側面部の円周方向の応力分布

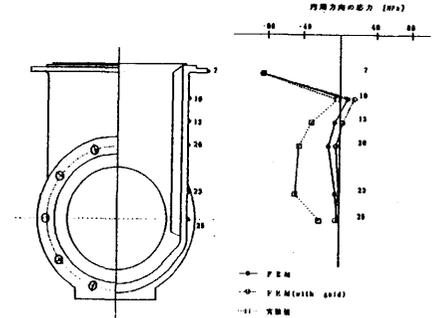


図15 弁は弧正面部の円周方向の応力分布

が大きく、また実測値でもゲージ18の方が大きな応力値となっている。3次元モデルで弁箱全体の応力分布を見ると（図17参照）配管接合部と弁箱のコーナー部分（図2 R-2の円弧）の交わる付近に応力値の大きな分布が見られる。これは管フランジおよびそれに続く管の部分への内圧によるものと考えられる。応力分布の結果を見るとふたフランジ部分では解析結果と実測値はほぼ一致した値となるが、その下側の弁箱胴については引張、圧縮とも実測値の方が大きな値となっている。これについては先に述べたように測定時に管フランジにカバーフランジをつけているための影響によるものと考えられる。

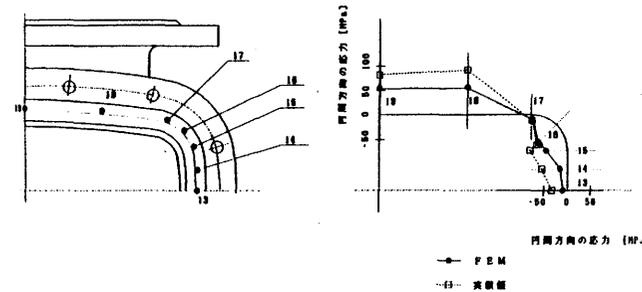


図16 弁箱断面の円周方向の応力分布

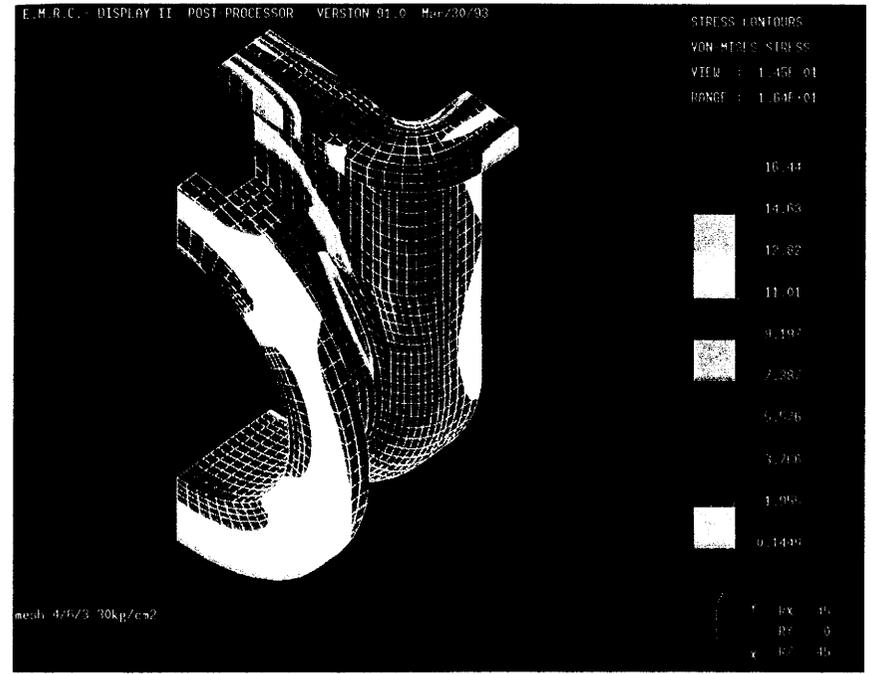


图17-1 3次元応力図 (von-mises 応力)



图17-2 3次元応力図 (von-mises 応力)

#### 4. 4. 弁箱の変形

弁箱の変形について解析結果を誇張させたものを図18に示す。これによるとふたフランジの側面部は水平方向外側に変位し、中央部ほどその傾向は大きくなっている。またその下側の弁箱胴の部分は中央部（ゲージ9）付近を頂点としてこぶの様に突き出たものとなっている。管フランジについては管の中心面より下側に折れ曲がるように変形している。これらの結果についてはいずれも従来報告<sup>9)11)13)</sup>されている結果と一致している。水平方向の変位量でみると管フランジ中央部および弁箱胴（ゲージ9）付近が最も大きく、ふたフランジ中央部で0.40mmである。またこの変形に伴い弁座部分にも変形がおこり弁座最上部で最も大きくなっている。特に弁座の水平方向外側への変位が弁座漏れの大きな原因になるものと考えられる。解析によると弁座最上部の水平方向の変位量は0.36mmに達している。正面部の変形については、弁箱内部にへこむ様に変形しており弁箱胴の中心部（ゲージ20）付近のへこみが量が大きくなっており、0.10mmの計算結果となっている。ガイドつきモデルについてはガイドのないモデルと変形量はほとんど同じ値となっている。

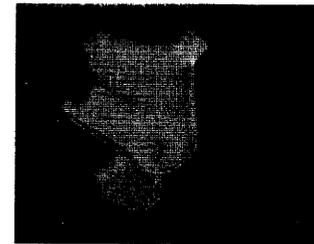


図18-1 弁箱の変形

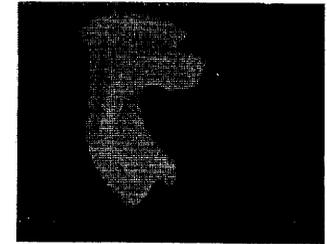


図18-2 弁箱の変形

#### 4. 5. カバーフランジモデル

先に述べたようにひずみ測定時には仕切弁の管フランジにカバーフランジをつけ密閉したのち内圧をかけ測定を行っている。そこでカバーフランジの影響を検討するため、カバーフランジ付きのモデルでの解析を行った。（図19 分割モデル参照）カバーフランジのモデルについては管フ



図19-1 カバーフランジモデル



図19-2 カバーフランジモデル

ランジと一体とし材質についても弁箱と同じものとして計算を行った。その結果について弁箱正面および側面の円周方向の応力分布を図20に示す。解析結果の分布はカバーなしのモデルと同じ様な傾向を示しているが、圧縮応力値は大きくなり実測に近づくものとなる。これはカバーフランジに働く内圧が正面部の円周方向と平行に働くためと考えられる。一方弁箱側面の解析でも応力分布は同じ様相を示しているがその値は小さくなる。これは弁箱側面の円周方向の応力とカバーフランジに働く内圧が垂直であり、応力値が小さくなったものと考えられる。

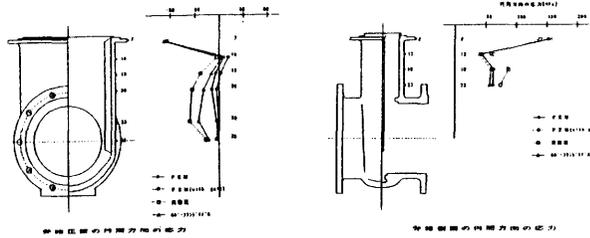


図20 カバーフランジモデルの円周方向の応力分布

### 5. リブモデル

大きな口径の仕切弁では、弁箱の変形を抑えるためにリブがもうけられているが、今回その効果を検討するためリブ付きのモデルについても解析を試みた。2. のモデルの中でも述べたように次の3タイプを考える。

- ① 弁箱内部に弁体を案内するためにもうけられたガイドをつけたもの
- ② ふたフランジと管フランジと一体となった垂直方向のリブをもうけたもの
- ③ ふたフランジと平行にはちまき状の水平リブをつけたもの

①についてはリブとしてもうけられたものではないが、弁箱内部でリブの働きをしてみると考えられるのでモデル化を行った。②のモデルでは図5に示したようにふたフランジと管フランジをつなぐようにして、弁箱側面中央につけたものであり、その厚みは弁箱胴の厚みと同じ大きさである。

表3 弁箱側面の水平方向の変位

|          | ふたフランジ<br>側面中央<br>[mm] | 弁座中央<br>最上部<br>[mm] |
|----------|------------------------|---------------------|
| B122 モデル | 0.400                  | 0.357               |
| 内部ガイド付   | 0.399                  | 0.357               |
| 垂直リブ     | 0.390                  | 0.283               |
| 水平リブ     | 0.365                  | 0.329               |
| 測定値      | 0.405                  | ----                |

表4 弁箱側面の水平方向の変位

|                        | ふたフランジ<br>側面中央<br>[mm] | 弁座中央<br>最上部<br>[mm] |
|------------------------|------------------------|---------------------|
| B122 モデル               | 0.400                  | 0.357               |
| JIS B 2062<br>(FC200)  | 0.399                  | 0.345               |
| JIS B 2062<br>(FCD450) | 0.311                  | 0.274               |
| 測定値                    | 0.405                  | ----                |

③のモデルについては弁箱胴の中心部（ゲージ13から19にかけて）にふたフランジと平行にはちまき状にもうけたものであり、その幅および高さは弁箱胴の厚みと同じものである。弁箱側面水平方向の変位量について解析結果を表したものが表3である。変位量については実測を行ったふたフランジの側面中央と弁座漏れに最も影響すると考えられる弁座最上部の2点についてまとめた。内部ガイド付きの①のモデルについてはガイドのないものとほとんど同じ値を示している。①のモデルについては4. 3. の応力分布のところでも触れたように変位量、応力値ともガイドのないものとほぼ同じような値であり、内部ガイドについてはリブの効果はないものと考えられる。弁箱全体の解析を考える場合には内部ガイドの有無はあまり影響がないものと考えられる。垂直リブモデルではふたフランジ中央部の水平方向の変位量は0.40mmから0.39mmに0.01mm (2.5%) 小さくなり、弁座中央最上部では0.357mmから0.283mmに0.074 (20.7%) 小さくなる。一方水平リブモデルの変位量は0.400mmから0.365mmに0.035mm (8.75%) 小さくなり、弁座中央最上部で0.357mmから0.329mmに0.028mm (7.84%) 小さくなる。垂直リブモデルではふたフランジ中央部では2.5%、弁座中央最上部では20.7%変形量が少なくなっている。水平リブではふたフランジ中央部では8.75%、弁座中央最上部では7.84%と少なくなる。これは水平リブでは弁箱胴のこぶのように突き出たところの変形を抑え、その結果としふたフランジおよび弁座部も均一に抑制されるものと考えられる。一方垂直リブは下側でリブが長くなるため弁座中央最上部の変形を抑えるのには効果的であるが、上側ではリブが短くふたフランジ変形を抑えるのにはあまり効果はない。垂直リブではふたフランジの変形抑制効果は小さく、弁座中央最上部の変形抑制の効果が大きいことは垂直リブ自身に大きな応力が生じていることが考えられる。

### 6. JISに規定する水道用仕切弁 (B 2062) モデルの解析

今回参考とするためJISに規定されている水道用仕切弁についてのモデルについても解析を行いB122のモデルとの比較を行った。参考としたJIS B 2062の仕切弁の弁箱胴の断面形状は3円弧によるものであるが、モデル化にはB122と同様に1円弧でモデルリングを行った。B122モデルとの大きな違いは管中心面からのふたフランジまでの高さ（弁箱胴の高さ）であり、図2に示したようにB122のモデルでは350mmであるが、JIS B 2062のモデルでは10%程度少なく319mmとした。JISの規定では弁箱の材質はFC200であるので、計算に用いた物性値は先に述べたものを用いた。また比較のためB122（材質FCD450）と同じ物性値でも計算を行った。その結果は表4のとおりである。5. のリブのモデルと同様にふたフランジおよび弁座中央最上部の変形量で比較するとJIS B 2062のモデルでは材質FC200でも若干ではあるがB122のモデルより小さくなっている。またB122同じ材質の物性値を使用した計算結果ではふたフランジ、弁座部ともにB122モデルより25%強、変形量が小さくなっている。これより弁箱胴の高さは弁箱の変形を考える上で大きな影響を与えることが考えられるが、これについても従来の報告(12)と同様の結果となっている。この計算例では弁箱胴の高さが10%程度少なくなれば変形量は25%程度少なくなり、弁箱胴の変形を考える上で重要なファクターとなる。

## 7. まとめ

今回水道用ダクタイル鋳鉄仕切弁をモデルとして弁箱の強度解析をコンピュータを利用した3次元ソリッドモデルにより有限要素解析を行った。その結果をまとめると次のようになる。

- 1) このモデル例ではふたフランジの変形量および応力値については実測値とよく一致した結果となった。
- 2) 弁箱胴の応力値の分布では解析値と実測値は同じような様相を示すが、応力値は引張、圧縮とも実測値が大きくなる。
- 3) 弁箱の変形については従来報告されているものと同様の結果となった。
- 4) 補強用のリブの効果については垂直リブ、水平リブともに変形を抑える効果は見られるが、弁座部の変形のみでみると、今回のモデルでは垂直リブの効果が大きい。
- 5) 弁箱内部につけられた弁体案内用ガイドの有無による弁箱の変形はほとんど変わらず、リブとしての効果は見られない。
- 6) B1222モデルとJIS B 2026モデルの比較から弁箱胴の長さが弁箱の変形の重要なファクターと考えられる。

なおこの報告書をまとめるにあたり運輸省船舶技術研究所大阪支所 伊飼通明氏ならびに彦根バルブ産地企業の技術者の方々から随所に有益なご教示をたまわりました。また解析モデルを作成するに当たり、産地技術者の方々から設計図面や資料の提供にご協力をいただきました。ここに併せて皆様に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 大山 バルブの強度解析 パルブ技報 第1巻第2号
- 2) 上野 仕切弁弁箱の内圧変形 パルブ技報 第4巻第2号
- 3) 齊田、樋口 バルブの設計改良研究(内圧によるバルブの歪)について 昭和53年度業務報告書
- 4) JWWA B 122 水道用ダクタイル鋳鉄仕切弁
- 5) JIS B 2026 水道用仕切弁
- 6) ティモシェンコ グーディア 弾性論
- 7) バルブ設計資料集 日本工業出版
- 8) 伊飼他 ISO規格船用仕切弁のFEM解析 第53回船研講演会
- 9) 伊飼他 FEM解析に基づく船用バルブ軽量化の研究 船舶技術研究所報告第29巻第1号
- 10) 山倉他 船舶鋳鉄仕切弁の合理的強度設計法の研究 船舶技術研究所報告第25巻第4号
- 11) 天田他 船用仕切弁の三次元応力解析 日本船用機関学会誌 第23巻第4号
- 12) 上野他 仕切弁の弁箱形状と内圧による変形 配管装置No12 (1982)
- 13) 東他 ゲートバルブの構造解析 神戸製鋼技報 1978年
- 14) 非破壊検査技術シリーズ ひずみ測定Ⅱ 財団法人非破壊検査協会
- 15) 技術資料 金属の弾性係数 日本機械学会

## CAEによる低キャビテーションバルブの開発研究(3)

試験研究係 主査 宮川 栄一

### 1. はじめに

バタフライ弁が、低開度を中心とする中間開度で、流量および圧力調整に使用される場合、弁体下流で大きなエネルギーを持って発生・成長・壊滅するキャビテーションが、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、キャビテーション発生領域との相関関係を明らかにすることによってその発生予測を行い、加えて形状修正によるシミュレーションを行うことによって、低キャビ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。

既に研究(2)により、本研究で考案・試作した整流ディスク付き弁体が、キャビテーションの発生を抑制するという効果が明らかとなった。すなわち弁体開口部の隙間から下流に向かって噴き出すオリフィス噴流の形成を妨害することにより、発生するキャビテーション気泡を微細化してエネルギーの上昇を抑え、併せてオリフィス側下流1~1.5Dの配管壁近くで発生する亀裂状の「特異渦キャビテーション」を抑制するため、性能試験による測定および三次元流体解析の両面から確認した。今後は、実用化に向けての弁体形状を求めらる。

上記の目的を達成するため、本研究では流体解析によってキャビテーション発生領域の予測精度を上げ、効果的な新製品開発ツールとして確立する必要があるため、バタフライ弁の種々の形状や開度など、条件を変えた流体解析を行い、解析データの蓄積を行った。また、バタフライ弁以外の仕切弁、ボール弁、玉形弁などの解析も併せて実施した。解析は三次元で行うのが理想的であるが、モデルの基本データである三次元座標値の手計算から、キーボード入力、グリッドの作成等に要する労力、および解析にかかる時間は膨大で、一つのモデルの解析でも数か月単位を必要とする。このため二次元解析の妥当性を検討し確認した上で、いずれも効率のよい二次元モデルで行った。

また、解析して得られたデータに基づいて、流れの基本的性質を直感的に把握し、定性的解析技術の重要な手段となりうるアニメーションシステムを導入し、主に、流線をフィラメントを使った動画で表示するとともに、バックカラーとして乱流運動エネルギーなどの各種の流体評価関数をカラー値として表示し、考察を支援した。

この結果、バタフライ弁について、弁体形状や開度の違いによる流線および渦の形成の相違が明らかになり、また乱流運動エネルギーが、ある値以上の領域を、キャビテーションの発生する確率が非常に高い領域として表せ、発生領域の予測精度を向上させた。また、他のバルブについても流れ模様を明らかにでき、流体解析の応用性を高めたとともに、業界での新製品開発を支援する基礎データが得られたので、以下に報告する。

### 2. 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

#### 2.1 バルブ流体解析システム

流体解析は、以下に示すシステムを使用した。

1. 解析ソフト 米FLUENT社 FLUENT Ver.4.11

2. 本 体 富士通(株) S-4/1 16MB 25MHz 15.8MIPS

当システムについて本年度は、以下に示すOSおよび流体解析ソフトのバージョンアップを実施した。この結果、操作性が向上し、収束能力が向上したので解析時間も以前よりスピードアップした。

1. SUN OS Ver4.0.3C (SUN VIEW仕様) → SUN OS Ver4.1.1 (OPEN WINDOW仕様)
2. FLUENT/BFC Ver3.02 (SUN VIEW対応) → FLUENT Ver4.11 (OPEN WINDOW対応)

## 2.2 アニメーションシステム

平成3年度は、パタフライ弁の改良前後(整流ディスク無・有)のモデルについて、三次元解析を試みた。しかし、計算した結果得られたデータは膨大なものとなった。本来はこれらのデータの中から必要とする情報をできるだけ速く取り出し、正確に評価する必要があるが、三次元解析の場合、今のシステムではこれが不可能であった。

そこで本年度、非常に有効な手段として、解析結果をグラフィックによる可視化技術を利用したアニメーションシステム「FIELD-VIEW」を導入し、目で見える動画として表示しながら評価のツールとして使用した。

このアニメーションシステムは、バルブ流体解析により得られた結果から、弁体周辺の流れ場を直感的に把握し理解を深めるため、ポストプロセッサによってアニメーション画像を作成し、VTRにコマ撮り記録するシステムである。

導入したソフトは、流体解析技術を得意とする米UTRC社と、アニメーションソフト開発会社 Intelligent Light社の共同開発による流体解析専用の可視化評価ソフトウェアツールで、熟流体工学で重要な74評価関数(56スカラー関数, 7ベクトル関数, 11幾何形状関数)をソルバーからの出力関数をもとに、内部計算表示することができる。その他、大規模モデルの高速オペレーション、連続視点変換、ストリームアニメーション、時系列変化アニメーションなどの高速グラフィック表示機能を有している。

当所では、既に導入している流体解析システム「FLUENT Ver4.11」による各種バルブの流体解析結果を、このシステムによってさらにビジュアル化表示しながら現象理解を深め、効率良いバルブ新製品の開発に役立てていこうと考えている。

アニメーションシステムの主な仕様と構成内容は、以下に示すとおりである。

### (1) ソフトウェア

1. アニメーションソフト コベルコシステム(株) FIELD-VIEW Version3.2
2. FLUENT Ver4.11 インターフェイスソフト FFiface.sh
3. NVS-2000 インターフェイスソフト

### (2) ハードウェア

1. 本体 日本シリコングラフィックス(株) IRIS Indigo Elan  
CPU 33MHz MIPS-R3000Aチップ(30MIPS), 主メモリ32MB  
磁気ディスク装置 2.2GB, 磁気テープ装置 150MB 1/4インチ, CD-ROM ドライブ装置
2. 端末 日本電気(株) PC9801FA/U7 13.9MB

## 3. ビデオ装置

サーバ (株)計算流体力学研究所 NVS-2000

インターフェイスユニット ビクター SA-F911

ビデオ ビクタービデオカセットレコーダ BR-S811

モニター ソニートリニオンRGBカラーモニター KX-21HV15

流体解析とアニメーションシステムのハード環境構成を図1に示す。

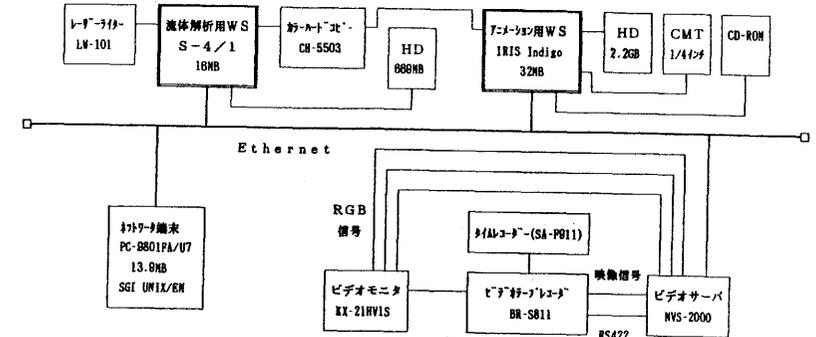


図1 流体解析-アニメーションシステム構成図

システム全体がイーサネットケーブルによりネットワーク化しており、いずれの端末からもファイル転送が可能な環境を構成している。

次に、当システムを使用した流体解析結果のアニメーション化の流れを図2に示す。

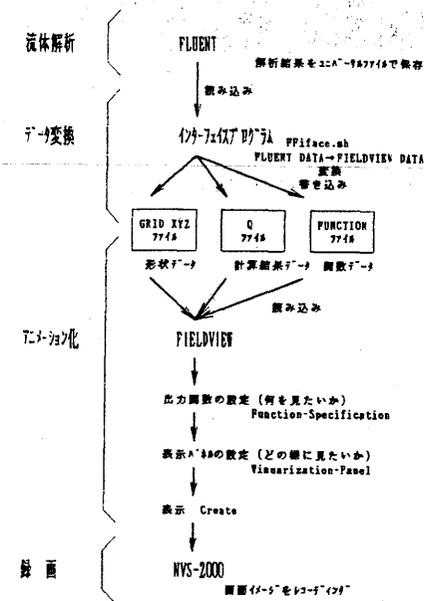


図2 アニメーションシステムの流れ

FLUENTによる解析データをアニメーション表示するには、まずFLUENT側でユニバーサルファイルを作成し、F-FインターフェイスソフトによってFIELD-VIEWが利用できる3つのファイルを作成する必要がある。これは、グリッドポイントのXYZ座標の「形状データ」、「計算データ」、「関数データ」である。これらのデータをFIELD-VIEWで読み込み、出力関数および表示パネルの設定を行う。つまり「何を」、「どの様に」見たいかを設定すれば、希望のアニメーション画面が作成できる。もちろん、操作履歴をリスタートファイルとして登録しておけば、後日同じ表示画面を再現することができる。なお、このアニメーションはCRT上だけのローカルなもので、他の場所で表示したい場合には、VTRにレコーディングすることが必要である。バタフライ弁の解析結果について、アニメーション表示した画面のハードコピーを図3に示す。



図3 アニメーションによる流線表示

### 3. 結果および考察

#### 3.1 流体解析とキャビテーション発生領域の相関関係

既に、平成3年度の研究(2)により、同心型バタフライ弁の改良前後の実流試験によるキャビテーション発生状況の観察および写真撮影と、モデル化した同弁体の三次元流体解析の結果から、解析パラメータとの相関関係について次のことが分かっている。

1. 乱流運動エネルギーが異常に高まる領域で、キャビテーションが発生している。
2. 粘度が高まる領域では、キャビテーション気泡が下流に移動するのを妨げている。
3. 圧力が回復勾配にある領域で、キャビテーションが発生している。
4. キャビテーションが発生している領域では、流速が速くて渦が発生しやすいため、速度勾配が大きくなるため剪断力が異常に増し、渦強度や乱流運動エネルギーが高まると考えられる。

図4に改良前後の同心型弁体について、昨年度実施した三次元解析、および本年度実施した二次元解析で得られた乱流運動エネルギーの結果を示す。ただし、二次元解析の場合、上流側の整流ディスクは省略した。

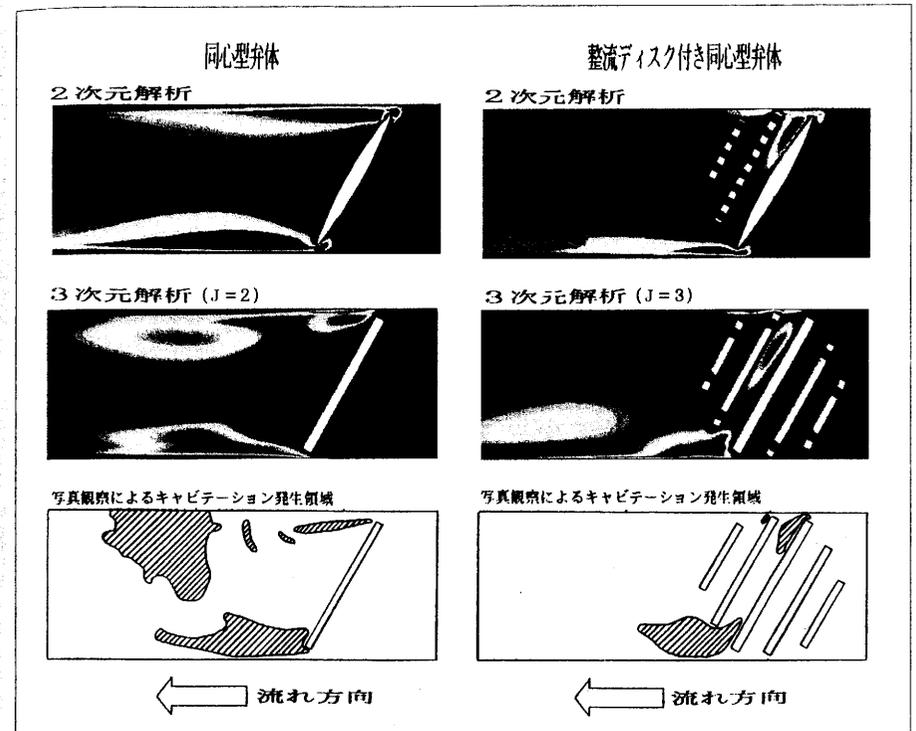


図4 キャビテーション発生領域と乱流運動エネルギー

三次元解析結果では、弁体下流側の乱流運動エネルギーが高まっている3つの領域においては、正にキャビテーションが発生している領域と重なっており、乱流運動エネルギーを解析することによって高い確率で発生領域を予測できることが分かる。

また二次元解析結果からでも、定性的にはほぼ同じ領域で高まっており、キャビテーション発生領域を知る上では、非常に有効であることが分かる。このため、本年度は乱流運動エネルギーを中心に、種々の形状のモデルについて、効率の良い二次元モデルでの解析を実施した。

#### 3.2 各種バルブの流体解析と、その結果および考察

解析条件としては、平成3年度と同じ条件を用いて解析を実施した。なお、モデルに使用したバルブサイズについては、断りのない限り口径150mmである。

##### (1)境界条件

入口速度は、バタフライ弁の解析では基本的に弁体の上流1Dの位置で2m/sec、他のバルブでは、モデルによって1D~2D付近の範囲内で、均一に流体が流入する入口として速度を設定した。しかし、最大流速がISOで3m/sec、船用で3~6m/secと定められているため、今後の解析の条件として検討する余地がある。また、モデルによっては、バルブへの流入部分が絞られて口径が

異なる場合は、解析結果の単純な比較が困難なことから、バルブ部分への流入部分で2 m/secとなるよう設定して速度の統一化を図ったが、今後は無次元化表示による比較など、課題を残している。

(2)流体物性値

常温の水の物性値を使用した。密度は、998.2kg/m<sup>3</sup>、粘度は1.005×10<sup>-3</sup>kg/m・sである。

(3)収束条件

各グリッドノードごとの繰り返し計算において、解析パラメータ (U速度、V速度、乱流運動エネルギー、圧力など)の残差値の合計が10<sup>-3</sup>を下回る時を収束状態とした。このことを、ソフトシール弁 (開度30%、グリッドノード番号: I=22, J=5) で途中の収束条件を変えない解析経過のもとに説明する。このモデルは、最終的には819回で収束している。

図5に各解析パラメータの計算繰り返し数に対する残差履歴を示す。

これによると、圧力の残差値だけが最も速く10<sup>-3</sup>をクリアしているものの、大きく振幅を持って振動しているのに比べ、他のパラメータは、初期の段階は振動するものの、その後は直線的に残差値が減少していることが分かる。

また、図6に各解析パラメータの計算繰り返し数に対する、変数の値そのものの履歴を示す。

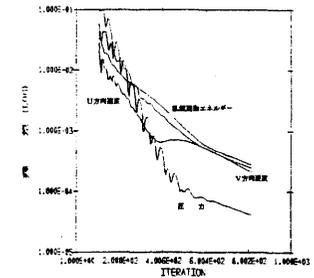


図5 計算繰り返し数に対する各残差履歴 (ソフトシール弁、開度30%、I=22、J=5)

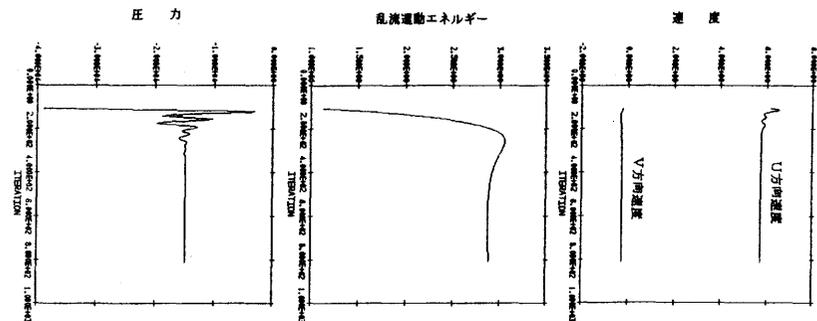


図6 計算繰り返し数に対する各変数履歴 (ソフトシール弁、開度30%、I=22、J=5)

いずれのパラメータも約400回くらいの計算 (最終収束計算数の約半分) で、収束した時の最終的な値になっており、今回使用したこの収束条件での解析が妥当であると考えられる。以下、全てのモデルについてこの条件を採用している。

### 3. 2. 1 バタフライ弁

#### (1)解析モデルにおける上流長さの解析に及ぼす影響

バタフライ弁の解析において、流体が上流側1Dの位置から均一に流入するという条件にしているが、流入領域の短いことが下流の流れに影響しないかを確認するため、図7のような同心型弁体の開度30度で、上流側1D、および3Dのモデルを作成し、解析比較した。

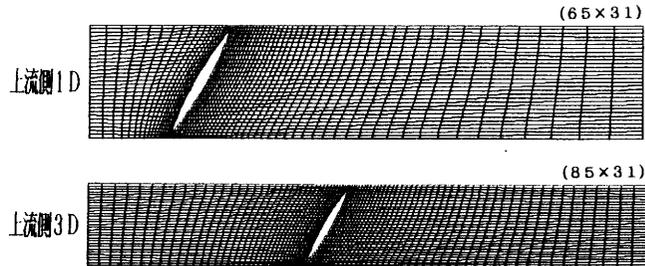


図7 バタフライ弁の解析グリッド (同心型, 開度30度)

解析した結果を表1に示す。

表1 弁体上流側の長さ1D, 3Dの同心型バタフライ弁の解析結果

| No. | 種類   | 開度度 | 流速m/s | GRID数 | ITER数 | V-MAG        | PRESSURE   |            |                   | KE-TURB                  | E-VIS         |
|-----|------|-----|-------|-------|-------|--------------|------------|------------|-------------------|--------------------------|---------------|
|     |      |     |       |       |       | MAX<br>m/sec | MAX<br>KPa | MIN<br>KPa | $\Delta P$<br>KPa | MAX<br>m <sup>2</sup> /s | MAX<br>kg/m·s |
| 1   | 上流1D | 30  | 2.0   | 2015  | 508   | 19.5         | 2.7        | -423.1     | 425.8             | 36.5                     | 22.1          |
| 2   | 上流3D | 30  | 2.0   | 2635  | 650   | 19.5         | 2.4        | -425.2     | 427.6             | 30.6                     | 21.5          |

いずれのモデルとも、最大速度は19.5m/secと全く同じで、圧力や最大粘度もほとんど変わらなかった。ただ、最大乱流運動エネルギーにおいては、3Dの方が若干小さな値となる結果が得られた。しかし、速度ベクトル、流線、乱流運動エネルギーが10m<sup>2</sup>/sec<sup>2</sup>以上の領域分布を図8に示したところ、全くといっていいほど違いが認められず、定性的には、上流側1Dの解析でもほとんど問題のないことが分かった。

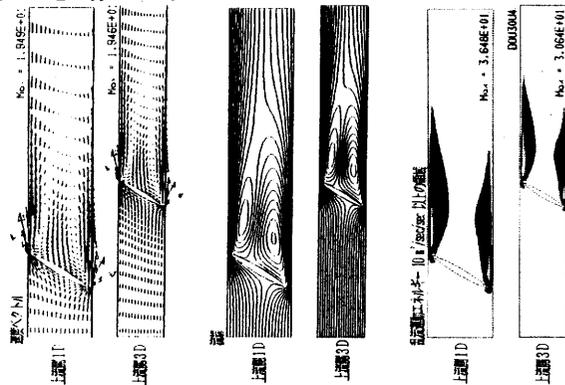


図8 上流側長さの解析に及ぼす影響

このため、以下のバタフライ弁の解析では、弁体部より上流側1D、下流側4Dの領域を解析領域としてモデリングし、全グリッドノード数は、複雑な弁体形状のモデル以外は、基本的に65×31=2015で行った。(1Dは3Dに比べ、グリッド数で約3割、解析時間でも約3割少なくでき、効率的である)

#### (2)乱流運動エネルギーによる初生キャビテーションの判定

流体解析により、初生キャビテーションの発生を判定できることは理想であるが、その可能性を調べるため、開度30度の同心型弁体で、流入速度を変化させた場合の解析を実施して検討した。平成2年度に実施した実流実験の結果、口径150mmの軸非貫通同心型弁体(解析モデルと類似)の初生キャビテーション発生時の流速は、1.19m/sec (Re=159,000, a=1.86)であったため、流入速度を、0.2~2.0m/secの範囲で、0.2m/secおきに設定して解析し、初生域(約1m/sec付近)で最大乱流運動エネルギーがどう変化するかを調べた。解析した結果を図9に示す。

図からは、入口速度が速くなる程徐々に最大乱流運動エネルギーが上昇するという緩やかなカーブ(二次曲線)が得られただけで、初生付近の約1m/secの流速で、最大乱流運動エネルギーの急激な立ち上がりなど目に見える変化はなく、初生の判定は困難であることが分かった。

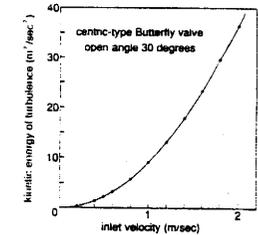


図9 Inlet Velocity-Kinetic Energy of turbulence

#### (3)解析によるキャビテーション発生領域の推定

先に示した図9から、入口速度が約1m/secの時の最大乱流運動エネルギーの値は、約10m<sup>2</sup>/sec<sup>2</sup>であり、乱流運動エネルギーがこの値以上の領域をキャビテーションが明らかに発生しているものと判断して、それぞれの流速におけるこの領域を図10に示した。

実流実験によるキャビテーションの発生状況の観察結果とほぼ同様の傾向が得られ、まず流速が1.2m/secの時にノズル側でその領域が出現し、その後オリフィス側で出現する。さらに流速が増すとこの領域が下流域へ拡大するという傾向が示されている。このため、バタフライ弁においては、乱流運動エネルギーが10m<sup>2</sup>/sec<sup>2</sup>以上の領域はキャビテーション発生領域を推定する上での重要な値であると考えられ、この値以上の領域を図示することにより、発生領域を推定できると考えられる。

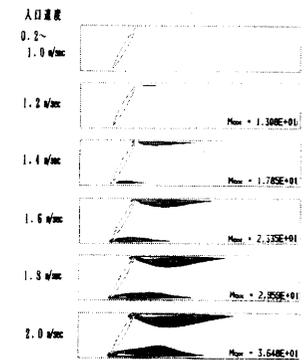


図10 流速変化による乱流運動エネルギー10m<sup>2</sup>/sec<sup>2</sup>以上の領域

(4)同心型弁体の各開度ごとの流れ

同心型バタフライ弁体について、弁開度を变化させた場合に、渦の発生仕方、流れがどのように変わるかを解析した。開度は15度から75度まで、15度おきに変化させた5つのモデルについて実施した。入口速度は2 m/secとした。

解析した結果を図11～図14に示し、図15に流線、図16に速度2 m/sec以上の領域、図17に乱流運動エネルギー分布を示す。

各開度における最大速度、圧力差、最大乱流運動エネルギーは、開度が大きくなるに従って、指数的に小さくなるにもかかわらず、最大粘度だけは開度が45度で特異なパターンを示している。これは、流線図より明らかなように、45度付近で弁体下流の渦が2つから1つに減少する中間的な開度（低開度の流れから高开度の流れへの移行期）であることが影響しているものと考えられる。

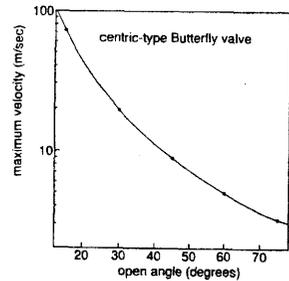


図11 Open angle-maximum Velocity

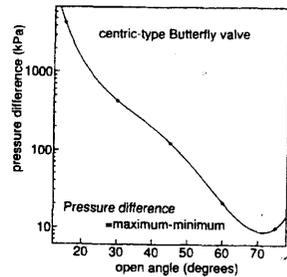


図12 Open angle-Pressure difference

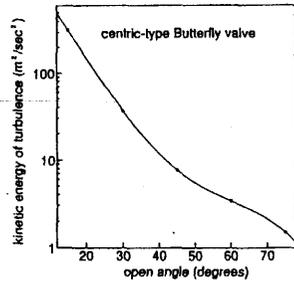


図13 Open angle-Kinetic Energy of turbulence

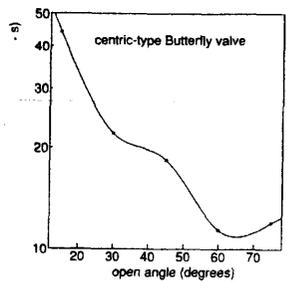


図14 Open angle-maximum Viscosity

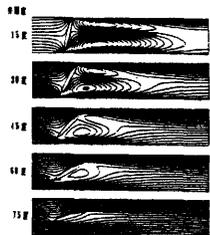


図15 同心型弁体の各開度における流線

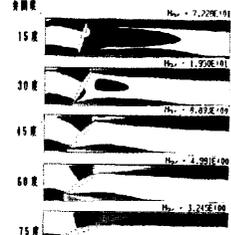


図16 同心型弁体の各開度における速度2 m/sec以上の領域

流線の結果からは、15度の低開度では、弁体のオリフィス側およびノズル側ともに弁体下流に2つの大きな渦が発生している。この渦は、開度が開くに従ってまずノズル側の渦が消滅し、オリフィス側の渦は中央部へ移動しながら縮小し（開度45度）、開度75度以上で完全に消滅する。先に述べたように、低開度では2つの渦が形成されるけれど、高开度では渦が1つになるため、実際の流れでは、中間開度で周期的な振動を含んだ、不安定な流れ状態が発生する可能性が高いと考えられ、弁を開閉する時、実機でアンバランストルクが発生する原因と思われる。

また、速度が平均流速2 m/sec以上となる領域は、低開度では、オリフィス側とノズル側の隙間からの激しい噴き出し部分と、弁体下流中央の逆流部分に大きく広がっている。しかし、開度が開くに従って、最大速度は当然小さくなり、渦の縮小とともに、中央部での逆流の激しさは急速に収まってくる。

乱流運動エネルギー分布では、開度が小さい程その最大値は非常に大きく、弁体エッジからの噴き出し部分に集中している。しかし、開度が大きくなるに従って、配管と弁体の隙間というよりも、弁体下流側側面部に若干高まる領域が集中している程度である。

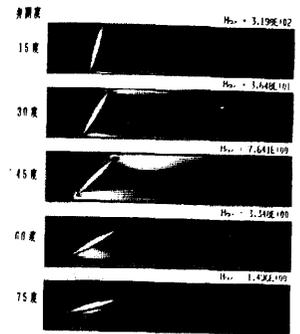


図17 同心型弁体の各開度における乱流運動エネルギー

(5)改良型同心型弁体の流れ

同心型弁体に、キャビテーションを抑制し、その低減に効果があると思われる整流ディスクや、オリフィス側の上流および下流管壁に穴が開いた障害物を取り付けたモデルなどを解析し、流線および乱流運動エネルギーを求め、障害物がどのように流れに影響するかを、何も改良を施さない基本型と比較検討した。

解析結果を図18～図21に示し、図22に流線、図23に乱流運動エネルギーが10 m²/sec²以上の領域を示す。

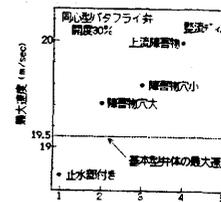


図18 改良の種類と最大速度

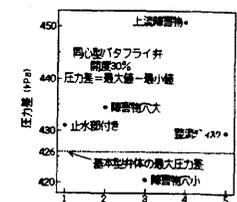


図19 改良の種類と圧力差

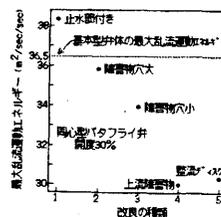


図20 改良の種類と最大乱流運動エネルギー

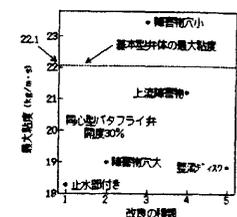


図21 改良の種類と最大粘度

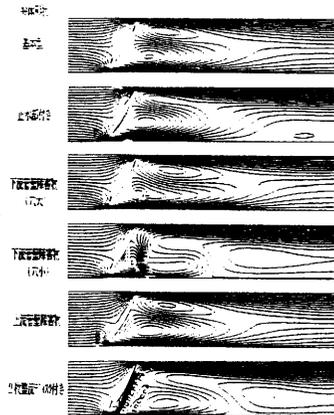


図22 改良型同心型弁体の流線（開度30度）

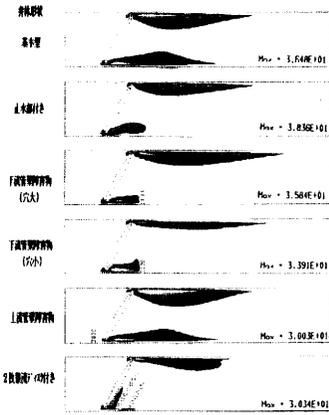


図23 改良型同心型弁体の乱流運動エネルギー  $10\text{m}^2/\text{sec}^2$ 以上の領域

最大速度は、当然障害物がある複雑なモデル程大きくなる傾向が現れているが、その差は大きくはない。また、圧力差は上流に障害物がある場合、弁体上流側での抵抗が増えるため、圧力が高まるため最も大きく、その他のモデルについても、基本型に比べ大きめの値を示している。最大乱流運動エネルギーは、止水部付きを除き低下しており、特に上流障害物と整流ディスクが最も低下している。

流線および乱流運動エネルギーが  $10\text{m}^2/\text{sec}^2$ 以上の領域を表示した結果からは、弁体下流に障害物がある場合、オリフィス側の弁体エッジからの流れの噴き出しが直接遮断され、大きな渦の発生が抑制されている。この抑制効果は、穴が小さくなる程大きい。このため、乱流運動エネルギーの高まる領域も、障害物より下流へは移動せず、エネルギー低減効果の大きいことが分かる。障害物を弁体上流側管壁に取り付けた場合は、弁体下流での渦の発生状況は、基本型とほとんど変わらないものの、最大乱流運動エネルギーが大きく低下している。

一方、弁体部に2枚の整流ディスクを取り付けた改良弁体では、オリフィス側の弁体下流側に僅かな隙間から流れる流体により緩やかに渦が発生しているが、ノズル側では弁体のすぐ後ろ側では渦の発生は見られず、下流3D付近のオリフィス側寄りに後退して緩やかに渦まいている。また、乱流運動エネルギーは、オリフィス側では2枚のディスクに直接遮られることにより、高エネルギー領域は、弁体と整流ディスク間に方向を変え、弁体部から下流配管中に広がるのを抑えている。また、ノズル側でもその領域がかなり縮小している。その上、最大値も大きく低下しており、抑制効果は最も大きいと考えられる。

(6) 偏心型弁体の流れ

偏心型弁体は、その構造上全閉時のシール性が非常に良いため、その目的に応じて使用されている。しかし、偏心率（偏心距離/弁体径）が大きい弁体ほど、オリフィス側とノズル側の隙間に流れる流体の通過流量が異なるため、アンバランストルクの発生に大きく影響してくる。また、

逆に取り付けた場合も、通過する開口面積などの条件が変わるため、流れに方向性のある弁体である。

ここでは、基本的なレンズ型弁体とZライン型の軸上流側と軸下流側、および二重偏心型軸上流側の弁体形状について解析し、流線や乱流運動エネルギーを求め比較した。

解析した結果を図24～図27に示し（次に示す非対称型を含む）、図28に流線、図29に乱流運動エネルギー  $10\text{m}^2/\text{sec}^2$ 以上の領域を示す。

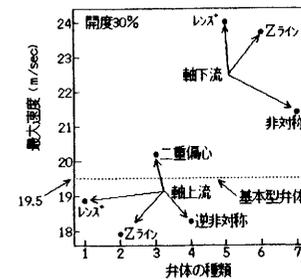


図24 偏心型弁体の種類と最大速度

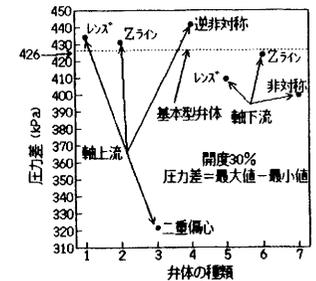


図25 偏心型弁体の種類と圧力差

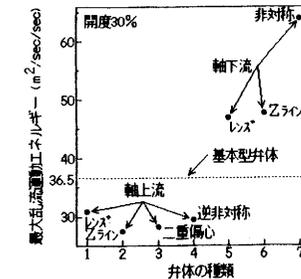


図26 偏心型弁体の種類と最大乱流運動エネルギー

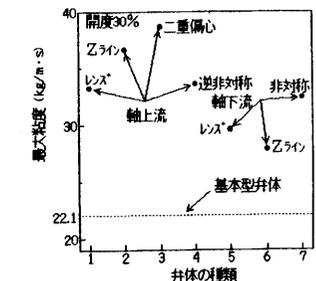


図27 偏心型弁体の種類と最大粘度

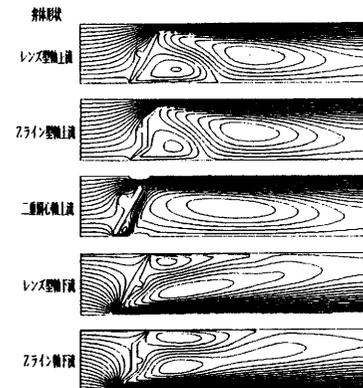


図28 偏心型弁体の流線（開度30度）

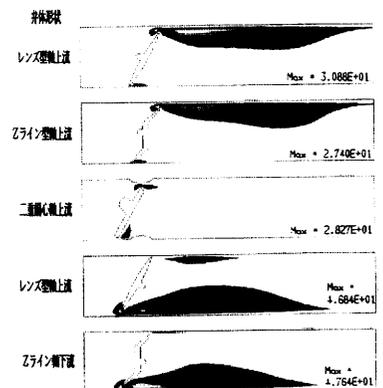


図29 偏心型弁体の乱流運動エネルギー  $10\text{m}^2/\text{sec}^2$ 以上の領域（開度30度）

軸の位置によって結果は全く異なり、最大速度については、軸上流側は小さく、軸下流側は非常に大きい。圧力差はいずれも基本型とほぼ同じ値であるが、二重偏心だけが飛び抜けて小さい。最大乱流運動エネルギーは、最大速度と同様の傾向で、軸上流側が基本型より小さくなっており、反対に軸下流側は上流側に比べ約1.5倍の非常に大きな値を示している。

流線および乱流運動エネルギー $10\text{m}^2/\text{sec}^2$ 以上の領域を表示した結果からは、軸上流側の弁体では、構造上ノズル側の弁体エッジと配管との隙間が大きく開くことになり、下流側への強い噴き出しによる流線が得られた。弁体下流側での渦の発生状況は、弁体形状によらずほとんど同じパターンを示しており、ノズル側から下流配管中央部に形成される渦が支配的となる。乱流運動エネルギーも同様、ノズル側下流の噴き出し部分で、大きな高エネルギー領域分布を示している。

一方、軸下流側の弁体では、軸上流側とは反対に、オリフィス側で大きく隙間が開くことになり、オリフィス側で強い噴き出しによる流線が表れている。渦についてはノズル側では小さく、オリフィス側で下流配管中央部に向かった細長い大きな渦が形成され、支配している。乱流運動エネルギーについては、下流側への噴き出し具合に比例し、オリフィス側下流で高エネルギー領域が大きく分布している。またレンズ型のノズル側では弁体エッジからではなく、弁体エッジから少し下流に離れた部分で高まる領域が出現している。

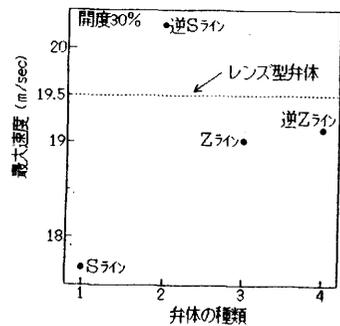


図30 S/Zライン型弁体の種類と最大速度

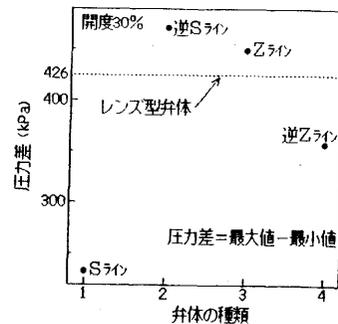


図31 S/Zライン型弁体の種類と圧力差

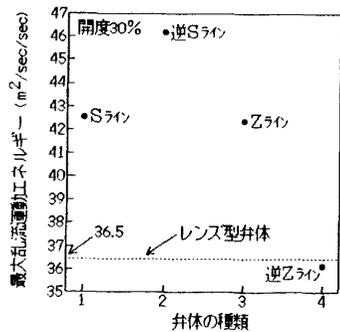


図32 S/Zライン型の弁体種類と最大乱流運動エネルギー

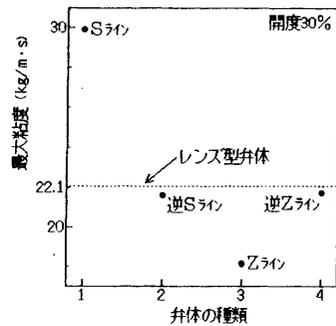


図33 S/Zライン型弁体の種類と最大粘度

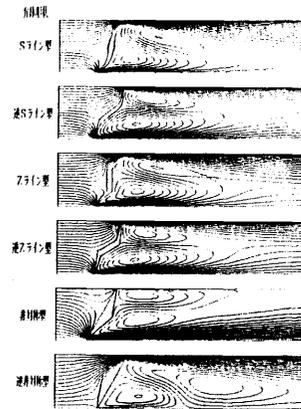


図34 レンズ型以外の弁体形状の流線 (開度30度)

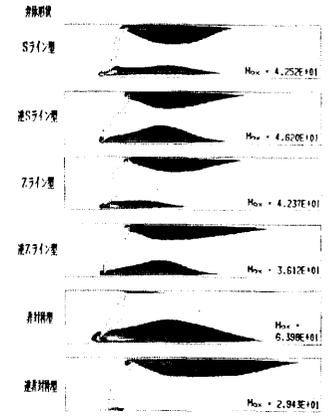


図35 レンズ型以外の弁体の乱流運動エネルギー $10\text{m}^2/\text{sec}^2$ 以上の領域 (開度30度)

(7) レンズ型以外の弁体形状の流れ

レンズ型以外の弁体形状について解析し、流線や乱流運動エネルギーを比較した。形状としては、Sライン型 (逆向き)、Zライン型 (逆向き)、および非対称型 (逆向き) である。

解析した結果を図30～図33に示し、図34に流線、図35に乱流運動エネルギー $10\text{m}^2/\text{sec}^2$ 以上の領域を示す。

最大速度では、形状が流れに対して最も流線型となっているSライン型が最も小さくなっている。圧力差もこれに比例して、Sライン型が最も小さくなっているものの、最大乱流運動エネルギーでは、最も流れに対して抵抗した形状である逆Zライン型がレンズ型とほぼ同じ値である以外は、全て非常に大きな値となっている。

流線および乱流運動エネルギー $10\text{m}^2/\text{sec}^2$ 以上の領域を表示した結果からは、基本的には、Sライン型およびZライン型の弁体下流側で、2つの大きな渦が発生している。非対称型は、構造上軸が偏心しており、先に述べた偏心型弁体の流線および渦の形成形態を示している。

乱流運動エネルギーについては、弁体各エッジの隙間は同心系の形状と同じであり、レンズ型と同様の分布を示している。非対称型では偏心型と同様の分布であり、ノズル側が開く逆非対称型 (軸上流型) に比べ、オリフィス側が開く非対称型 (軸下流型) はその最大値が約2倍の大きな値を示している。

(8) リデュースを付けた同心型弁体の流れ

現場でバタフライ弁を取り付ける時、使用目的がコントロール用として使用される場合には、リデュース (JIS B 2311) を弁前後に取り付けて使用する場合がある。これを取り付ける利点として

1. 配管に取り付けるバルブ径を小さくできるため、コストを下げられる。
2. 取り付けスペースが小さくできる。
3. 流体の制御性がよい。

ことがあげられる。

通常リデューサの選定は、その抵抗を考慮して、おおよそ2サイズダウンが行われている。また、EC諸国では、リデューサとバタフライ弁部分が一体となったバルブが市販されている。つまり、制御がしやすいことのほか、キャビテーションを抑制する効果も期待されているためである。

ここでは、開度30度のレンズ形同心型弁体について、JIS B 2311に基づく同心型（オリフィス側およびノズル側ともに傾斜したもの）および偏心型のリデューサ（オリフィス側のみ傾斜、またはノズル側のみ傾斜）の型による違いとその効果を見るため解析を実施した。リデューサはいずれも2型を採用し、径を配管径（300mm）の1/2にしてモデリングした。解析グリッドを図36に示す。

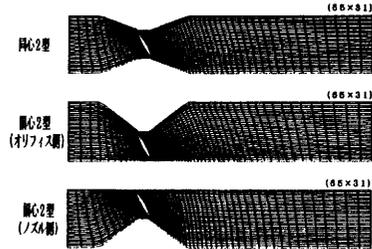


図36 リデューサ付き同心型弁体の解析グリッド（開度30度）

解析した結果を表2に示し、図37に流線、図38に乱流運動エネルギー $10\text{m}^2/\text{sec}^2$ 以上の領域を示す。

表2 リデューサ付き同心型バタフライ弁の解析結果（開度30度）

| No. | 種類           | 開き角  | 流速<br>m/s | GRID<br>数 | ITER<br>数 | V-MAG        |            |            |                   | PRESSURE                     |  | KE-TURB | E-VIS |
|-----|--------------|------|-----------|-----------|-----------|--------------|------------|------------|-------------------|------------------------------|--|---------|-------|
|     |              |      |           |           |           | MAX<br>m/sec | MAX<br>KPa | MIN<br>KPa | $\Delta P$<br>KPa | MAX<br>$\text{m}^2/\text{s}$ | MAX<br>$\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$ |         |       |
| 1   | 同心2型         | 20.3 | 2.0       | 2015      | 606       | 31.4         | 3.5        | -975.7     | 979.2             | 67.9                         | 46.8                                     |         |       |
| 2   | 偏心2型(オリフィス側) | 36.4 | 2.0       | 2015      | 549       | 36.3         | 4.6        | -961.6     | 966.2             | 69.4                         | 45.8                                     |         |       |
| 2   | 偏心2型(ノズル側)   | 36.4 | 2.0       | 2015      | 556       | 31.8         | 2.3        | -1170.0    | 1172.3            | 97.4                         | 48.2                                     |         |       |

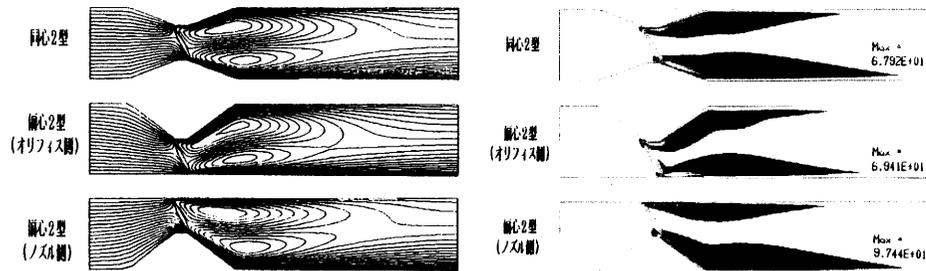


図37 リデューサ付き同心型弁体の流線（開度30度）

図38 リデューサ付き同心型弁体の乱流運動エネルギー $10\text{m}^2/\text{sec}^2$ 以上の領域（開度30度）

最大速度は、オリフィス側が開く偏心型で最も大きいけれども、圧力差と最大乱流運動エネルギーは、ノズル側が開く偏心型の方が他の約1.4倍大きいという結果が得られた。

流線では、どのタイプでも基本的に同じであり、弁体下流にエッジからの噴き出しに伴う2つの大きな渦が発生しており、いずれも配管壁（またはリデューサ傾斜面）に沿って形成されている。乱流運動エネルギーの高い領域も、噴き出しによる速度の速い領域に分布している。

(9)開き角度の異なるリデューサ付き同心型弁体の流れ

次に、リデューサの絞りおよび拡大開き角度が流れに及ぼす影響をみるため、1型同心型リデューサについて、開き角度（片角度）が5度から60度の範囲についてモデリングし解析を実施した。リデューサのサイズはJIS規格に照らして採用し、開き角度5度は125mm、10度は100mm、15度は80mm、20度から60度は65mmである。

解析条件は、全モデルで1D上流側の配管流入速度を2 m/secと設定したものと（解析1）、リデューサなしの場合の弁体付近の解析結果を直接同じ条件と比較するため、それぞれの弁体部への流入速度を2 m/secと設定したモデル、すなわち、開き角度5度のモデルで、1D上流側の入口速度を1.6667 m/sec、10度で1.3333 m/sec、15度で1.0667 m/sec、20~60度の5モデルで0.8667 m/secと設定したもの（解析2）の2種類の境界条件で計算した。

両解析を比較した結果を図39から図42に示し、図43に解析1の流線、図44に解析1および図45に解析2の乱流運動エネルギー $10\text{m}^2/\text{sec}^2$ 以上の領域、図46に解析2の速度2 m/sec以上の領域を示した。

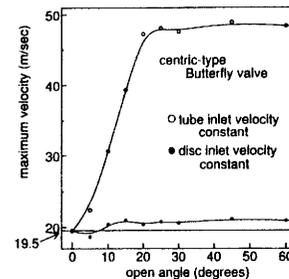


図39 Open angle-maximum Velocity

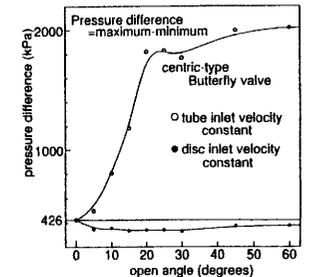


図40 Open angle-Pressure difference

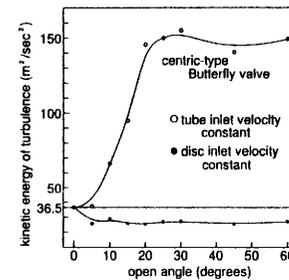


図41 Open angle-Kinetic Energy of turbulence

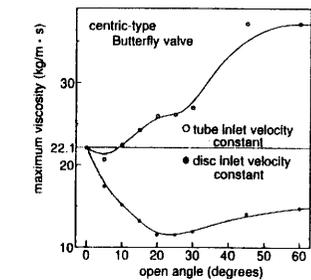


図42 Open angle-maximum Viscosity

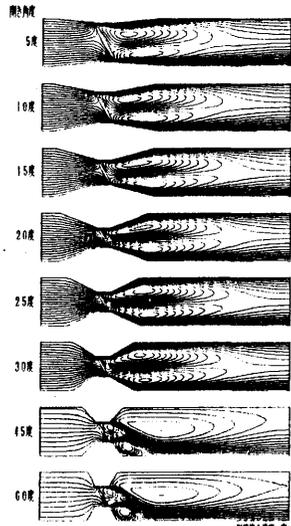


図43 リデューサ付き同心型弁体の各開き角度の流線 (開度30度)

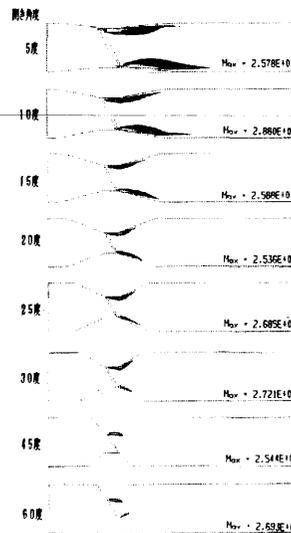


図45 リデューサ付き同心型弁体の各開き角度の乱流運動エネルギー  $10\text{m}^2/\text{sec}^2$  以上の領域 (開度30度)

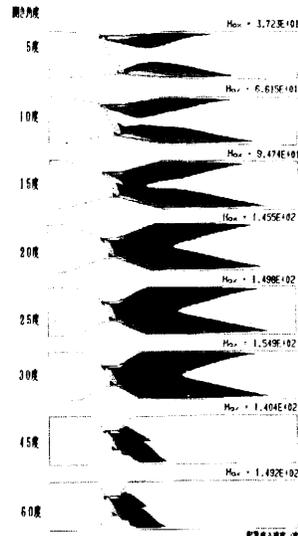


図44 リデューサ付き同心型弁体の各開き角度の乱流運動エネルギー  $10\text{m}^2/\text{sec}^2$  以上の領域 (開度30度)

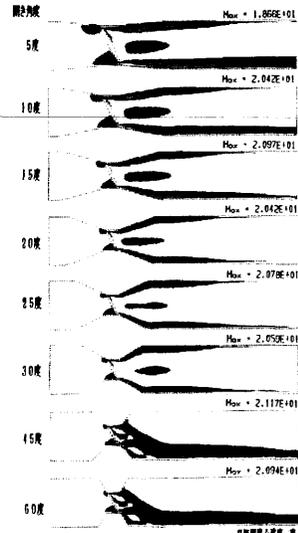


図46 リデューサ付き同心型弁体の各開き角度の  $2\text{m}/\text{sec}$  以上の領域 (開度30度)

(解析1)

配管流入速度を  $2\text{m}/\text{sec}$  に統一した解析結果を見ると、リデューサの開き角度が5度から20度までは、弁体径の相違により、最大速度、圧力差、最大乱流運動エネルギーは直線的に大きくなっている。しかし、口径が  $65\text{mm}$  で一定となる開き角度20度以上のモデルでは、開き角度が大きくなっているにもかかわらず、最大流速が約  $48\text{m}/\text{sec}$ 、圧力差 (最大値-最小値) が約  $1800\text{kPa}$ 、最大乱流運動エネルギーが約  $150\text{m}^2/\text{sec}^2$  の値でほぼ一定となって上昇していない。これは、下流のリデューサ部分で流れに剥離が起り、このためチョーク状態を引き起こして、これ以上流体が流れない現象が現れているためと考えられる。

しかし、最大粘度については、角度が45度と60度では、異常に高い値を示す。これは、以下に述べる流線でも分かる通り、基本的な流れが変わる角度に大きく影響していると考えられる。

また流線を示す図を見ると、開き角度が30度までは、基本的に弁体下流側に大きな2つの渦を形成し、低角度の場合はオリフィス側の渦が比較的大きい。しかし、開き角度が45度以上になると、開き角度が30度以下の場合の渦のでき方と全く異なったものとなっている。すなわち30度までは、リデューサ壁面の傾斜角が比較的小さいため、流体は壁面に引き寄せられて流れを形成するが、45度以上ではリデューサ壁面が流れに対して急角度となるため、噴き出しに起因するところの大きな2つの渦が壁面から離れて崩れ、新たに、弁体に起因するエッジからの2つの小さな渦、ノズル側下流のくぼみでリデューサ角度に起因する渦、および配管の全体的な主流による下流の1つの非常に大きな渦が発生しているものと考えられる。

一方乱流運動エネルギーが  $10\text{m}^2/\text{sec}^2$  以上の分布は、開き角度が30度までは基本的な流れが同じであるため、角度が大きくなるに従ってその領域が徐々に大きくなるだけであり、開き角度が45度以上では、流れ模様が一転するため、分布も急変している。

(解析2)

次に、弁体部流入速度を  $2\text{m}/\text{sec}$  に統一した解析結果を見ると、最大速度は、リデューサなしの場合に比べ若干高めで、圧力差および最大乱流運動エネルギーは低めでほぼ一定の値を示しており、リデューサの開き角度による変化 (影響) は余り見られない。粘度だけは、開き角度20から25度までは急激に低下して最小となり、その後やや大きくなっていく傾向を示している。

また流線については、いずれの開き角度でも上記の解析1とほとんど同じ傾向を示しているため考察は省略するが、開き角度が20度から30度でオリフィス側の渦が若干大きくなる傾向が見られ、流速が変わっても流れ模様はほとんど変わらないことが分かった。

速度が  $2\text{m}/\text{sec}$  以上の領域分布では、いずれの開き角度の場合でも、それぞれの弁体と配管との隙間からの激しい噴き出し部分と、下流側配管中央の逆流している部分で形成されている。また、開き角度45度以上の配管下流では、主流に沿ったノズル側の領域のみ分布している。

一方、乱流運動エネルギーが  $10\text{m}^2/\text{sec}^2$  以上の領域は、解析1の場合と大きく異なり、開き角度が大きくなるに従ってノズル側を中心に領域が小さくなり、45度に至ってはノズル側での領域が消滅している。分布の仕方では、開き角度が30度まではリデューサ壁面に引きつけられるように速度の速い領域に分布しているが、45度以上では、流線を見た渦の発生に影響されて、リデューサ壁面から離れて独立してしまうと考えられる。

### 3. 2. 2 仕切弁

仕切弁は、全開または全閉状態で使用することが一般的であるが、実際は中間開度の絞りの状態でも使用されることがあって、キャビテーションの発生が原因と思われるトラブルもあり、流体解析によって流れを明らかにしておく必要があると考えられる。

流体解析では、ある程度解析すべき形状を単純モデル化する必要があるが、実際のパルプの場合、ごく低開度では、弁体付近を通過する流体は、複雑な形状に微妙に影響されるため、実物形状に近いモデルでの解析が必要となる。このため実際の弁体、弁箱形状に近づけたモデルを採用することにした。

ここでは、彦根パルプ産地内企業からの協力を得て、産地で製造されている仕切弁等の実寸法を記した設計図の提供を受け、座標値をそのまま入力してモデリングし、解析によって、流線、乱流運動エネルギー、圧力、粘度を求め、流れの様子を明らかにした。

使用したパルプは、ソフトシール弁 (JWWA B 62) および新規格の水道用ダクタイル鋳鉄仕切弁 (JWWA B 122, 以下B122弁) である。ソフトシール弁は、従来の水道用仕切弁 (JIS B 2062) やB122弁と違って、弁箱の底がフラットになっており、弁体はゴムによってライニングされていて、形状に丸みを帯びている特徴がある。

解析は、いずれのパルプについても、弁開度が15%と30%の2つのモデルについて、弁体付近を詳細にグリッドマッピングして行った。全グリッドノード数は $66 \times 94 = 6204$ であり、解析グリッドを図47に示す。

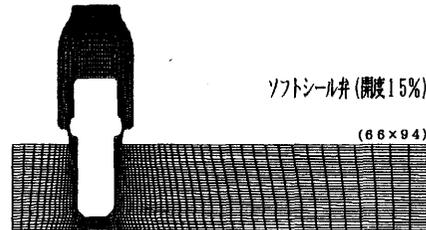


図47 仕切弁の解析グリッド

解析した結果は図48から図51に示し、図52に速度ベクトル、図53に乱流運動エネルギーが $0 \sim 10 \text{ m}^2/\text{sec}^2$ までの分布、図54に圧力が $-100,000 \sim 100,000 \text{ kPa}$ までの分布、図55に粘度が $0 \sim 35 \text{ kg/m} \cdot \text{s}$ までの分布を示す。

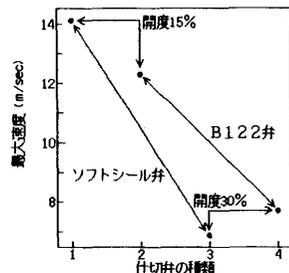


図48 仕切弁の最大速度

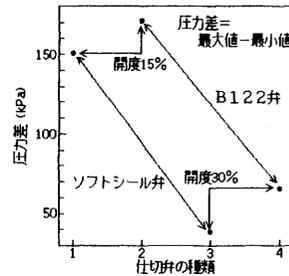


図49 仕切弁の圧力差

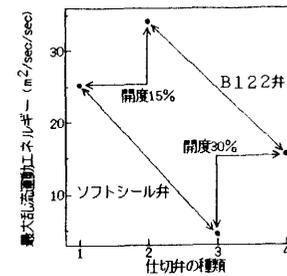


図50 仕切弁の最大乱流運動エネルギー

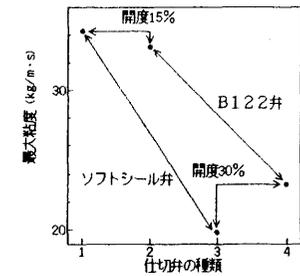


図51 仕切弁の最大粘度

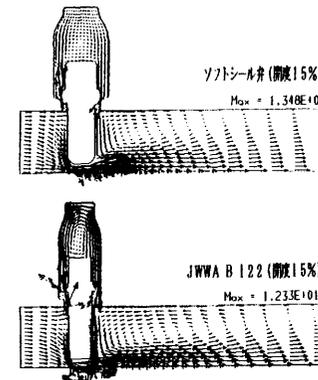


図52 仕切弁の速度ベクトル

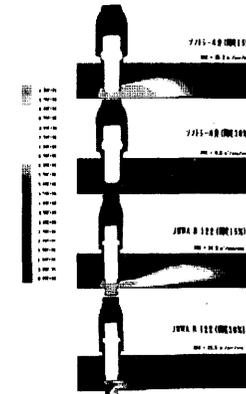


図53 仕切弁の乱流運動エネルギー

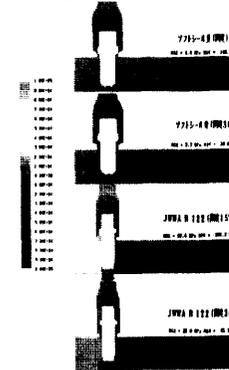


図54 仕切弁の圧力

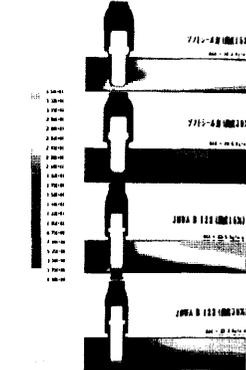


図55 仕切弁の粘度

最大速度は、開度が15%ではソフトシール弁の方が大きいですが、30%になるとB122弁の方が若干大きくなる。これは、ソフトシール弁は底がフラットになっているため、15%では実質的な開口面積が、B122弁より小さいため速度が速くなると考えられる。また30%では、流体通過部の相違は小さくなるものの、弁蓋への流入経路が、形状からも分かるとおりソフトシール弁の方が大きくなるためと考えられる。

圧力差は、いずれの開度においてもB122弁の方が大きいですが、これは、弁体形状が角ばっており、

流線型をしているソフトシール弁に比べて抵抗が大きいとと考えられる。

乱流運動エネルギーも同様で、弁体形状に加え、弁箱底のポケットの影響による高まりが大きいと考えられる。

(1)速度ベクトル

ソフトシール弁（開度15%）の速度ベクトルからは、本流は弁体下部の開口部へ流れ込むが、一部配管上部では弁箱と弁体の僅かな隙間から弁蓋の中へ流れ込んでいる。この流れは、弁箱弁座上部の鍵の手となつたくぼみ部分と、弁体真上の弁蓋内空間で渦を形成し、下流側の隙間から弁体側面に沿って下向きに配管へ流れ戻っている。また、弁体に遮られた下流側配管の領域で、1つの大きな渦を形成していることが特徴的である。この流れは、開度30%でもほとんど同じであるが、弁体と弁箱との隙間が大きくなって、弁蓋の中に流れ込む流体が15%に比べ多くなるため、マイクロな形状効果が薄れ、流れがスムーズとなって弁箱弁座上部のくぼみの小さな渦は消滅し、反対に弁蓋の中は流速が増すため渦は激しくなっている。

B122弁（開度15%）の流れも、基本的にはソフトシール弁と類似した流れを示している。しかし、ソフトシール弁と違って、弁体や弁箱のエッジ部分に角があるため渦が発生しやすく、しかも弁箱底のポケットでは、流体が滞留しながら渦まいており、局部的な形状の違いに起因した異なる流れがある。

(2)乱流運動エネルギー

乱流運動エネルギーはいずれの弁体でも、バタフライ弁での解析結果と同様、流体が通過する速度の速い領域で異常に高まっている。また、最大乱流運動エネルギーは、開度15%、30%ともソフトシール弁に比べB122弁の方が大きい値を示している。

開度15%では、ソフトシール弁では、弁体の先が丸みを帯びているため、高い領域が流れに従って弁体裏側にまで回り込んでいるのに対し、B122弁では角になっているため、回り込み現象は起こらず、配管下流側中央部へと広がっている。また、隙間への流れ込みによって、上流側で若干高まる傾向が見られるものの、弁蓋の中での高い領域は形成されない。

また、開度が30%となると、ソフトシール弁の最大乱流運動エネルギーは、15%の約1/5と極端に下がり、高い領域分布も解消されるものの、B122弁では、開口部での高い領域は残っており、最大値も半分程度しか低下しない。これは、弁体と弁箱の隙間の大きさの差による流量の比率、および弁体先の形状の相違と、ポケットの有無が大きく影響しているものと考えられる。

(3)圧力

図により圧力分布を比較すると、開度15%でソフトシール弁の弁体下部に異常に圧力が下がる領域ができること、B122弁の上流側がやや高くなることが特徴的である。ソフトシール弁がB122弁に比べ異常に低くなるのは、弁底がフラットで流体が通過する速度が非常に大きくなるためではないかと考えられる。（ソフトシール弁最大速度：14.1m/sec、B122弁：12.3m/sec）つまり、B122弁で低くならないのは、弁底にポケット部分を有するため流体が通過する部分の実質的な開口面積がソフトシール弁より大きくなるため、これは、ポケット部分が流体通過時に緩衝的役割を果たしているためと考えられる。

また、ソフトシール弁の開度15%で弁蓋の中の圧力が、下流側配管中の値まで低下するのは、弁箱一弁体の隙間が狭く、蓋の中に流れ込む流体が少ないためと考えられる。

開度が30%になると、いずれのバルブも大きな圧力低下は解消される。

(4)粘度

いずれの弁体および開度でも、流体が弁体を通じたあとの配管内上部で広い範囲にわたって高くなっている。特に、ソフトシール弁では、開度15%で開口部が最も高くなって、下流配管の広範囲に高い領域が広がっているものの、開度30%になると最大値も小さくなり、高い領域も極端に小さくなってくる。しかし、B122弁では開度が開いても、最大値も余り下がらず、高い領域もほとんど解消されない。

3. 2. 3 ボール弁

ボール弁は、構造的に2か所で流体を絞っているため騒音の発生が少なく、今後、その需要は増えると予想されているバルブである。使用されるボールの材質としては、プラスチック、焼結合金、ステンレス（棒材や管材からの加工）等があり、水道用にも補修弁に使用されている。このボール弁の100~150mmの小口径は、用途として、主に中間開度で流量調整用に使用されている。また性能として、その構造上止水性が非常によく、コンパクトで高圧にも耐えるため、特に薬品関係での用途が多い。これらの特性から、4インチ以下のサイズでは、先に述べたバタフライ弁と競合している。

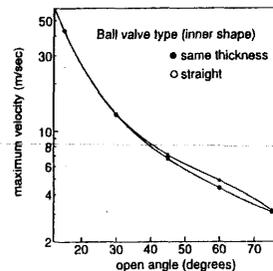


図56 Open angle-maximum Velocity

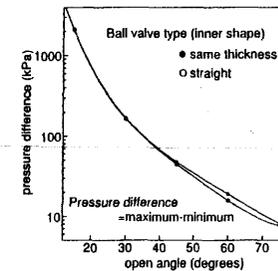


図57 Open angle-Pressure difference

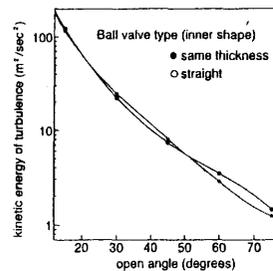


図58 Open angle-Kinetic Energy of turbulence

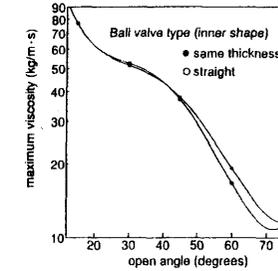


図59 Open angle-maximum Velocity

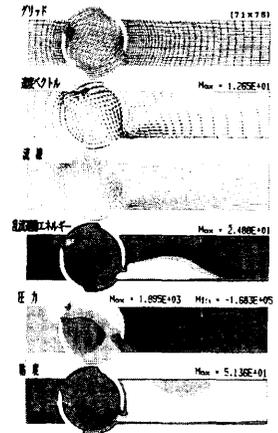


図60 ボール弁の流体解析結果(開度30度)

本研究では、開閉メカニズムが同じであるバタフライ弁の流れと比較する上でも重要と考えられるため、これらのボール弁についても解析を実施した。解析モデルは水道用補修弁を使用し、ボール内の形状が、同肉厚（内側が丸く膨らんでいる）になったものと、ストレートになっているものがあるため、2種類について実施した。開度は、バタフライ弁で検討した15,30,45,60,75度と同じに設定し、速度、速度ベクトル、流線、乱流運動エネルギー、圧力、粘度を求めた。

解析グリッドは、弁体の開度によって、最適な形に生成する必要があるため、流体の通過する領域でのグリッド数を $71 \times 31 = 2201$ に揃えるために、開度15度で $71 \times 85$ 、30度で $71 \times 75$ 、45度で $71 \times 61$ 、60度で $71 \times 51$ 、75度で $71 \times 39$ にグリッドマッピングした。

解析した結果を図56から図59に示し、図60に開度30度における各解析パラメータの結果を示す。

解析した結果はいずれもボール内の形状によらず、解析したパラメータについて若干のばらつきはあるものの、各開度についてほぼ同じ値が得られた。

また、図61に最大乱流運動エネルギーについて、バタフライ弁の開度ごとの結果と比較したものを示すと、バタフライ弁と傾向は同じではあるが、低開度においてはボール弁の方が小さい値となっており、二段絞りの効果が出ていると考えられる。他の解析パラメータについても、傾向はほぼ同じである。

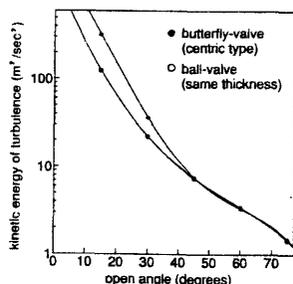


図61 Comparison of Butterfly and Ball-valve

#### (1)速度ベクトルおよび流線

ボール内を通過する流れは、全ての開度において基本的には同じであり、また、同じ開度では、ボール内の形状による大きな違いは特にみられなかった。つまり、開口部に流入した流体は、表面に出た弁箱上壁部とボール下流側内壁面に沿ってボール出口へと流れ、激しく下流配管へと噴き出している。また、上流側となるボール内壁面に遮られた領域では、1つの大きな渦を形成している。下流配管中でも同様で、陰の部分でボール内とは逆向き大きな渦を形成している。もちろん開度が大きくなると、流れに対する抵抗が少なくなり、渦も小さくなってスムーズに流れることになる。

ボール内形状の違いによる流れの相違は、内部がストレートになったボール弁では、弁箱とボールの境部の2か所で僅かな淀みができるため、細かな渦が新たに形成されることである。

#### (2)乱流運動エネルギー

他のバルブと同様、開度が小さい程最大乱流運動エネルギーは非常に大きく、開度が大きくなるに従って急激に下がってくる。

また、高い領域分布は速度の速い部分に集中しているが、ボールの入口部分よりもボールからの噴き出し部分に大きく集中して形成されている。ボール内形状の違いによる領域の相違は余り見あたらない。

#### (3)圧力

低開度では意外とボール内の圧力は下がらず、ボール弁本体を通過した後の配管内の圧力が大きく下がっている。また中間開度では弁体下流側の陰となる配管側で、局部的に集中して圧力が低下する領域が形成される。また、開度が大きくなると、急激な圧力低下はなくなってくる。ボール内形状による違いはほとんどない。

#### (4)粘度

45度以下の低開度では、ボール内では高まらず、下流配管中で高い大きな領域を形成している。しかし、高開度になれば下流配管部分での高い領域は消滅するため、相対的に、ボール入口付近が高まる結果となっている。これは、高開度では、ボール入口での出っぱりが抵抗となって現れるためと考えられる。

### 3.2.4 玉形弁

JIS B 2031陸用玉形弁（以下、「陸用玉形弁」という）の開度10%とコントロール用玉形弁（以下「コントロール弁」という）の開度60%の2種類の形状の玉形弁について、流線、乱流運動エネルギー、圧力、粘度を求めた。解析モデルの全グリッドノード数は、前者で $85 \times 46 = 3910$ 、後者で $81 \times 48 = 3888$ である。

解析した結果を図62および図63に示す。

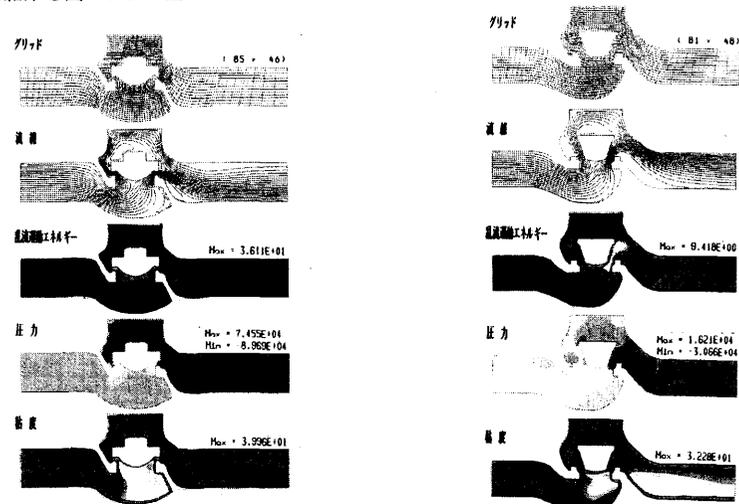


図62 JIS B 2031玉形弁の流体解析結果（開度10%）

図63 コントロール用玉形弁の流体解析結果（開度60%）

#### (1)流線

バルブ本体に流入した流れは、両バルブとも弁体付近のやや上流側で分岐し、開口部の隙間へと流れ込んでいる。特に陸用玉形弁では、止水部分が掃りのような形状をしているため、開度が小さいこともあって流体が弁箱弁座付近で大きく方向を変えている。しかし、コントロール弁で

は、弁体が細長く、隙間からの噴き出しが、弁体側面に沿って弁箱下流側上部の壁面に向かって  
いる。また、弁体上部の空間では、1つの渦を形成しているが、弁体を通過した後の配管では渦  
は形成されてない。

#### (2)乱流運動エネルギー

乱流運動エネルギーは、条件が統一されていないため値を直接比較するのは困難であるが、弁  
箱や弁体の形状が大きく違うため、この影響で異なった分布を形成している。特に陸用玉形弁で  
は、弁体の流入側で高まる傾向がある一方、コントロール弁では、下流側出口で弁箱下流側上部  
の壁面に向かって高まっている。

#### (3)圧力

圧力は、開口部へ流入し始める部分から低下し始め、開口面積が最小となる部分を通過後、大  
きく低下する。特に低開度（陸用玉形弁）では弁体通過後の圧力低下は急激である。開度が大き  
くなると（コントロール弁）、バルブ本体内部での低下は余り起こらないが、通過後の配管中で低  
下が起こる。

#### (4)粘度

粘度は、いずれのバルブでも上流からの流れが突き当たる弁底部分で高まっている。ここは急  
激に速度低下が起こる領域である。

### 4. まとめ

(1)二次元解析は、キャビテーション発生領域と乱流運動エネルギーが高まる領域がほぼ一致して  
おり、発生領域を知る上では定性的に非常に有効で、効率的な解析であることが分かった。

(2)弁体上流側の解析領域の長さは、解析結果にほとんど影響しないことが分かり、定性的解析の場  
合、上流側1Dでほとんど問題のないことが分かった。

(3)乱流運動エネルギーの計算により、初生キャビテーションを判定することは困難であった。

(4)乱流運動エネルギーが $10\text{m}^2/\text{sec}^2$ 以上の領域を明示することにより、キャビテーション発生領域を  
推定できると考えられる。

(5)各開度ごとの解析結果から、次のことが分かった。

- ・高開度ほど、最大速度、最大乱流運動エネルギーは指数的に小さくなるが、粘度は45度で特異  
パターンを示す。これは、45度付近の流れの移行期が影響していると考えられる。
- ・低開度では、下流に2つの渦が発生し、高開度ではノズル側の渦が消滅してから、オリフィス  
側の渦が消滅する。中間開度は、流れが不安定となりアンバランストルクの原因になると思わ  
れる。

(6)改良型弁体の解析結果から、次のことが分かった。

- ・最大乱流運動エネルギーは、上流障害物と整流ディスクが最も低下している。
- ・下流障害物は、オリフィス噴流を直接遮断するため抑制効果は大きく、穴が小さい程大きい。
- ・整流ディスク弁体の最大乱流運動エネルギーは最も小さく、抑制効果が最も大きいと考えられ

る。

(7)偏心型弁体解析結果から、次のことが分かった。

- ・最大速度は、軸上流側が小さく、軸下流側は非常に大きい。圧力差は、二重偏心が飛び抜けて  
小さい。最大乱流運動エネルギーは、軸上流側が小さく、軸下流側は約1.5倍大きい値を示した。
- ・軸上流側は、ノズル側の噴き出しと渦が支配的で、軸下流側は、オリフィス側の噴き出しと渦  
が支配している。

(8)レンズ型以外の弁体の解析結果から、次のことが分かった。

- ・最大速度と圧力差は、Sライン型が最も小さい。最大乱流運動エネルギーは、逆Zライン型以外  
は、全て非常に大きな値となっている。
- ・流線は、下流側で2つの大きな渦が発生し、非対称型は、偏心型弁体の流線形態を示している。

(9)リデュース付き弁体の解析結果から、次のことが分かった。

(配管流入速度一定)

- ・最大速度、圧力差、最大乱流運動エネルギーは、20度まで直線的に大きくなり、20度以上では、  
一定となる。これは、下流で剥離が起こり、チョーク状態を引き起こしているためと考えられ  
る。・流線では、30度までは2つの渦を形成し、45度以上で新たにリデュース角度に起因する  
渦と、全体的な主流による大きな渦が発生する。

- ・乱流運動エネルギー分布は、30度までは領域は徐々に大きくなり、45度以上で、分布が急変す  
る。

(弁体部流入速度一定)

- ・最大速度は、リデュースなしより若干高め、圧力差と最大乱流運動エネルギーは低めでほぼ一  
定の値を示す。粘度だけは、20度から25度までの間が最小となる。流線は、解析1とほとんど  
同じ。

- ・乱流運動エネルギーが $10\text{m}^2/\text{sec}^2$ 以上の領域は、開き角度が大きくなるほど領域が小さくなる。

(10)仕切弁

- ・最大速度は、弁箱底部形状と、弁体-弁箱隙間が影響している。圧力差は、B122弁の方が大きい。  
乱流運動エネルギーはB122弁の弁箱底のポケットによる高まりが大きい。

- ・流線は、一部弁体-弁箱隙間から弁蓋の中へ流れ込み、弁蓋内で渦を形成する。配管下流側で  
は1つの大きな渦を形成している。

- ・最大乱流運動エネルギーは、ソフトシール弁に比べB122弁の方が大きい。開度が30%では、ソ  
フトシール弁では約1/5と極端に下がり、B122弁では半分程度しか下がらない。

- ・開度15%でB122弁がソフトシール弁に比べ下がらないのは、弁底にポケット部分があり緩衝的  
役割を果たしているためと考えられる。30%になると、いずれも大きな圧力低下は解消される。

(11)ボール弁

- ・ボール内形状による違いは認められなかった。最大乱流運動エネルギーをバタフライ弁と比較  
すると、傾向は同じであるが低開度でボール弁の方が小さく、二段絞りの効果が出ている。

- ・流線は、ボール内壁面に沿ってボール出口へと流れ、下流配管へ噴き出す。ボール内では1つ  
の大きな渦を形成し、下流配管中では逆向きの大きな渦を形成している。

- ・乱流運動エネルギーは、速度の速い部分に集中し、ボールの噴き出し部分に形成されている。

- ・圧力は、ボール弁本体を通過した後の配管内で大きく下がっている。

⑫玉形弁

- ・ 流線は、弁体のやや上流側で分岐し、開口部の隙間へと流れ込む。陸用玉形弁は、止水部分の掃りによって大きく方向を変えている。コントロール弁では、弁体側面に沿って弁箱下流側上部の壁面に向かっている。弁体通過後の配管では渦は形成されていない。
- ・ 乱流運動エネルギーは、陸用玉形弁では、弁体の流入側で高まるが、コントロール弁では、下流側出口で弁箱下流側上部の壁面に向かって高まる。
- ・ 圧力は、開口部付近から低下し、開口面積が最小となる部分を通過後、大きく低下する。

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。また解析モデルを作成するにあたり、彦根パルプ産地内企業の技術者の方から、必要な各種弁体の設計図面や資料の提供にご協力いただきました。併せて皆様に感謝します。

5. 参考文献

- (1)JIS B 2031 : ねずみ鑄鉄弁 (陸用玉形弁, ボール式水道用補修弁)
- (2)JWWA B 62 : ソフトシール弁
- (3)JWWA B 122 : 水道用ダクタイル鑄鉄仕切弁
- (4)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
- (5)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
- (6)宮川 : 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
- (7)山崎卓爾 : キャビテーション工学, 日刊工業新聞社
- (8)田村善昭, 藤井孝蔵 : 流体解析におけるサンエンティファイック・ビジュアライゼーション, PIXEL (No.87)

表3 入口流入速度を変えた同心型バタフライ弁の解析結果

| No. | 種類  | 開度<br>度 | 流速<br>m/s | GRID<br>数 | ITER<br>数 | V-MAG |     | PRESSURE |       |                   | KE-TURB | E-VIS |
|-----|-----|---------|-----------|-----------|-----------|-------|-----|----------|-------|-------------------|---------|-------|
|     |     |         |           |           |           | MAX   | MAX | MIN      | ΔP    | MAX               | MAX     |       |
|     |     |         |           |           |           | m/sec | KPa | KPa      | KPa   | m <sup>2</sup> /s | kg/m·s  |       |
| 1   | 同心型 | 30      | 0.2       | 2015      | 635       | 1.9   | 0.0 | -4.2     | 4.3   | 0.4               | 2.1     |       |
| 2   | 同心型 | 30      | 0.4       | 2015      | 644       | 3.9   | 0.1 | -17.0    | 17.1  | 1.4               | 4.1     |       |
| 3   | 同心型 | 30      | 0.5       | 2015      | 573       | 4.9   | 0.2 | -26.5    | 26.7  | 2.2               | 5.2     |       |
| 4   | 同心型 | 30      | 0.6       | 2015      | 650       | 5.8   | 0.2 | -38.2    | 38.4  | 3.2               | 6.2     |       |
| 5   | 同心型 | 30      | 0.8       | 2015      | 652       | 7.8   | 0.4 | -67.9    | 68.3  | 5.8               | 8.2     |       |
| 6   | 同心型 | 30      | 1.0       | 2015      | 578       | 9.7   | 0.7 | -106.1   | 106.8 | 9.1               | 10.3    |       |
| 7   | 同心型 | 30      | 1.2       | 2015      | 657       | 11.7  | 1.0 | -152.7   | 153.7 | 13.1              | 12.4    |       |
| 8   | 同心型 | 30      | 1.4       | 2015      | 658       | 13.7  | 1.3 | -207.8   | 209.1 | 17.9              | 14.5    |       |
| 9   | 同心型 | 30      | 1.6       | 2015      | 659       | 15.6  | 1.7 | -271.4   | 273.1 | 23.4              | 16.6    |       |
| 10  | 同心型 | 30      | 1.8       | 2015      | 660       | 17.6  | 2.2 | -343.5   | 345.7 | 29.6              | 18.7    |       |
| 11  | 同心型 | 30      | 2.0       | 2015      | 508       | 19.5  | 2.7 | -423.1   | 425.8 | 36.5              | 22.1    |       |

表4 各開度ごとの同心型バタフライ弁の解析結果

| No. | 種類  | 開度<br>度 | 流速<br>m/s | GRID<br>数 | ITER<br>数 | V-MAG |     | PRESSURE |         |                   | KE-TURB | E-VIS |
|-----|-----|---------|-----------|-----------|-----------|-------|-----|----------|---------|-------------------|---------|-------|
|     |     |         |           |           |           | MAX   | MAX | MIN      | ΔP      | MAX               | MAX     |       |
|     |     |         |           |           |           | m/sec | KPa | KPa      | KPa     | m <sup>2</sup> /s | kg/m·s  |       |
| 1   | 同心型 | 15      | 2.0       | 2015      | 864       | 72.2  | 2.5 | -4,393.0 | 4,393.5 | 319.8             | 44.1    |       |
| 2   | 同心型 | 30      | 2.0       | 2015      | 508       | 19.5  | 2.7 | -423.1   | 425.8   | 36.5              | 22.1    |       |
| 3   | 同心型 | 45      | 2.0       | 2015      | 602       | 8.9   | 4.2 | -119.7   | 123.9   | 7.6               | 18.4    |       |
| 4   | 同心型 | 60      | 2.0       | 2015      | 680       | 5.0   | 3.0 | -17.8    | 20.8    | 3.3               | 11.4    |       |
| 5   | 同心型 | 75      | 2.0       | 2015      | 437       | 3.2   | 2.7 | -7.3     | 10.0    | 1.5               | 12.0    |       |

表5 改良した同心型バタフライ弁の解析結果 (開度30度)

| No. | 種類          | 流速<br>m/s | GRID<br>数 | ITER<br>数 | V-MAG |       | PRESSURE |       |                   | KE-TURB | E-VIS |
|-----|-------------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|----------|-------|-------------------|---------|-------|
|     |             |           |           |           | MAX   | MAX   | MIN      | ΔP    | MAX               | MAX     |       |
|     |             |           |           |           | m/sec | KPa   | KPa      | KPa   | m <sup>2</sup> /s | kg/m·s  |       |
| 1   | 止水部付き       | 2.0       | 2275      | 588       | 18.7  | 206.3 | -224.7   | 431.0 | 38.4              | 18.3    |       |
| 2   | 下流管壁障害物(穴大) | 2.0       | 2015      | 470       | 19.4  | 2.7   | -431.8   | 434.5 | 35.8              | 19.0    |       |
| 3   | 下流管壁障害物(穴小) | 2.0       | 2015      | 540       | 19.6  | 2.7   | -417.8   | 420.5 | 33.9              | 23.5    |       |
| 4   | 上流管壁障害物     | 2.0       | 2015      | 628       | 20.0  | 2.2   | -448.7   | 450.9 | 30.0              | 21.2    |       |
| 5   | 2枚整流ディスク付き  | 2.0       | 4941      | 904       | 20.2  | 2.8   | -426.8   | 429.6 | 30.3              | 18.8    |       |

表6 偏心型バタフライ弁の解析結果（開度30度）

| No. | 種類       | 流速<br>m/s | GRID<br>数 | ITER<br>数 | V-MAG | PRESSURE |        |       | KE-TURB             | E-VIS  |
|-----|----------|-----------|-----------|-----------|-------|----------|--------|-------|---------------------|--------|
|     |          |           |           |           | MAX   | MAX      | MIN    | ΔP    | MAX                 | MAX    |
|     |          |           |           |           | m/sec | KPa      | KPa    | KPa   | m <sup>2</sup> /s/s | kg/m·s |
| 1   | レンズ型軸上流  | 2.0       | 2015      | 827       | 18.9  | 2.2      | -431.9 | 434.1 | 30.9                | 33.2   |
| 2   | Zライン型軸上流 | 2.0       | 2015      | 715       | 17.9  | 2.2      | -428.6 | 430.8 | 27.4                | 36.6   |
| 3   | 二重偏心軸上流  | 2.0       | 2015      | 818       | 20.2  | 3.9      | -317.5 | 321.4 | 28.3                | 38.6   |
| 4   | レンズ型軸下流  | 2.0       | 2015      | 718       | 24.0  | 4.7      | -404.6 | 409.3 | 46.8                | 29.6   |
| 5   | Zライン型軸下流 | 2.0       | 2015      | 708       | 23.7  | 4.5      | -419.3 | 423.8 | 47.6                | 27.9   |

表7 レンズ型以外のバタフライ弁の解析結果（開度30度）

| No. | 種類     | 流速<br>m/s | GRID<br>数 | ITER<br>数 | V-MAG | PRESSURE |        |       | KE-TURB             | E-VIS  |
|-----|--------|-----------|-----------|-----------|-------|----------|--------|-------|---------------------|--------|
|     |        |           |           |           | MAX   | MAX      | MIN    | ΔP    | MAX                 | MAX    |
|     |        |           |           |           | m/sec | KPa      | KPa    | KPa   | m <sup>2</sup> /s/s | kg/m·s |
| 1   | Sライン型  | 2.0       | 2015      | 656       | 17.7  | 3.9      | -229.6 | 233.5 | 42.5                | 29.9   |
| 2   | 逆Sライン型 | 2.0       | 2015      | 553       | 20.2  | 3.0      | -467.6 | 470.6 | 46.2                | 21.6   |
| 3   | Zライン型  | 2.0       | 2015      | 516       | 19.0  | 4.1      | -445.5 | 449.6 | 42.4                | 18.2   |
| 4   | 逆Zライン型 | 2.0       | 2015      | 593       | 19.1  | 2.9      | -354.6 | 357.5 | 36.1                | 21.7   |
| 5   | 非対称型   | 2.0       | 2015      | 687       | 21.4  | 4.5      | -394.8 | 399.3 | 64.0                | 32.5   |
| 6   | 逆非対称型  | 2.0       | 2015      | 639       | 18.3  | 2.2      | -439.3 | 441.5 | 29.4                | 33.6   |

表8 リデュース付き同心型バタフライ弁の各開き角度の解析結果（開度30度）

| No. | 種類  | 弁体<br>口径<br>mm | 流速<br>m/s | GRID<br>数 | ITER<br>数 | V-MAG | PRESSURE |          |         | KE-TURB             | E-VIS  |
|-----|-----|----------------|-----------|-----------|-----------|-------|----------|----------|---------|---------------------|--------|
|     |     |                |           |           |           | MAX   | MAX      | MIN      | ΔP      | MAX                 | MAX    |
|     |     |                |           |           |           | m/sec | KPa      | KPa      | KPa     | m <sup>2</sup> /s/s | kg/m·s |
| 1   | 5度  | 125            | 2.0       | 2015      | 558       | 22.4  | 2.5      | -497.3   | 499.8   | 37.2                | 20.7   |
| 2   | 10度 | 100            | 2.0       | 2015      | 549       | 30.6  | 2.8      | -802.3   | 805.1   | 66.2                | 22.4   |
| 3   | 15度 | 80             | 2.0       | 2015      | 542       | 39.3  | 3.6      | -1,179.0 | 1,182.6 | 94.7                | 24.3   |
| 4   | 20度 | 65             | 2.0       | 2015      | 511       | 47.2  | 5.0      | -1,814.0 | 1,819.0 | 145.5               | 26.0   |
| 5   | 25度 | 65             | 2.0       | 2015      | 600       | 48.1  | 4.8      | -1,823.0 | 1,827.8 | 149.8               | 26.2   |
| 6   | 30度 | 65             | 2.0       | 2015      | 505       | 47.6  | 4.6      | -1,763.0 | 1,767.6 | 154.9               | 27.0   |
| 7   | 45度 | 65             | 2.0       | 2015      | 838       | 48.9  | 3.2      | -1,994.0 | 1,997.2 | 140.4               | 37.2   |
| 8   | 60度 | 65             | 2.0       | 2015      | 792       | 48.4  | 3.2      | -2,017.0 | 2,020.2 | 149.2               | 37.1   |

表9 リデュース付同心型バタフライ弁の各開き角度の解析結果（開度30度）

| No. | 種類  | 弁体<br>口径<br>mm | 流速<br>m/s | GRID<br>数 | ITER<br>数 | V-MAG | PRESSURE |        |       | KE-TURB             | E-VIS  |
|-----|-----|----------------|-----------|-----------|-----------|-------|----------|--------|-------|---------------------|--------|
|     |     |                |           |           |           | MAX   | MAX      | MIN    | ΔP    | MAX                 | MAX    |
|     |     |                |           |           |           | m/sec | KPa      | KPa    | KPa   | m <sup>2</sup> /s/s | kg/m·s |
| 1   | 0度  | 150            | 2.0000    | 2015      | 508       | 19.5  | 2.7      | -423.1 | 425.8 | 36.5                | 22.1   |
| 2   | 5度  | 125            | 1.6667    | 2015      | 648       | 18.7  | 1.7      | -345.4 | 347.1 | 25.8                | 17.4   |
| 3   | 10度 | 100            | 1.3333    | 2015      | 618       | 20.4  | 1.2      | -356.5 | 357.7 | 28.8                | 15.2   |
| 4   | 15度 | 80             | 1.0667    | 2015      | 605       | 21.0  | 1.0      | -335.3 | 336.3 | 25.9                | 13.2   |
| 5   | 20度 | 65             | 0.8667    | 2015      | 608       | 20.4  | 0.9      | -340.4 | 341.3 | 25.4                | 11.5   |
| 6   | 25度 | 65             | 0.8667    | 2015      | 599       | 20.8  | 0.9      | -342.2 | 343.1 | 26.9                | 11.5   |
| 7   | 30度 | 65             | 0.8667    | 2015      | 602       | 20.6  | 0.9      | -331.0 | 331.9 | 27.2                | 11.9   |
| 8   | 45度 | 65             | 0.8667    | 2015      | 873       | 21.2  | 0.6      | -374.3 | 374.9 | 25.4                | 14.1   |
| 9   | 60度 | 65             | 0.8667    | 2015      | 839       | 20.9  | 0.6      | -378.7 | 379.3 | 26.9                | 14.8   |

表10 仕切弁の解析結果（口径150mm）

| No. | 種類            | 開度<br>度 | 流速<br>m/s | GRID<br>数 | ITER<br>数 | V-MAG | PRESSURE |        |       | KE-TURB             | E-VIS  |
|-----|---------------|---------|-----------|-----------|-----------|-------|----------|--------|-------|---------------------|--------|
|     |               |         |           |           |           | MAX   | MAX      | MIN    | ΔP    | MAX                 | MAX    |
|     |               |         |           |           |           | m/sec | KPa      | KPa    | KPa   | m <sup>2</sup> /s/s | kg/m·s |
| 1   | ソフトシール弁       | 15      | 2.0       | 6204      | 931       | 14.1  | 4.4      | -146.2 | 150.6 | 25.2                | 34.3   |
| 2   | ソフトシール弁       | 30      | 2.0       | 6204      | 622       | 6.9   | 3.7      | -34.9  | 38.5  | 4.5                 | 19.8   |
| 3   | JWWA B 122仕切弁 | 15      | 2.0       | 6204      | 950       | 12.3  | 67.4     | -103.7 | 171.1 | 34.2                | 33.1   |
| 4   | JWWA B 122仕切弁 | 30      | 2.0       | 6204      | 873       | 7.7   | 20.0     | -45.7  | 65.7  | 15.5                | 23.3   |

表11 ボール弁の各開度の解析結果（口径150mm）

| No. | 種 類<br>(ボール内形状) | 開度<br>度 | 流速<br>m/s | GRID<br>数 | ITER<br>数 | V-MAG | PRESSURE |          |         | KE-TURB             | E-VIS  |
|-----|-----------------|---------|-----------|-----------|-----------|-------|----------|----------|---------|---------------------|--------|
|     |                 |         |           |           |           | MAX   | MAX      | MIN      | ΔP      | MAX                 | MAX    |
|     |                 |         |           |           |           | m/sec | KPa      | KPa      | KPa     | m <sup>2</sup> /s/s | kg/m·s |
| 1   | 同内厚             | 15      | 2.0       | 6035      | 874       | 43.2  | 1.9      | -2,099.0 | 2,100.9 | 117.6               | 77.1   |
| 2   | 同内厚             | 30      | 2.0       | 5325      | 1022      | 13.0  | 1.9      | -168.3   | 170.2   | 24.9                | 51.4   |
| 3   | 同内厚             | 45      | 2.0       | 4331      | 990       | 7.1   | 1.9      | -45.8    | 47.7    | 8.1                 | 37.8   |
| 4   | 同内厚             | 60      | 2.0       | 3621      | 763       | 4.9   | 2.0      | -17.0    | 19.0    | 2.8                 | 19.2   |
| 5   | 同内厚             | 75      | 2.0       | 2769      | 534       | 3.2   | 2.0      | -6.1     | 8.1     | 1.2                 | 11.5   |
| 6   | ストレート           | 15      | 2.0       | 6035      | 1180      | 43.2  | 1.9      | -2,102.0 | 2,103.9 | 124.7               | 77.1   |
| 7   | ストレート           | 30      | 2.0       | 5325      | 1081      | 12.8  | 1.9      | -162.4   | 164.3   | 22.3                | 52.5   |
| 8   | ストレート           | 45      | 2.0       | 4331      | 927       | 6.7   | 1.9      | -42.7    | 44.6    | 7.4                 | 36.9   |
| 9   | ストレート           | 60      | 2.0       | 3621      | 706       | 4.4   | 2.0      | -13.9    | 15.9    | 3.5                 | 16.6   |
| 10  | ストレート           | 75      | 2.0       | 2769      | 476       | 3.1   | 2.0      | -5.6     | 7.6     | 1.5                 | 11.3   |

表12 玉形弁の解析結果

| No. | 種 類          | 開度<br>度 | 流速<br>m/s | GRID<br>数 | ITER<br>数 | V-MAG | PRESSURE |       |       | KE-TURB             | E-VIS  |
|-----|--------------|---------|-----------|-----------|-----------|-------|----------|-------|-------|---------------------|--------|
|     |              |         |           |           |           | MAX   | MAX      | MIN   | ΔP    | MAX                 | MAX    |
|     |              |         |           |           |           | m/sec | KPa      | KPa   | KPa   | m <sup>2</sup> /s/s | kg/m·s |
| 1   | JIS B 2031兼用 | 10      | 2.0       | 3910      | 722       | 11.9  | 74.6     | -89.7 | 164.2 | 36.1                | 40.0   |
| 2   | コントロール用      | 60      | 2.0       | 3888      | 713       | 6.8   | 16.2     | -30.7 | 46.9  | 9.4                 | 32.3   |

# 自動制御弁の開発研究

【自動制御弁のソフト開発】

試験研究係

主任技師 酒井一昭

## 1. 目的

社会に於けるコンピュータ化への急速な進展には目を見張るものがある。バルブ業界においても配管系の高度化、流体の多様化・精緻化、さらには過酷な条件下での使用など、一層、高級なバルブが要求されている。特に、バルブ単体を考えた製品開発から配管システムの一部として扱うことへの認識がこれ迄以上に重要な要素となってきており、コントロールできる優れた流体制御システム機器として、またセンサ・エレクトロニクスも含めた総合的な技術を駆使した高付加価値化（高機能化）バルブの開発が急務となってきている。

一方、自動制御弁の市場はかなり広く、化学工業、食品関係やビルの空調用から装置設備、搬送関係に至るまで多くの業界にわたっている。さらに、ユーザー仕様も様々であるばかりか、営業活動も非常に厳しい状況にある。それ故、自動化関連バルブの種類も極めて多く、その開発は一段と高度で複雑なものになっている。このため、当所では調査から開発まで段階的な研究が不可欠であり、現在、年次計画により取り組んでいるところである。

さて、自動制御弁であるが、JISでは「自動制御装置の操作端として、調節部の信号によって自動操作されるバルブの総称で、調整弁（自力式）と調節弁（他力式）とがある。」と記されている。調節部とは調節計からの信号量を操作量にかえ、制御対象に働きかける部分であり、操作部（駆動部）と調節端（本体部）とで構成される。研究対象の弁に限定すれば、調節部の信号を入力とし、バルブの作動に必要な動力は補助動力源から受けるバルブを考えている。制御対象には圧力、温度、流量、液位といったものがあるが、ここでは流量制御を目的としている。この他、信号の種類や駆動部形式や弁箱部形式の違いでも多くの種類がある。バルブは様々な用途で配管途中に挿入されるため、弁種が多く、特に自動制御弁については他の弁と区別するのも補足説明がなければ素人には非常に理解しづらい。

研究対象のバルブは、調節弁のうちでも信号が電気式で、弁種は作動する動力源との組合せから決定される空気式、また駆動部形式からはダイヤフラム式の調節弁と言える。弁箱の形式については、単座形調節弁（一つの弁座を持つもの）に属するものである。

開発研究に先立ち、これまで制御用バルブの弁本体部と駆動部の構造の把握とコンピュータ搭載時に必要となる基礎データを既存調節弁の実流性能試験で調べてきた。

そこで、今年度は制御用信号の与え方と各種の制御上の設定値を決定するとともにソフト開発を行うため、設備的には不十分であるが、制御用コントロール部のハードとソフト環境を準備し、各種の周辺機器を取付けて制御用ソフトの開発に取り組んできた。しかし、プログラムは現在進行中であるため、制御に関連した基本構成と一部のサブルーチンを紹介するととどめる。

## 2. 研究開発フロー

図1に自動制御弁の開発研究のフローチャートを示す。この図より、調査段階から試作・実用化試験までのあらましがおよそ理解できると思う。昨年度に既存調節弁の流体特性と駆動特性を把握し、今年度からはソフト開発をスタートさせた。また、図2は今年度分の研究フローである。これにより本研究の内容が分かると思う。つまり、ハード及びソフト環境の準備と一部サブプログラムの作成が主体になっている。

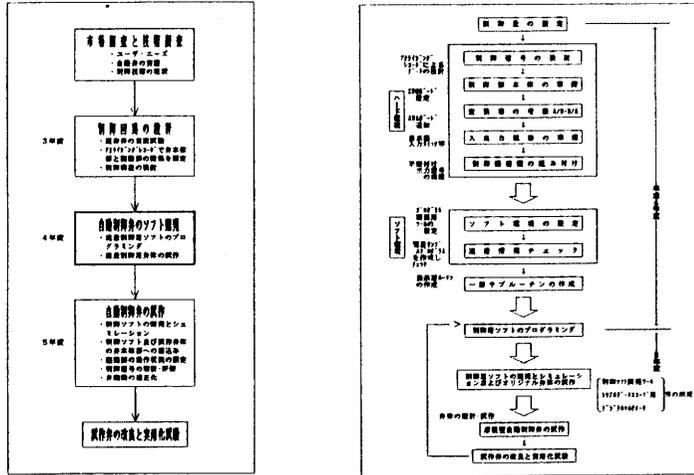


図1 研究フローチャート(年次計画)

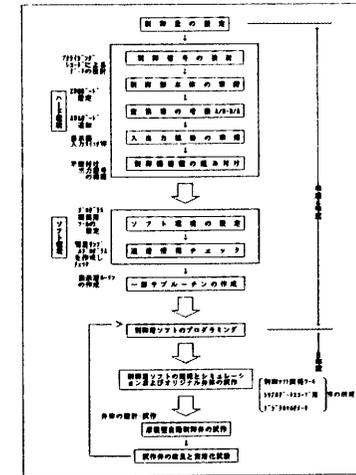


図2 研究フローチャート(平成4年度)

## 3. 開発システム

図3の様なシステムでソフト開発を行うが、右側が目標の自動制御弁で、左側がソフト開発を支援するツールである。この開発ツールは次年度導入予定のものを示しており、本年度の研究に於いて

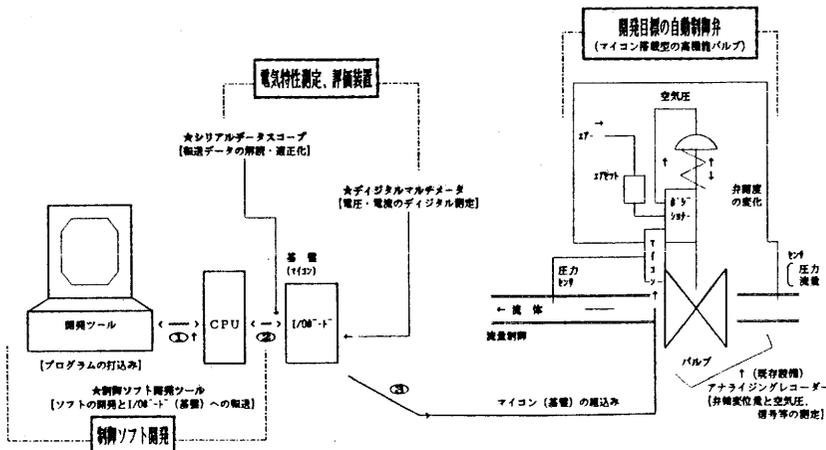


図3 開発システムの構成

では簡易的なシステムを構築してソフト開発を進めている。図示するように、プログラムを基盤に搭載し、この制御ボードをバルブに組み込むと、一応、自動制御弁ができあがることになる。

なお、今回のソフト開発ではデータ処理用に使用しているノートブック型パソコン(NEC 98 note)を用いた。

## 4. 自動制御弁の構成

### 4-1. 構想図

図4のようなマイコン搭載型のバルブを考えているため、構想図では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。図では、配管及び弁本体との関連性が分かるように示した。

パソコンを使ってプログラミングする目標を次のように設定した。

- ①内容：弁上流でポンプの出力状態が変わると、これに伴って流量が変化する。この時、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。

- ②制御の種類：定流量制御(設定流量 $\rightarrow 0.35\text{m}^3/\text{min}$ )
- ③流量変動範囲： $0.7\sim 0.1\text{m}^3/\text{min}$
- ④条件： $Cv\text{ max}=56$ 、最大上流圧  $95\text{KPa}$ 、

### 4-2. ブロック図

図5は現在開発中の自動制御弁のブロック図である。目標としている自動制御弁は、調節部の代わりを成すマイコンが搭載され、コンピュータの機能を付加したことで弁自らがセンサからの出力を検出し、この信号を演算して設定値に合った制御が自動的に実行されるものである。この制御バルブにより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。

一般の調節弁では、通常、図のマイコンの部分が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。

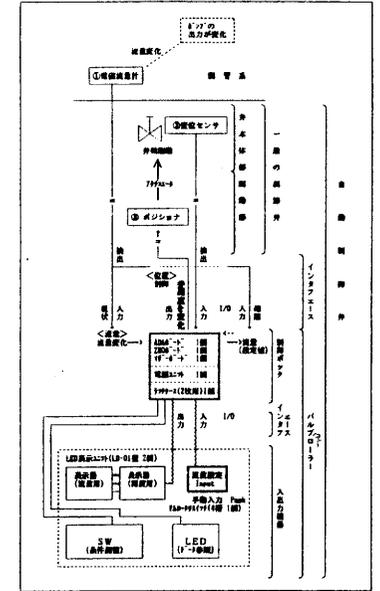


図4 自動制御弁の構想図

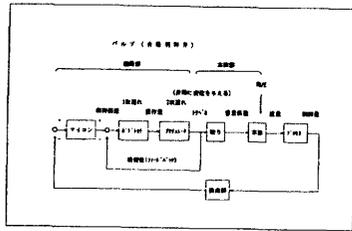


図5 ブロック図

4-3. 信号と流量の関連性

図6に弁軸の位置と信号(図①)、開度と弁軸の位置(図②)、そして流量と開度(図③)を順に示した。参考図にはバルブのポジションに外部から信号が与えられてから流量が変化するまでのおおよその流れを図①~③と関連付けて理解し易くした。

また、図7は上記の固有流量特性及び駆動特性から得られる流量-信号曲線である。この図により、流量と信号の関係が直接的に分かる。

なお、図8には、上記の関連性から算出できる制御信号の演算式を示した。式では6次まで求めた。この式により、流量値が与えられると、これに対応した信号が算出できる事になる。もちろん、データテーブルをそのまま使っても良い。しかし、その中にデータが含まれていない場合は不都合を生じるので、やはり演算式を利用した方が得策と言える。

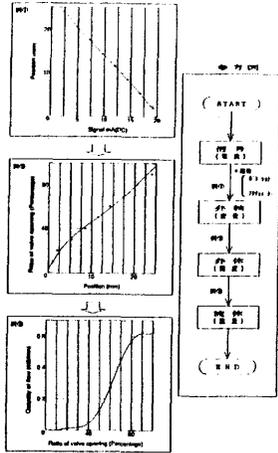


図6 信号から流量変化までの関連性

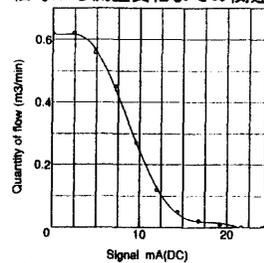


Fig Quantity of flow-Signal

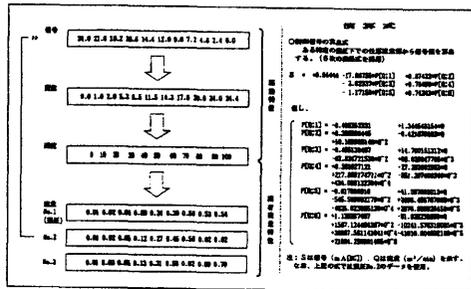


図8 制御信号の算出  
(固有流量特性及び駆動特性のデータから算出)

5. 開発環境

5-1. ハード環境

5-1-1. CPUボード

表1はCPU (Z80) ボードの仕様を示す。バルブの入出力制御には8bitパラレルI/Oで十分と考え、PIO内蔵の東芝製CPUを使用した。このボードではカウンタ・タイマ機能がCPUに含まれている他、モード2の割り込みが可能である。但し、使用温度が0~40°Cと限界がある。

5-1-2. ADAボード

表2にはADAボードの仕様を示す。このボードは1つのボード上に、A/D変換とD/A変換機能の両方が搭載されている。A/D、D/Aの分解能は共に12bit (1/4096) である。データの交換時間は、A/D部で最大12μsで、D/Aの場合では2μsとなっている。何れの場合もバルブの駆動速度からすれば極めて速く、機能的にはこの仕様で十分と言える。

表1 CPU (Z80) ボードの仕様

|          |   |
|----------|---|
| 形式       | LOGIC PACK N-202-C型   |
| CPU      | TMPZ84C011 (東芝)   |
| ROM      | 27C128  |
| RAM      | 6264  |
| パラレルI/O  | 8ビット×5ポート入出力 (CPU内蔵)<br>(全8ポート10kΩでプルアップ)   |
| シリアルI/O  | 82C51A相当品 (RS232C入出力)<br>(300~38400bps)   |
| カウンタ・タイマ | Z80CTC相当 (CPU内蔵)  |
| 割り込み     | モード2割り込み  |
| リセット     | M62021P使用 (リセット電圧 4.2~4.6V)   |
| 電源電圧     | DC5V±5%   |
| 消費電流     | MAX50mA (I/O無負荷時 ROM除外)   |
| 外形寸法     | 110×80mm (コネクタ除く)   |
| 使用コネクタ   | バス側: 2ピン IC5A-4422-A<br>I/O側: 2ピン XG4A-3039 (相手): 2ピン<br>2ピン XG4H-3030<br>2ピン XG4T-3004 |
| 使用温度     | 0~40°C  |

表2 ADAのボード仕様

|             |   |
|-------------|---|
| 形式          | LOGIC PACK N-139型   |
| 入力ポート数      | 24ピン (8ピン×3)  |
| 入力電圧範囲      | 0~5V (推奨)   |
| 入力抵抗        | 約 4.7MΩ   |
| 入力7脚        | L P F (C81表)<br>fc=330kHz   |
| A/D部        | 12ビット内蔵 (RS574AJまたは同等品)   |
| 分解能         | 12ビット (1/4096)  |
| 出力コーF (10脚) | 0.00h~FFFh  |
| 変換時間        | 最大25μs (TYP20μs)  |
| 駆動電圧        | ±1LSB   |
| リセット        | 0.05V of FS   |
| リセット電圧      | ±100ppm/°C MAX  |
| 消費電流        | 197mA   |
| D/A部        | 12ビット内蔵   |
| 出力抵抗        | 0~10V (推奨)  |
| 分解能         | 12ビット (1/4096)  |
| 出力コーF (10脚) | 0.00h~FFFh  |
| 変換時間        | 2μs   |
| 駆動電圧        | ±1LSB   |
| リセット        | 0.05V of FS   |
| リセット電圧      | ±100ppm/°C MAX  |
| 消費電流        | 3mA   |
| 出力7脚        | L P F (C81表)<br>fc=180kHz   |
| 電源電圧・電圧応力   | 10.00V±0.05V 2nd  |
| コネクタ        | 20ピン  |
| 電源          | *電圧: ±5V±5%<br>*電流: MAX 500mA<br>*消費電力: 1.5W<br>*15V (IC/DCコンパ) ±15mA (外部電力可) |

5-1-3. サムロータリスイッチ

表3に使用したサムロータリスイッチの仕様を示す。これは、流量設定用に使用するためのものであり、電気的なスイッチング (ON-OFF) の組み合わせにより、入力された数値が何であるかを検出できるようになっている。

5-1-4. LED表示ユニット

表4には表示ユニットの仕様を示す。表示素子は東芝製のものを4つ、ドライバICはモトロー

ラのMC14499Pタイプのチップを使っている。また、表示方法はBCDシリアル入力によっている。制御には、このLEDユニットを2個カスケード接続させた。これは、流量と開度（位置）を表示させるためである。表示コードについては、表5のとおりである。

|                      |                  |                                 |
|----------------------|------------------|---------------------------------|
| 形 式                  | DKURON A7D-208   |                                 |
| 期間負荷容量 (抵抗負荷)        | DC5~30V 1mA~0.1A |                                 |
| 連続運転電流               | 100mA            |                                 |
| 接 触 抵 抗              | 200mΩ以下          |                                 |
| 絶縁抵抗                 | 非連続端子間           | 10MΩ以上 (DC250V)                 |
|                      | 各端子と非充電金属部間      | 100MΩ以上 (DC500V)                |
| 耐電圧                  | 非連続端子間           | AC250V, 50/60Hz 1分間             |
|                      | 各端子と非充電金属部間      | AC1,000V 50/60Hz 1分間            |
| 振動                   | 振動動作             | 10~55Hz 振幅1.5mm                 |
| 衝撃                   | 振動動作             | 500m/S <sup>2</sup> 以上 (約50G以上) |
| 寿命                   | 機械的 (min.)       | 3万3千回                           |
|                      | 電気的 (min.)       | 2万3千回                           |
| 使用周囲温度 (ただし、水結しないこと) | -10°C~+70°C      |                                 |
| 使用周囲湿度               | 45~85%RH         |                                 |
| 操 作 力                | 350g以下           |                                 |

表3 サムロータリスイッチの仕様

5-1-5. その他

前項5-1-1.~5-1-5.以外にも、マザーボードや電源ユニット、あるいは操作性の関係からSW、LED等も取り付けられた。

5-2. ソフト環境

プログラムの作成用のエディタはMIFESを、また、作成したHEXファイルのターゲットマシン(Z80)に対するモニタリングは、表6のSYSTEMLOAD社製の“Z-Vision Remoto”を使用した。

表6 リモート・モニタの仕様

|            |  |
|------------|--|
| 形 式        | SYSTEMLOAD Z-Vision Remoto             |
| 動作環境       | MS-DOS VER3.1以上                        |
| 使用メモリ      | 約250KBバイト                              |
| 入力ファイル     | 1778HEX7716<br>528*7716                |
| 出力ファイル     | 1778HEX7716<br>528*7716<br>リスト及びV-S形式他 |
| ROMメモリ容量   | 約1.2KBバイト                              |
| モニタ使用RAM容量 | 約1.0KBバイト                              |
| 通信速度       | 9600bps(変更可)                           |

表4 LED表示ユニットの仕様

|          |                   |
|----------|-------------------|
| 形 式      | LOGIC PACK LD-01型 |
| 電源電圧     | DC5V±5%           |
| 表示素子     | TLN348T (東芝) ×4   |
| 表示方法     | BCDシリアル入力         |
| トランジスタIC | MC14489P (R10-9)  |
| 消費電流     | 最大200mA           |

表5 SEGMENT CODE

|         |   |         |       |
|---------|---|---------|-------|
| 0 0 0 0 | 0 | 1 0 0 0 | 8     |
| 0 0 0 1 | 1 | 1 0 0 1 | 9     |
| 0 0 1 0 | 2 | 1 0 1 0 | A     |
| 0 0 1 1 | 3 | 1 0 1 1 | 1     |
| 0 1 0 0 | 4 | 1 1 0 0 | 1 1   |
| 0 1 0 1 | 5 | 1 1 0 1 | 1 1   |
| 0 1 1 0 | 6 | 1 1 1 0 | -     |
| 0 1 1 1 | 7 | 1 1 1 1 | break |

6. ソフト開発

6-1. メインフロー

図9に制御のメインフローを示す。プログラミングに際して、どのような制御にするかで必ずソフトも違った内容のものになる。そこで、初期のメインフローとしては単純なフィードバック制御を考えた。フィードバックは、まず流量を検出し、この流量値が予め設定した値と同じになっているかどうかで判断する。ここで、検出流量が設定値と同じであれば、何も処理せずに再び流量を検出する。このように、常に流量を監視する。もし、設定値になっていなければ、弁固有の流量特性を参照し、さらに駆動特性を参照して、制御に必要な制御量を設定し、遅延時間を付加させてからD/A変換を行った後、ポジションに出力信号を与える。そして、再び流量を検出する。以下同様な処理を繰り返す。

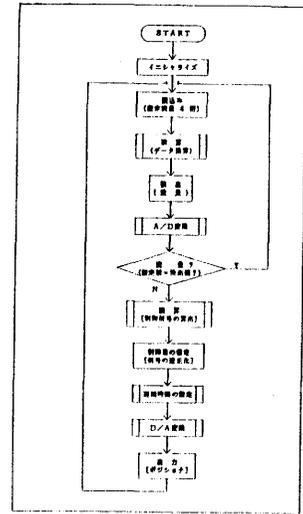


図9 制御のメインフロー

6-2. 表示用サブルーチン

6-2-1. 出力タイミング

図10は、僅か3本の信号線でデータを表示させるためのタイミング図である。まず、/EN信号（許可信号）がアクティブにし、この後、データをCLOCK信号にのせて順次出力させる。一連のデータ出力を終了したのち、/EN信号を“High”（非許可）にする。後はこのパターンの繰り返しになる。なお、立上がり及び立下がり時間は共にMAX. 2μsである。

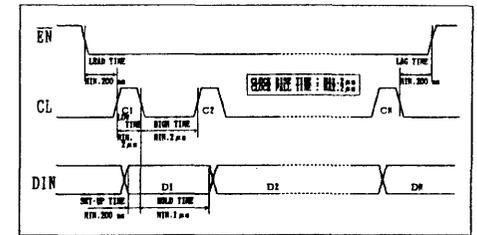


図10 表示データの出力タイミング

6-2-2. 表示方法

数値を表示させるのに7セグメントLEDを使って、パラレル信号を転送したとすると、表示桁が8桁あれば、64本の信号線が必要になる。これでは、I/Oポートが足りなくなってしまうばかりか、非常に無駄が多い。そこで、4桁LEDユニット2個をカスケード接続させ、データをシリアル転送させた。

6-2-3. データのセット方法

データを表示させるには図11のデータの出力タイミングに従い、データを順にセットしていか

なければならない。この基本パターンは、次のとおりである。

- ① /ENを“L”にする。
- ② デシマルポイントをセットする。(全て“H”)
- ③ 最上位桁(D1)から順次データをセットする。(D4迄の4桁分)
- ④ 再び、デシマルポイントをセット。
- ⑤ 下位データを4桁分上記③と同様にしてセットする。
- ⑥ /ENを“H”にする。

以上のように、①～⑥を繰り返し処理させる。

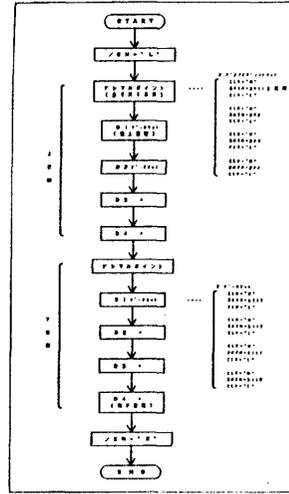


図11 データのセット順序

#### 6-2-4. DISPLAY ROUTINE(MAIN)

表示用ルーチンのメインフローとして、前記のデータのセット手順を参考にし、図12を作成した。

基本的には、図11にSTACKを設定し、イニシャライズや繰り返し処理などが追加したものと考えてよい。そして、データを出力させる前に4桁分のデータをセットしている。

なお、図13のフローはアセンブラ用の記述で書いたものである。

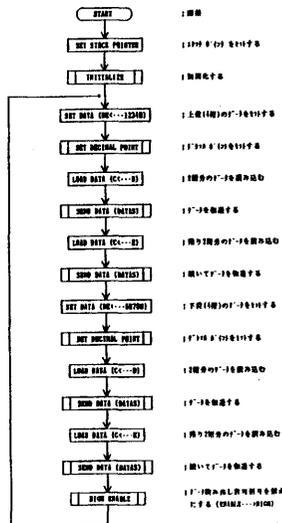


図12 DISPLAY ROUTINE (MAIN)

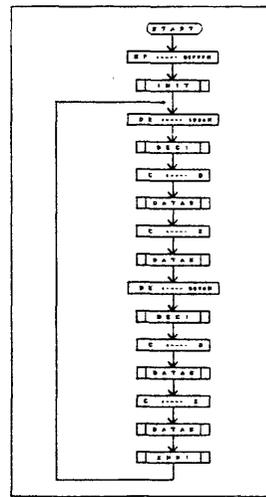


図13 表示用ルーチン (MAIN)

#### 6-2-5. イニシャライズ (INIT)

図14は初期化用のルーチンである。ここでは、/ENの信号を“High”に設定して、この非許可信号をポートに出力すると共に、データ表示に使用する3 bit分の出力をコントロールレジスタに出力して、ポートの初期化を行う。

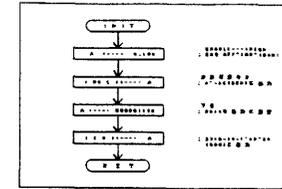


図14 表示用ルーチン (INIT)

#### 6-2-6. デシマルポイント (DECI)

図15はデシマルポイントを設定するための、ルーチンである。まず、キャリフラグを立てておき、この間にクロックに合わせて“High”信号を4回出力させるようにしている。

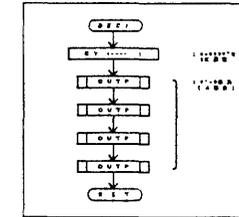


図15 表示用ルーチン (DECI)

#### 6-2-7. データの出力 (OUTP)

データを順次出力させるルーチンを図16に示す。この部分が表示用ルーチンの中で最も重要。つまり、/EN信号の設定、タイミング図に合わせたクロック信号の立ち上げと時間待ちの設定が必要となるからである。

/EN信号を“Low” (アクティブ) にし、クロックを“H”に立ち上げた後、このデータをポートに出力する。予めDATA1 (bit 0) は“0”にしておきキャリフラグの状態を調べる。この結果、キャリが“1”であれば、DATA1には“1”をセットする。そして、このデータをポートに出力する。CY=1の間はこの出力が繰り返されることになる。また、キャリが“1”でないなら、この場合にはAレジスタの内容がそのまま出力されることになる。但し、一定の待ち時間をおいた後、クロックを“L”にして、再びAの状態を出力する。このあとも、待ち時間が設定される。以下同様にしてデータの出力が繰り返されることになる。

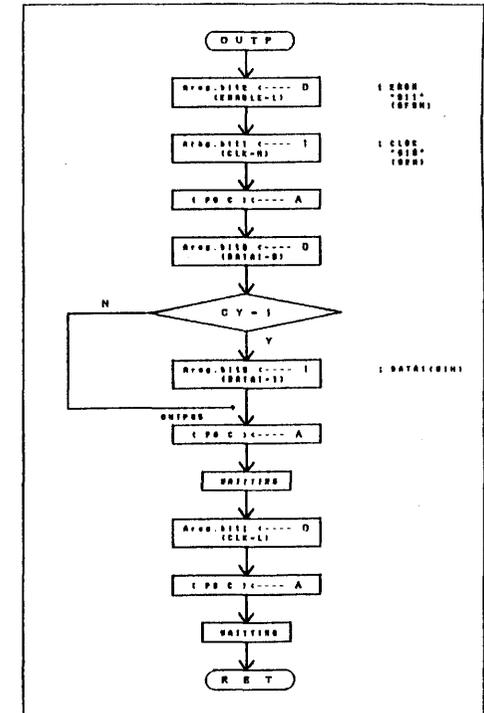


図16 表示用ルーチン (OUTP)

### 6-2-8. データの出力 (DATAS)

図17では、表5のSEGMENT CODEで分かるように、4 bitで一つの数値が表示できることになる。今回の場合は2つの数値毎に出力データをセットしているので、 $4 \times 2 = 8$ で、キャリを介して8回bitをシフトさせてデータを出力させれば良いことになる。

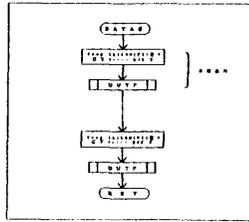


図17 表示用ルーチン (DATAS)

### 6-2-9. 表示データの終了 (ENHI)

ここでは、データ出力を終えた後の処理を行う。つまり、ENABLE="H"をポートに出力して、データの受付を禁止する。(図18参照)

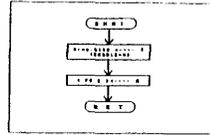


図18 表示用ルーチン (ENHI)

## 7. 彦根型弁体の考察・試作

自動制御弁の開発目標の一つに『流量特性が良いこと』がある。すなわち、流量制御弁 (調整弁) として使う弁の基本であり、弁体形状も当然この目標を満足していなければならない。

ON-OFF弁でなく、低開度で絞り運転等が可能で、しかも低キャピテーション型の弁体形状が望ましい。

そこで上記の条件を満足する理想的な弁体形状を求めため、既知のデータ等を参考にしながら、次の4種の弁体を考察・試作した。

なお、今回は口径φ50の玉形弁本体に対応する弁体とした。

### 7-1. 形状および主要部の寸法

試作した弁体の形状、および主要部寸法を図19~22、並びに写真1に示す。なお、比較のためにY社製弁体の形状・寸法を図23等に示した。

図からも分かるわかるように、A、CおよびDはセミニードル型であり、弁体角度はそれぞれ60°、20°、10°である。また、弁体底の半径 (R) はAが10.5mm、CとDが40mmとした。弁体全体の高さはDはリフトの全開時 (20mm上昇時) に弁底が残らないが、他は残るようにした。

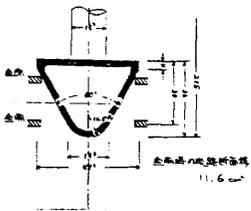


図19 試作弁体 A  
(セミニードル型 [60])

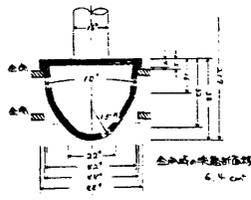


図20 試作弁体 B

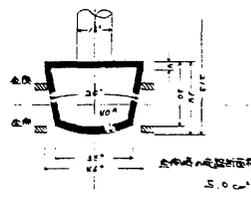


図21 試作弁体 C  
(セミニードル型 [20])

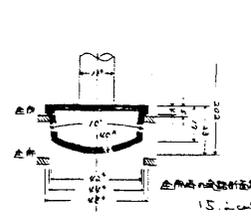


図22 試作弁体 D  
(セミニードル型 [10])

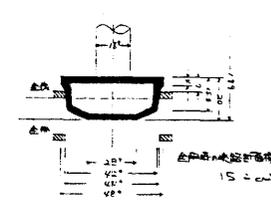


図23 Y社製自動制御弁の弁体

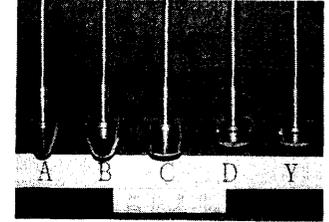


写真 1

### 7-2. 開度と流路断面積 (流量)

図24に示すように、各開度毎の流路断面積 (流量と言い換えてもよい) を計算すると、おおよそ2つのタイプに分類することができる。

すなわち、弁体AおよびCは開度10%程度の低開度領域で急激に流量が増える (流路断面積が大きくなる)、いわゆるON-OFFタイプである。ただ、この両弁体を比べると、同じセミニードル型ではあるが、CはAよりも低流量型で全開時の流量はA

の約40%である。これは弁体角度の違いは弁体角度の違いが大きく影響しているものと思われる。

一方、弁体BおよびDはリニアタイプで、開度60%まではほとんど同じ曲線を示し、開度と流量はほぼ比例関係である。

しかし、これ以上の開度では大きな違いがみられる。すなわち、Bは“おわん型”の形状であることと全開時でも弁体が残っているため、開度が大きくなって急激な変化はみられず、徐々に流量が増加する。いわゆる底流量型と言える。これに対して、Dは開度60%以上になると急激に流量が増し、全開時には15.2cm<sup>2</sup>と高流量型に変化する。この理由は弁体高さがBに比べて約60%と低く、全開近傍になると弁体が残らないためである。

また、比較のために示したY社製弁体 (図23) は一弁体Dに比べると形状的には弁体高さは近似しているが、弁体角度が小さいことと、弁体底のRがない (ストレート) ことが大きな違いである。

このため、Y社製弁体は低開度 (20%まで) では流量は大きく変わらないが、開度20~70%では完全に比例関係になり、それ以上の開度では弁体底が残らないため高流量が一定となる。いわゆる、リニアとイコールパーセントの中間的な特性と言えるようである。

### 7-3 制御弁としての適用範囲

前述から、一般的に低開度の絞り運転として使用されることが多い流量制御弁 (調整弁) の弁体形状はBが最も望ましいと思われる。この形状は単に低開度領域のみでなく、高開度領域においても調整弁としての能力を有している。これに対して、Dの開度60%を越えると調整能力が激減

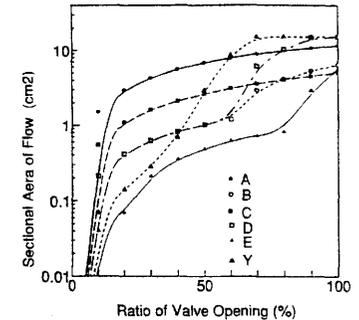


Fig 24 Sectional Area of Flow-Ratio of Valve Opening

する。

また、弁体Cは低流量型で調整弁として適しているように見えるが、最も必要とする低開度領域で難点がある。Aは形状的にも中高流量型で、流量制御には不向きであり、遮断弁用としての活用しにくいと思われる。

Y社製弁体は特に開度20%までの絞り運転に適した形状である。

#### 7-4 理想の彦根型弁体形状

以上のことから、“おわん型”で弁体高さが高く、低流量タイプの弁体Bが今回の試作弁体の中では最もベターと言える。なお、制御弁としてベストで理想的な形状は、このBの一部形状を改良し、弁体角度を10°以下にすることによって低開度領域で流れにくくすることである。その形状を図25(改良弁体E)に示す。

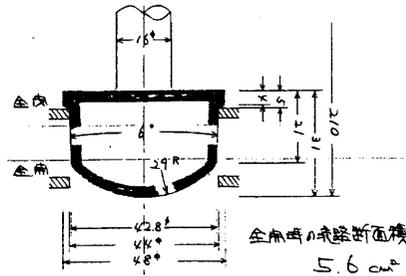


図25 改良弁体 E

#### 7-5 今後の課題

4種の弁体を試作し、各開度と流量との関係を検討した。そして、弁体B、あるいはこれらの結果をもとに改良した弁体E(図24の点線を参照)のような流量曲線が得られた。

しかし、今回はキャビテーション、および損失係数等の実流でのデータが得られていないので、今後は弁体Eの試作とともに実機(弁箱)に組み込み、性能試験を行わなければならない。

同時に、本研究の主課題である現在開発中の制御ソフトとドッキングし、実用を図ることが緊急の課題である。

#### 8. まとめ

自動制御弁のソフト開発に際し、まず、必要となる流体特性と駆動特性の関連データを整理し制御のメインフローを考えた。また、簡易的ではあるがソフト開発上の制御ツールを設定し、ハード環境、ソフト環境、及び一部サブルーチンを作った。

今後は、順次サブプログラムを完成させ、センサ等と合わせて弁本体部に組み込んだ自動制御弁を開発する予定である。

#### (参考文献)

- 1) 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)

## CAD/CAMシステムによるバルブ加工の合理化・省力化研究

(CAD/CAMによるプログラム作成とデータ通信の検討)

指導係長 樋口 英司

### 1. はじめに

バルブがはじめて急速にしぼんだ景気は、いつ回復するのか見通しが立たないなかで、比較的安定して推移している彦根のバルブ産地ですが、他の産業界と同じくかかえる課題も多い。

人手不足、熟練工の減少、従業員の高齢化、品質の安定要求など現在も将来も一貫して続くと思われる。とくにこれから未熟練者や女性労働者が増えれば増えるほど、企業にとって品質の安定化が重要な取り組みテーマとなり、ファクトリーオートメーション(FA)化が図られて行く。そんな傾向が地場企業のなかに見えはじめています。

このような背景の中、産地の多品種少量生産のバルブ加工の合理化、省力化にCAD/CAMシステムが強力な助っ人になるのか検討を行いましたので、その結果を報告します。

### 2. システムの概要

#### 2-1. ソフトウェア

- 1). CADソフト オートデスク社製  
AutoCAD-GX 5
- 2). 機械部品CAD/CAMソフト  
(株)日本オートマチックマシン製  
CADマスター  
AMM-ST
- 3). FANUC P-G接続ソフト  
(株)日本オートマチックマシン製  
JPG
- 4). CAD図面/ライブラリ呼出、管理システム  
(株)日本オートマチックマシン製  
LCC
- 5). 文書ファイルのCAD図面化ソフト  
(株)日本オートマチックマシン製  
ATD
- 6). OS 日本電気(株)製  
日本語MS-DOS Ver3. 3B
- 7). ランタイムサポート  
日本電気(株)製  
373HMW

- 8). フライス盤加工用ソフトウェア  
 ファナック(株)製  
 FAPT MILL

## 2-2. ハードウェア

- 1). 本体 日本電気(株)製  
 (フロッピーディスク5インチ×2内蔵)  
 PC-H98 model  
 70-002  
 1.5MB
- 2). 数値データプロセッサ  
 日本電気(株)製  
 PC-H98-E01
- 3). カラーCRT 飯山電機(株)製  
 MF-5021  
 21インチ
- 4). ハードディスク ICM(株)製  
 (外付け) SRC-131  
 3.5インチ  
 80MB
- 5). 入力タブレット 日立精工(株)製  
 HDG-1212D
- 6). 4ボタンカーソル 日立精工(株)製  
 CGG-4F
- 7). A1プロッター ローランド(株)製  
 GRX-300AR
- 8). プリンター 日本電気(株)  
 PC-PR201GS
- 9). 自動プロ ファナック(株)製  
 P-G
- 10). プリンタ・テープパンチャ・テープリーダーユニット  
 ファナック(株)製  
 PPR

## 3. 取り付け治具

昭和62年度に製作した陸用弁用取り付け治具をもとにして、全体的なフレーム枠はそのまま加工物の中心を50mmばかり上げ、主軸ヘッドと治具プレート上面の下限位置に余裕をもたせ、主軸ヘッドの衝突を回避させるとともに加工物の取り付け位置調整が簡単でコスト的に安価な治具を製作しました。取り付け治具と加工物のセット状態を写真1に示す。

## 4. 加工軌跡図の作成

システムの中で機械部品CAD、CAMシステムCADマスターAMMを導入しておりますが、このシステムはAutoCAD GXⅢを基本ソフトにアプリケーションされ機械製図用CADにNC機械へ生産情報を伝達するためのデータ処理を付加したシステムです。基本的に二次元図形上で加工する軌跡を連続した一筆書きの図形データに直し、加工に必要な所定の位置と方向を指定してGコード編集を行い、NC出力します。

その手順を、簡単な図形を例に以下に示します。

### 4-1. CADの作業

- 1). 図面サイズの決定  
 標準サイズとして出力する紙の大きさを決める。
- 2). 図面枠の作成  
 紙のサイズに合った図面枠を作成して図面の名前等を記載する表題欄を作った標準図面枠を作る。
- 3). 作成する図ごとの画層分け  
 前項の標準図面枠にその図面だけが取り出せる図面専用の画層を作成する。ここで画層とは、1枚の図面を複数の図面(層)の重ね合わせで構成する機能のことで、画層の数は無制限です。  
 使い方としては、寸法、補助線、輪郭線などの図面の各部分を画層別に分けたり、色や線種を変えて、見やすくしたり、必要に応じて特定の画層だけを表示したり、表示しないように指定することができる。  
 ここでは、CAMに渡す加工軌跡図が取り出しやすくするために画層分けを行う。このことは、トレーシングペーパー1枚ごとに図面枠や補助線、寸法および図形を書き、これらを重ねて1枚の部品図を作成することである。
- 4). 加工軌跡図のDXF変換(図1)  
 AutoCADで作った図形データをMS-DOS上のテキストファイルしたデータに変換する。CAMへの中間ファイル形式である。

| ファイル名        | サイズ  | 日付       | ファイル名        | サイズ  | 日付       | 空領域      |
|--------------|------|----------|--------------|------|----------|----------|
| MS4A001F DXF | 1624 | 92/06/20 |              |      |          | 32256000 |
| A:¥DXF .DXF  |      |          |              |      |          |          |
| TEST DXF     | 1447 | 91/09/24 | MS4A001D DXF | 3920 | 92/06/20 |          |
| MS4A001F DXF | 1624 | 92/06/20 |              |      |          |          |

図1 DXF変換

#### 4-2. CAMの作業

##### 1). データ変換 (DXF→JDF) (図2)

DXF形式の図形データをCAM専用データに変換する。

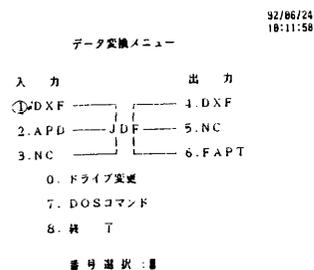


図2 データ交換

##### 2). データ整列 (図3)

変換後のバラバラのデータをNCデータにするには一筆描きをします。この場合、一筆書きの最初と終わりが閉じて接続されていなければなりません。

この機能ではデータの始点変更、反転、分割、接続、順位付けを行って整列する。

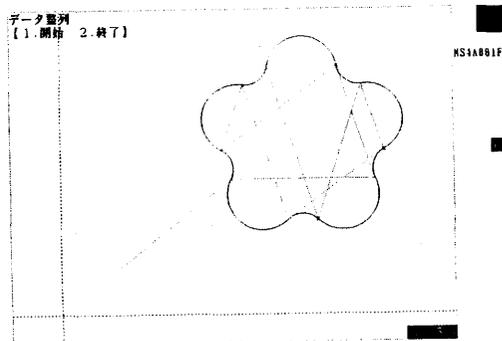


図3 データ整列

##### 3). オフセットデータ (図4)

エンドミル等、切削加工を行う場合の工具の逃げ量を決め、工具の軌跡図を描く。

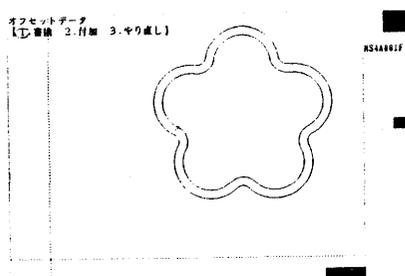


図4 オフセットデータ

##### 4). 配列 (図5) (図6)

作成したデータの配列複写や図形の移動および原点設定を行う。

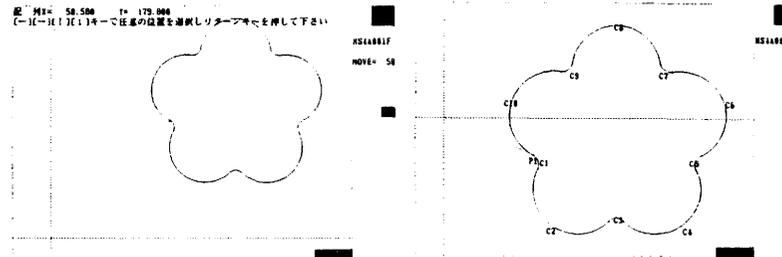


図5 配列

図6 配列後

ファイル名: MS4A001F (777テスト) 92/06/24

| No. | X        | Y        | Xc       | Yc        | R        | A1       |
|-----|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| 1   | 85.6097  | -35.6115 |          |           |          |          |
| 2   | 89.9279  | -48.9013 | 80.9647  | -44.4672  | -10.0000 | 271.3563 |
| 3   | 158.5131 | -98.7314 | 128.4695 | -67.9681  | 43.0000  | 160.6437 |
| 4   | 172.4869 | -98.7314 | 165.5000 | -105.8657 | -10.0000 | 88.6437  |
| 5   | 241.0721 | -48.9013 | 202.5305 | -67.9681  | 43.0000  | 199.3563 |
| 6   | 245.3903 | -35.6115 | 250.0353 | -44.4672  | -10.0000 | 88.6437  |
| 7   | 219.1930 | 45.0153  | 225.4166 | 2.4681    | 43.0000  | 199.3563 |
| 8   | 207.8880 | 53.2289  | 217.7457 | 54.9100   | -10.0000 | 88.6437  |
| 9   | 123.1120 | 53.2289  | 165.5000 | 46.0000   | 43.0000  | 160.6437 |
| 10  | 111.8070 | 45.0153  | 113.2543 | 54.9100   | -10.0000 | 88.6437  |
| 11  | 85.6097  | -35.6115 | 105.5834 | 2.4681    | 43.0000  | 160.6437 |

図7 配列後の座標値

##### 5). データ変換 (JDF→FAPT) (図7)

CAM専用データを自動プロP-G専用のデータに変換してパートプログラムを作成する。

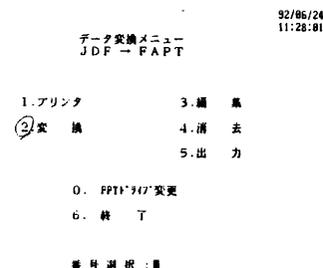


図8 データ変換

【パートプログラム初期設定】 空欄値 32249856

A\*17\*07\*51見出し名 <MS4A001F> MS4A001F

FAPT言語名(1.MILL 2.CUT 0.その他)<1> MILL

NCデータ座標系(1.ABS 2.INCRE) <1> ABS

紙テープ送り量 <200> 200

プログラム番号 (F\* = 無指定) 048624

T\*07\*51番号形式(1.0xxxx 2.0xxxx) <1> 1

プログラム停止命令 <M30> M30

実行用システムファイルを変更しますか? (1.はい 2.いいえ)<2> 2

ファイル名: MS4A001F

最大有効値 <S0800>: 99999

最大半径値 <S0800>: 99999

EFFECT <S>

図9 パートプログラムの初期設定

【PART PROGRAM LIST】 92/06/24

MS4A001F.FPT

PART: MS4A001F

MCH: MILL: ABS

P1: 180.0000, -35.6115, 0.0000

C1: P180.0000, -44.4672, 10.0000

C2: P128.4695, -67.9681, 43.0000

C3: P172.4869, -98.7314, -10.0000

C4: P122.5305, -67.9681, 43.0000

C5: P125.4166, 2.4681, 43.0000

C6: P113.2543, 54.9100, -10.0000

C7: P165.5000, 46.0000, 43.0000

C8: P111.8070, 45.0153, -10.0000

C9: P105.5834, 2.4681, 43.0000

F: 0.0000

FROM: P1

G1: G0

G2: G0

G3: G0

G4: G0

G5: G0

G6: G0

G7: G0

G8: G0

G9: G0

M0: M0

M1: M0

M2: M0

M3: M0

M4: M0

図10 パートプログラム (FAPT文)

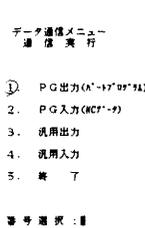
6). データ通信

FAPTデータを自動プロP-Gに送信する。

7). NCプログラムの作成 (図11・12)

FAPTデータをNCプログラムに作成する。

加工軌跡図の作成課程の中で当然、二次元図形でのデータ変換 (FAPT変換) は軌跡図が書け、一枚の図面から軌跡が取り出せれば簡単に作成できる。



[ \*RPT\*MSAADDIF.FPT のファイル出力を再開します。]

P-G側で R2/05 または R2/07 を入力して、A1→A2/A3の入力を実行して下さい。

図11 データ通信

使用しているCAD/CAMソフトで三次元図形をCAMに落とす試みを行いました。やはりFAPTへのデータ変換が二次元図形部分だけとなり深さおよび高さ等の指示はFANUC P-Gで図形定義、運動定義をキーINして作成しなければならず、これらの作成には熟練や操作技術の習熟がなければ対応できないと云った問題があり、最近では一般的に導入を敬遠されるシステムであると考え。

```

0010  FAPT  005-0017
0020  0000  01L  485
0030  01  05  00000  015  01017
0040  01  00  00000  000  00000  00
0050  02  01  00  00000  000  00000  00
0060  02  01  00  00000  000  00000  00
0070  03  01  00  00000  000  00000  00
0080  03  01  00  00000  000  00000  00
0090  03  01  00  00000  000  00000  00
0100  03  01  00  00000  000  00000  00
0110  03  01  00  00000  000  00000  00
0120  03  01  00  00000  000  00000  00
0130  03  01  00  00000  000  00000  00
0140  03  01  00  00000  000  00000  00
0150  03  01  00  00000  000  00000  00
0160  03  01  00  00000  000  00000  00
0170  03  01  00  00000  000  00000  00
0180  03  01  00  00000  000  00000  00
0190  03  01  00  00000  000  00000  00
0200  03  01  00  00000  000  00000  00
0210  03  01  00  00000  000  00000  00
0220  03  01  00  00000  000  00000  00
0230  03  01  00  00000  000  00000  00
0240  03  01  00  00000  000  00000  00
0250  03  01  00  00000  000  00000  00
0260  03  01  00  00000  000  00000  00
0270  03  01  00  00000  000  00000  00
0280  03  01  00  00000  000  00000  00
0290  03  01  00  00000  000  00000  00
0300  03  01  00  00000  000  00000  00
0310  03  01  00  00000  000  00000  00
0320  03  01  00  00000  000  00000  00
0330  03  01  00  00000  000  00000  00
0340  03  01  00  00000  000  00000  00
0350  03  01  00  00000  000  00000  00
0360  03  01  00  00000  000  00000  00
0370  03  01  00  00000  000  00000  00
0380  03  01  00  00000  000  00000  00
0390  03  01  00  00000  000  00000  00
0400  03  01  00  00000  000  00000  00
0410  03  01  00  00000  000  00000  00
0420  03  01  00  00000  000  00000  00
0430  03  01  00  00000  000  00000  00
0440  03  01  00  00000  000  00000  00
0450  03  01  00  00000  000  00000  00
0460  03  01  00  00000  000  00000  00
0470  03  01  00  00000  000  00000  00
0480  03  01  00  00000  000  00000  00
0490  03  01  00  00000  000  00000  00
0500  03  01  00  00000  000  00000  00
0510  03  01  00  00000  000  00000  00
0520  03  01  00  00000  000  00000  00
0530  03  01  00  00000  000  00000  00
0540  03  01  00  00000  000  00000  00
0550  03  01  00  00000  000  00000  00
0560  03  01  00  00000  000  00000  00
0570  03  01  00  00000  000  00000  00
0580  03  01  00  00000  000  00000  00
0590  03  01  00  00000  000  00000  00
0600  03  01  00  00000  000  00000  00
0610  03  01  00  00000  000  00000  00
0620  03  01  00  00000  000  00000  00
0630  03  01  00  00000  000  00000  00
0640  03  01  00  00000  000  00000  00
0650  03  01  00  00000  000  00000  00
0660  03  01  00  00000  000  00000  00
0670  03  01  00  00000  000  00000  00
0680  03  01  00  00000  000  00000  00
0690  03  01  00  00000  000  00000  00
0700  03  01  00  00000  000  00000  00
0710  03  01  00  00000  000  00000  00
0720  03  01  00  00000  000  00000  00
0730  03  01  00  00000  000  00000  00
0740  03  01  00  00000  000  00000  00
0750  03  01  00  00000  000  00000  00
0760  03  01  00  00000  000  00000  00
0770  03  01  00  00000  000  00000  00
0780  03  01  00  00000  000  00000  00
0790  03  01  00  00000  000  00000  00
0800  03  01  00  00000  000  00000  00
0810  03  01  00  00000  000  00000  00
0820  03  01  00  00000  000  00000  00
0830  03  01  00  00000  000  00000  00
0840  03  01  00  00000  000  00000  00
0850  03  01  00  00000  000  00000  00
0860  03  01  00  00000  000  00000  00
0870  03  01  00  00000  000  00000  00
0880  03  01  00  00000  000  00000  00
0890  03  01  00  00000  000  00000  00
0900  03  01  00  00000  000  00000  00
0910  03  01  00  00000  000  00000  00
0920  03  01  00  00000  000  00000  00
0930  03  01  00  00000  000  00000  00
0940  03  01  00  00000  000  00000  00
0950  03  01  00  00000  000  00000  00
0960  03  01  00  00000  000  00000  00
0970  03  01  00  00000  000  00000  00
0980  03  01  00  00000  000  00000  00
0990  03  01  00  00000  000  00000  00
1000  03  01  00  00000  000  00000  00

```

図12 NCプログラム (P-G)

5. データ通信の検討

RS-232Cケーブルによるデータ通信については、過去に実施した経験がありますが、通信距離や外部からのノイズを拾うと云った種々の問題が生じた。

この問題除去、さらには将来的な複数工作機械への通信拡大、加工物の変更による情報量の拡大等を考慮して光ファイバケーブルによる通信について検討した。

5-1. 通信条件

①CAD/CAMシステム

RS-232C拡張ボード側ボーレート

P-G接続に合わせて調歩同期モードのボーレート設定をディップスイッチの設定により4,800ボーに設定済。

設定値を図13に示す。

(現在の設定値)

|          |        |      |        |          |          |           |
|----------|--------|------|--------|----------|----------|-----------|
| RS232C-0 | 9600ボー | 7ビット | 偶数パリティ | ストップビット1 | Xonラメータ有 | (タブレット接続) |
| RS232C-1 |        | 7ビット | 偶数パリティ | ストップビット1 | Xonラメータ有 | (プロッタ接続)  |
| RS232C-2 | 4800ボー | 8ビット | パリティ無  | ストップビット2 | Xonラメータ無 | (P-G接続)   |

図13 パソコンの設定値

②自動プロP-G

RS-232Cのインタフェース仕様は図14のとおりで伝送速度は4,800ボーである。

③マシニングセンタ

CNC装置のデータ入出力インタフェース (RS-232C) のパラメータを4800ボーに設定。通信距離35m。

この様に通信を行う機器のプロトコルを同一条件に設定しておかなければならない。

P-GのRS-232Cインタフェース仕様

伝送速度 4,800ボー  
同期方式 調歩同期  
伝送キャラクタ

スタートビット 1  
データビット 8  
ストップビット 1/2  
パリティチェック 無

5-2. 通信機器の仕様

①電源レス光デジタルモデム (RS-232C光インタフェース)

使用したOPTmini20AF (沖電線(株)製) の仕様を図15に示す。今まで主に用いられていたモデムでは、それぞれに電源 (DC5~9V) が必要で電源ボックスがモデム外について、あまり使用勝手は良くなかったのですが使用したモデムは電源レスでコンパクト化され、軽量で便利にできている。

図14 P-Gの設定値

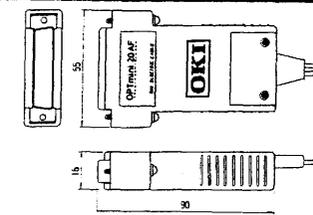
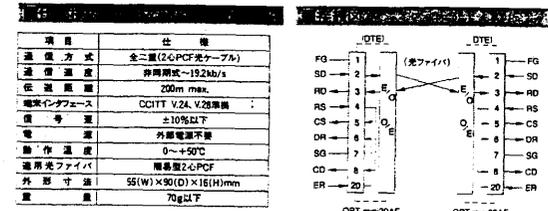


図15 光デジタルモデムと仕様

②光ファイバケーブル

モデムと同一メーカーの簡易型補強光ファイバケーブル (屋内・外用) 2心線を用いた。モデム接続用光コネクタとの関連からモデムとケーブルは同一メーカーがベターである。図16に光ファイバケーブルの仕様を示す。

### 簡易型補強光ファイバケーブル

| 品名             | PCK-201PF       | ◎ PCK-20NPX |
|----------------|-----------------|-------------|
| コア径/クラッド径 (μm) | 200/300         |             |
| ファイバ外径 (mm)    | 1.0             |             |
| 心線数 N          | 1心              | 1~4心        |
| 伝送損失 (dB/Km)   | 10以下 (at 800nm) |             |
| 曲率半径 (mm)      | 4.0×6.5         | 8.4         |
| 外径 (mm)        | 100             |             |
| 作業曲げ半径 (mm)    | 50              |             |

抗張力体 PVCシース  
コード

抗張力体 PVCシース  
ケーブル  
介在  
コード

図16 光ファイバケーブル (◎印を使用)

### 5-3. 通信上の問題

#### ①ケーブル配線時の問題点

光ファイバケーブルの配線上の注意事項として考慮しなければならない点は、

- (1)ケーブルを折り曲げない。
- (2)設工時、足で踏んだり投げたりしない。
- (3)配線時、ケーブルの曲率半径を100R以上にする。
- (4)通信ライン毎にケーブル、モデムをダブルで配線する。故障時の予備回線や断線時のチェックラインとして使用する。

#### ②CAD/CAM ↔ P-G

この間の通信については、通信距離が短く同室内設置の為、1mのRS-232Cケーブルにより実施している。通信用ソフトウェアについては2項のところでも照会しました「JPG」によって、加工軌跡図を自動プロP-Gに送信している。

この場合、CAM側の通信条件をP-Gの仕様に合わせてセッティングして通信しておりますが、全行数57行のパートプログラムにおいて後半5行を残してI/Oエラーを生じ送信がストップするトラブルが発生。

このトラブル原因について種々、検討中ですが現時点では解決しておりません。納入メーカーともコンタクトを取りながら原因究明に努力しておりますが、やはりメーカーが遠方のためかアフターが不十分で満足な処置が得られません。

したがって現在は、他ソフトメーカーのP-G接続ソフトや、パソコン通信ソフトを用いて原因の調査を致しており、

通信されなかった残りのパートプログラムについては、P-G側で直接キーINしてパートプログラムを作ってNCプログラムを作成している。

CAD/CAMシステムについては、特にCADソフトのバージョンアップによりGXⅢからGX5にグレードアップ後、CAD作業中において色々トラブルが生じて問題が多いシステムである。

FAPTパートプログラムに変換したデータをP-Gに転送する手順としてCAM側で図11のデータ通信メニュー通信実行でP-G出力を行い、P-G側ではI/Oコマンドの設定を次の様にキーI Nする。

IO AUX, CN4, BR9, F12, F13

AUX: 接続する装置の名前を表す。名称はメーカーが割付けされており(その他)を表す。

CN4: 名前で指定した装置を接続するコネクタ番号

BR9: P-Gのボーレート値を表す。

BR8~2,400bps  
BR9~4,800bps  
BR10~9,600bps

F12: CAMからの入力ポートを割付けているFキーを表す。

F13: CAMへの出力ポートを表す。

#### ③P-G ↔ マシニングセンタ

P-GからマシニングセンタにCADで作成した加工軌跡図をCAMを介してP-Gでつくった。NCプログラムをマシニングセンタに通信。

マシニングセンタ側ではP-Gから受け取ったNCプログラムで製品の試削を行いながら時間短縮と効率化を図るため、プログラムの改良、編集を実施。最適なNCプログラムを作成します。

最終プログラムの再チェックとNCプログラムのファイリングのため再度P-Gへ通信を行います。

また、プログラム以外にツールの補正值や附帯作業のサブプログラム等も通信できるわけで、フロッピーディスクを媒体とする通信以上にそのメリットは大きい。

さて、通信上の問題点ですが介在する機器の伝送速度を仕様にしたがってセッティングした状態であっても満足できる結果は仲々得られない。

P-C側からNCプログラムの送信を行いますとマシニングセンタ側CRTにPARITY ERRORを表示して通信がストップ。このERRORの対策を以下の手順で行い解決することができました。

#### 1. MC側CNSC装置データ入出力インタフェース

##### (1)RS-232Cインタフェースのパラメータ変更

・使用データ入力インタフェースのセッティング

1 DVCE 0 #6003, D0-1

・使用データ出力インタフェースのセッティング

0 DVCE 0 #6003, D4-1

##### (2)シリアルインタフェースのボーレートその他の設定

①RS-232Cインタフェースのデータの入出力設定

#6028, D6-1 (データを入出力独立に設定)

②RS-232Cインタフェースのボーレートの設定

| 入力用<br>出力用 | #6026, D3<br>#6028, D3 | #6026, D2<br>#6026, D2 | #6026, D1<br>#6026, D1 | #6026, D0<br>#6026, D0 |
|------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| ボーレイト値     |                        |                        |                        |                        |
| 2,400      | 1                      | 0                      | 0                      | 0                      |
| ボーレイト値     |                        |                        |                        | 入力用の1を0<br>に変更した       |

③ストップビット長さの設定

入力用 #6026, D4-1

出力用 #6026, D4-1

(ストップビット=2ビット)

④コントロールコード送り出し指定の設定

入力用 #6026, D5-0

出力用 #6028, D5-0

2. P-G側のI/O設定

IO NC,CN2,F8,F9,BR8

BR8 2,400ポー

BR9 4,800ポー

4,800ポーではI/OジカンギレとなりP-Gストップ

6. NCプログラムと試削

6-1. NCプログラム

CAD/CAMシステムから出力した小判形フランジ部のパートプログラムを図18に示しましたが、この小判部の加工軌跡図は図17の太線部分になります。【 PART PROGRAM LIST 1

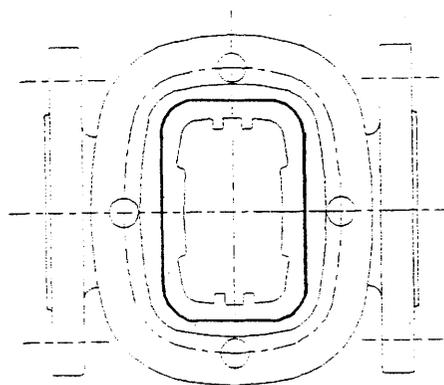


図17 フランジ部の加工軌跡図(太線の部分)

```

テ-9 4-4 75-F1.FPT

PART,075-F1
MCHN,MILL,ABS
P1:24.59276,71.54622
C1:P(24.59276,-49.54622),22
S1:P(46.59276,-48.45378),90A
C2:P(24.59276,-48.45378),22
S2:P(-23.40996,-70.45378),0A
C3:P(-23.40996,-48.45378),22
S3:P(-45.40996,49.54622),90A
C4:P(-23.40996,49.54622),22
S4:P1,0A
FEED,200
G%
#0412171
FROM,P1
C1,CW
S1
C2,CW
S2
C3,CW
S3
C4,CW
S4,P1
EM30
G%
FEED,200
FINI
PEND

```

図18 フランジ部パートプログラム

図18のパートプログラムをP-Gに送信して工具のスタート位置や工具の直径、回転スピードおよび回転命令等を附加して改良したパートプログラムが図19である。この様にCAMから出力され

るパートプログラムにはポイント、直線、円弧の座標値と工具の進む方向が指示されるだけで、実際の加工に必要な送りスピードや刃物の切り込み量および作業スピードを上げる早送り命令等は、P-G担当者がこれらをパートプログラムに附加して効率の良いNCプログラムを作るため担当者には加工ノウハウやP-Gの操作技術が必要であり、CAMによる省人・省力化メリットは本システムでは望めない。本システムでは逆にCAD/CAM担当者とP-G担当者が必要となり人員増につながる危険性が多い。

図20には小判形フランジ加工の加工NCプログラムを示す。この加工プログラムには刃物の切り込み量、工具の移動スピード、切削スピード、使用工具と工具の補正量等フランジ部の面加工に必要な全ての情報が附加されている。

したがってP-Gを介するCAD/CAMシステムは本来のCAD・CAMシステムにはなりえない。

本来のCAD・CAMシステムは対話形式で、ツール、ワークの加工条件等の設定が簡単にでき、個々の企業が、それぞれのノウハウを取り込んだプログラム作成ができるシステムでなければならぬ。

本システムを用いた省人・省力化についてはCAD図面の工夫が必要で、等高線表示で高さによって描画色をかえて行く方向が考えられるが、この方法も仲々むづかしい。

さらにCAD/CAMシステムで作成されるNCプログラムでは加工物に存在する加工物の突起物や段差の回避は不可能で三次元CAD/CAMシステム以外これらの回避は困難である。

したがって、マシニングセンタ側でこれらを回避するためNCプログラムの変更、編集を行って、対処しているのが現状である。

マシニングセンタ側でのプログラム修正はオペレータに加工図面の十分な理解と操作およびプログラム作成の力がなければ対応は不可能である。

6-2. 試削

バルブ弁箱の三面フランジ部のフランジ面加工とボルト穴の試削を行ってきましたが、企業への導入となればむづかしい問題が多い。試削の中で問題となった点を拾いあげてみます。

加工物が鋳物のため鋳造メーカの違いが、即、製品にあらわれ片肉、型づれ等千差万別である。したがって、マシニングセンタでは加工物取り付け用治具の基準部分に自在に調整可能な調整機構が必要である。特に専用治具の場合は固定部と調整部に分けた設計が必要。最近ではビルディ

```

#101 P01.015-01
#102 M06.M11.08
#103 P1.24.59276,71.54622
#104 C1.P(24.59276,-49.54622),22
#105 S1.P(46.59276,-48.45378),90
#106 C2.P(24.59276,-48.45378),22
#107 S2.P(-23.40996,-70.45378),0A
#108 C3.P(-23.40996,-48.45378),22
#109 S3.P(-45.40996,49.54622),90
#110 C4.P(-23.40996,49.54622),22
#111 S4.P1,0A
#112 FEED,200
#113 G%
#114 #0412171
#115 FROM,P1
#116 C1,CW
#117 S1
#118 C2,CW
#119 S2
#120 C3,CW
#121 S3
#122 C4,CW
#123 S4,P1
#124 EM30
#125 G%
#126 FEED,200
#127 FINI
#128 PEND

```

図19 フランジ部の改良パートプログラム

```

00270 N102;
00280 G55C90C08X155.0Y162.8S450;
00290 G43Z0.0H01;
00300 G0X110.0;
00310 G01Z-2.0F2000;
00320 X-46.0F300;
00330 Y-62.0;
00340 X46.0;
00350 Y62.0;
00360 X-110.0;
00370 Z-3.0F2000;
00380 X46.0F300;
00390 Y-62.0;
00400 X-46.0;
00410 Y62.0;
00420 X110.0;
00430 G00Z200.0;
00440 B100;
00450;

```

図20 フランジ部の加工プログラム

ングブロック方式の治具部品が種々販売されていますのでこれらの活用もベタな方法でしょう。  
 本研究では加工対象素材を一社に縮めて取り付け治具を設計しましたので、固定式専用治具で調整部を設けておりません。取り付け治具と加工物の取り付け状態を写真1に示す。

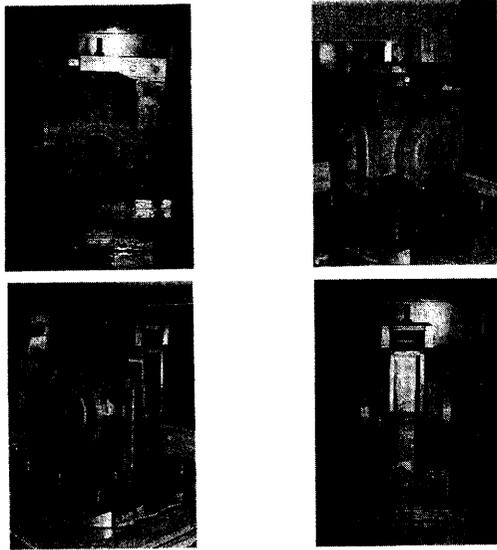


写真1 取り付け治具

図21に加工寸法チェックを示しましたが図面寸法と試削寸法では誤差が生じます。この誤差を少なくする調整機構が取り付け治具に設けなければならない。本研究の取り付け治具ではこの調整を素材がのる敷金の厚さで行っており、自在調整はできません。

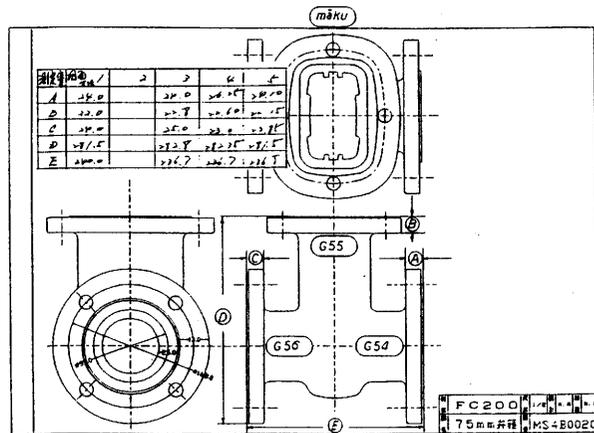


図21 加工寸法チェック

次に加工物の芯出しおよび加工原点の設定ですが、最近ではタッチセンサーを用いた方法が簡便で高精度なため広く利用されていますがオソドックスな加工原点からの芯出し方法を取得して

おかなければならない。

この方法は横型マシニングセンタの場合、特に必要な芯出し法である。横型の場合、加工原点はパレットの中心とパレット面からの高さで表されますので取り付け治具と素材の変形、片肉、かたよりが原点設定に大きく影響する。

取り付け治具設計で治具の寸法出しはパレットの基準面からの寸法を拾わなければならない。当然、Y方向の高さについてもパレット上面からの寸法になりますがY方向の場合には特に主軸ヘッドの外径も考慮に入れた寸法拾いが重要となります。

## 7. まとめ

CAD/CAMによるプログラム作成とデータ通信の検討結果をまとめると次のようになる。

(1)本研究で用いているCAD/CAMシステムをはじめとするパソコン形CAD/CAMシステムの導入には、パソコン知識を有する担当者が必要。素人では無駄な作業が多くシステム立ち上げの効率が悪い上データをつぶす危険が生じる。

現状のCAD/CAMシステムであってもあくまでコンピュータ支援 (Computer Aided)、マシニングセンタのツール選択と同じく、単にツールとしてとらえることが必要である。これからは作業者が多能工化する傾向にあるため操作の複雑なものは敬遠される。

(2)本システムのような自動プロ (P-G等) を介したCAMシステムは現状にマッチングしない。企業の導入に際しては対話形式でツール、ワーク、加工条件等の設定が簡単にでき、企業が蓄積している加工ノウハウを取り込んだプログラム作成のできるシステムがベタである。

(3)2次元のCAD/CAMシステムでは断面形状の図形表示だけで加工軌跡図へのデータ取り込みはできない。したがって、NCプログラムの作成段階で素材の段差、突起物の回避等はできないため、マシニングセンタ側でプログラム修正が必要。

さらにマシニングセンタのオペレータに加工図面を読む力と機械の操作およびプログラム作成の力がなければ対処できない。

(4)CAD/CAMシステムに限ったことではないですが、ハードディスクは外付けが良い。データ処理の途中に問題が生じた場合、チェックのためメーカーに送らなければならないときがかならず生じる。そんな時、対応が楽になる。

(5)本システムではP-G側のソフトウェアはFAPT MILLを用いていますが、CADデータの使用には不向きなソフトで、FANUCのCAD入力ソフトとして最近、FAPT GEOMETRY (対話図形入力、製図用ソフトウェア) やQuick FAPT MILL (マシニングセンタ加工用ソフトウェア)、NCデータ編集としてFAPT TRACER-II (NCデータ編集、描画確認用ソフトウェア) が開発されている。

さらに今後CAD/CAMシステムを導入する場合にはDNCソフトやATCソフト (工具交換システム) を含めておいた方が便利です。

(6)これからCAD/CAMシステムの導入を考えておられる企業では、導入に先掛けて自社の加工ノウハウ (工具毎、材料毎、加工方法毎の加工条件等) の文章化とファイリング。部品の標準化。図面の分類や客先毎の図面の標準化とファイリングを実施する。

(7)CAD/CAMシステムへの従業員の意識向上を図る目的から、社団法人日本パーソナルコンピュータ協会が実施しているCAD認定実技検定試験を受験できる機会を設けることも必要です。

年度当初に研究の目標としておりました内容のほぼ70%は達成できたと思いますが、残された弁座シート部分の加工。特にシートリングを圧入するアリ溝部のマシニングセンタによる加工方法を完了すると同時に操作が簡単で使い勝手の良いCAMシステムへ拡充を図り、来年度内に研究目標の全てを達成したいと考えております。

最後に本研究の遂行にあたって多大な助言、ご指導をいただきました技術会議の東本先生(近畿大学)、三辻先生(yapac.CAD/CAM学院)並びに各委員のみなさんに深く感謝いたします。

(参考文献)

- 1) ぷろとこるクラブ：通信プロトコルのしくみがわかる本、(株)NTT、PCコミュニケーションズ監修、(株)工業調査会
- 2) 加藤直孝：Auto CAD活用ガイド、東海大学出版会
- 3) 樋口、宮川、西川：CAEによる低キャピテーションバルブの開発研究、平成2年度業務報告
- 4)

業 務 報 告 書

平成 5 年 10 月 発行

滋賀県立機械金属工業指導所  
〒522 滋賀県彦根市岡町52番地  
TEL 0749-22-2325  
FAX 0749-26-1779