



# 水を語る会

## 講演集（第2号）

(平成22年度総会から第12回会員集会まで)

2012年10月



## 水を語る会 講演集 目次

「水を語る会」の発信	1
眞柄 泰基 水を語る会 会長	
講演記録	2
平成22年度総会 平成22年6月12日	
特別講演 朴 恵澈 先生(三重大学学長補佐・人文学部教授) 「日韓の川(江)の大会及び水辺環境学習～成果と課題～」	2
第7回 会員集会 平成22年9月10日	
講 演 玉井 義弘 先生(日水コン 名誉顧問・元大阪市建設局長) 「日中水道交流の実績と課題、水ビジネスの展望」	13
第8回 会員集会 平成22年12月4日	
講 演 白濱 英一 先生(元横浜市水道事業管理者) 「都市水道の成り立ち」	17
第9回 会員集会 平成23年2月26日	
講 演① 沼田 真人 先生(元前澤工業(株)バルブ統括部技術部長) 「水道用バルブの歴史的な話」	33
講 演② 後藤 彰 先生((株)荏原製作所 風水力機械カンパニー理事) 「ポンプ市場と技術動向」	55
平成23年度総会 平成23年6月18日	
特別講演 片山 恒雄 先生(東京電機大学特別専任教授、東京大学名誉教授) 「ライフライン地震防災の40年 —ライフラインを中心とした都市の防災—」	68
第10回 会員集会 平成23年9月17日	
講 演 尾崎 勝 先生(前東京都公営企業管理者水道局長) 「水道事業の広域化—多摩地区水道都営一元化について」	77
第11回 会員集会 平成24年1月21日	
パネルディスカッション 「子供に伝えよう これからの水道」	87
第12回 会員集会 平成24年4月14日	
講 演 駒谷 直樹 先生(TOTO株式会社お客様本部商品技術部担当部長) 「水栓類の変遷」	99
あとがき	114
長岡 裕 水を語る会 幹事長	

## 付 錄

### 付録 1

水を語る会 役員名簿 ..... 1

### 付録 2

水を語る会 会則 ..... 5

### 付録 3

水を語る会 会報（第 8 ~ 14 号） ..... 11

## 「水を語る会」の発信

会長 真柄 泰基

水を語る会が発足してから4年が経過しました。わずか4年という短い時間で有りながら、東日本大震災や福島の原子力発電所の事故等深刻な災害や事故に見舞われました。水を語る会が発足してから2年間の歩みはすでに発行しており、次いで平成22年6月から平成24年4月までの活動をまとめた冊子を発行することになりました。

平成22年6月から平成24年4月までに講演頂いたタイトルをご覧頂くと、皆さんの関心が鋭く、時によっては、社会の様相や国民の行動様式の変容を予見するテーマが語られています。水にまつわる技術の変遷や行政・運営の有り様を論じていても、すべてのこと前に前向きで真摯に立ち向かう力強さを感じさせております。時代を超えて、水に係わる世界のモラルを示していると思います。

少子高齢化社会の到来は確実でありますし、その予兆として社会経済活動の停滞ばかりでなく、その活動構造すら変化しつつあります。水使用量の減少とそれに伴う料金収入の減少が具体的にそれらのことを示しています。高齢者や年間100万人まで低下した出生数が示す貴重な子供達は、生理学的にも、物理的にも、精神的にも弱い母集団です。これらの人々が安心して暮らせ、若者達が社会の持続性を維持していくために、これまで築き上げてきた社会インフラである利水・排水システムを、ダウンサイジングした上で、レジーレントなマネジメントが可能になるよう工夫していかなければなりません。

これまでの利水・排水システムは増加し続ける需要に応えるよう拡張・拡大をすれば、社会から受け入れられてきました。それが当然で有り、拡張計画やそのための財政計画を前倒しして計画年数を短くするのが善としてきたことすらありました。これからは、需要が減少し、料金収入や資金がタイトになります。資金が毎年減少していくことを前提とした事業計画や財政計画を立てるという、これまで経験したことが無いようなビジネスモデルが求められております。ダウンサイジングもコストがかかります。

これから時代にあっても、利水・排水システムを運用するために人的資源が必要なことはいうまでもありません。労働人口も少なくなり、我々の分野が聖域では無く、他の分野と競合して、人材を確保しなければなりません。ただ単にコストを削減するための人員削減は、システムの持続性を危うくします。そのためには、限りある人的資源を効率高く活用できるようなシステム自体に改革しなければなりません。大都市の水道と周辺地域の簡易水道は、必然的に一つの組織としてマネジメントせざるを得なくなると思います。まさに、集合プロセスと分散プロセスを共存させるシステムということになり、地域一体と言うことになれば、サービスの対価としての料金は同じでなければなりません。

利根川流域の水道で起きたホルムアルデヒトによる取水制限とそれが原因で断水せざるを得なかつたことは、日本の社会経済構造が変化したことを見ています。つまり、道路整備によって内陸に工場群が立地し、その結果の残渣とも言うべき排水や化学物質が水道原水に存在し、わずかな緩みが水道システムを成立させなくするということを明らかにしたのです。この流域ばかりでなく、各地の水道は認可時と全く異なるリスクの高まった水源に依存するようになったのです。

水を巡る環境は、このように大きく変化し、利水・排水システムそれ自体の持続性を危うくしているのです。危うさが現実とならないように、「水を語る会」で世代をこえて、智と歴史が大きなうねりとなるよう会員皆さんと努力したいと願っております。

平成22年6月12日(土)

## 平成22年度総会特別講演「日韓の川(江)の大会及び水辺環境学習～成果と課題～」

三重大大学学長補佐・人文学部教授 朴 恵淑

(\* 平成23年4月から三重大大学理事・副学長)

(本編は、水を語る会事務局が、講演内容を聞き取り編集したものです。)

### 1. はじめに

講演にあたり、最初にお話をうけたときには軽い気持ちで答えたのですが、本日ここに来てみてすごい人がたくさんいるので、驚きました。水を語る会がどういうものか知っていたら講演を断ったかもしれません。

The slide contains the following text:

日韓(川)は誰のものか

I. 自然(川)は誰のものか  
II. 日本の川の日ワークショップ  
(いい川いい川づくりワークショップ)  
III. 韓国の川の日大会  
IV. 水環境再生事業:韓国ソウル清渓川  
V. 「世界一綿流会場大学三重大学」の  
持続可能な環境人財養成プログラム  
:COP10(アジア子どももユース  
伊勢湾洋上生物多様性学園)

朴 恵淑

自然(川)は誰のものか 基本的考え方

(1) 地域住民との連携・参加  
- Blue Gold としての川(水)認識  
- 持続可能な社会  
- 高学官民の協働型地域づくり  
(2) 治水・利水から「環境」へ  
- 緑水公園  
- 多自然型河川  
(3) 環境人財育成  
- 持続発展教育 (ESD)  
- 実践的環境教育のツール  
(4) 認識共同体 (Epistemic Community) の構築  
- 政府・自治体の環境政策の転換  
- 市民がバナス  
- 各セクターとのネットワーク  
- 国際環境協力 (アジア)

今日は自分の立場上、NPOなどの活動で9年間川に関わってきた経験から、どういうところがやりやすく、どういうところがまだまだなのか、若い人達も一緒になって行っていくために青少年の環境教育、水や川をどうやって考えていくべきかをお話したいと思います。

今日は水を題材とした日韓の環境問題への取組みをお話しします。双方向のコミュニケーションに関連したものです。

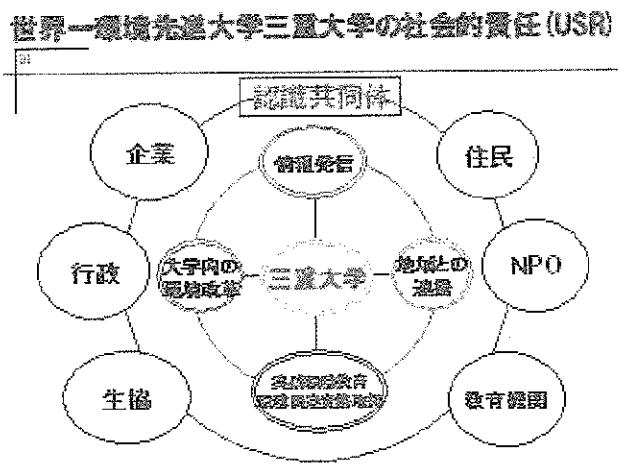
まず、日韓において、川というものについて、自然を見る目が若干違いますが、この点について「川は誰のものか」から考えます。つづいて、韓国・ソウルの清渓川という川について、生死をさまよっていた川が何を伝えようとしているのかについて話します。さらに、三重大学が船をつかって海から陸へと環境教育を行っている姿の紹介をします。

### 2. 川は誰のものかについての基本的考え方

まず、川、水の基本的な考え方を提案します。川や水を嫌いな人はいませんが、川は危ない、川で遊ばないという教育もあり、川で遊んだりしないようにする雰囲気があります。受験競争が原因の部分もある。でも、そうではなく、川や水はかけがえのない自然であり、水は青いゴールドであると考えを改める必要があると思います。

持続可能であるべきものとは何か。私の専門は空ですが、空は「今は綺麗な青空だけど昔どうだったかは言いにくい」。しかし、川は見ることができると、綺麗でも魚が住めなかつたり、ゴミがあつたりしたときに理解しやすい。持続可能な社会は川ひとつ綺麗にできないとダメと

ということで、川を対象に教育に取り組んでいます。



韓国は中央政府の力が強い。産学官民のパートナーシップがなかなか難しい。市民ガバナンスのあり方も変わってきます。自然災害・治水の発想から、環境という部分での考え方への変化、水は親水空間であり、河川整備において、自然の形で流したほうがよいというパラダイムのシフトをどうするかが、韓国で今、必要なことです。

今の子供にどのように体験をさせるのかも必要です。ゆとり教育の総合学習では、三重大学でもいろいろやりました。子どもたちが体験できる身近なフィールド、教育の考え方を変える必要があります。

### 3. 認識共同体を使った環境教育-日韓の川ワークショップの違い-

認識共同体とは、何か大きな異常現象が起きたときに科学的に「なぜか」を究明し、影響を予測して、解決を探るための基本的な枠組みです。この科学者の手段、客観的な立場で意見を交わすための単位組織を認識共同体といいます。それを環境教育のレベルでやるのはやや難しい。子供たちなどに伝えていくためには、川を題材としてややゆるい認識共同体を作ったらどうか、ネットワークを組もう、分散型ネットワークを組んで、その輪が国レベル、地域レベルできたらアジアに行きましょうということです。日本にとっても、日本はアジアのひとつの国として無視できないし、アジアの水を媒介して民-民の関係ができるのではないかと思います。川を基本に考えて、どうやって実現をしていくのかを探ることが重要です。

このような活動を進めるためには、個人の力では限界があり、仲間を募っていく必要があります。認識共同体を使って、これを作っていくことは可能ではないかと考えているので、そういうことを語り合いたいと思っています。

そこで、ひとつの考え方として、日本の川のワークショップを取り上げたい。いい川づくりのワークショップです。日本でのこのワークショップは、全国からたくさん方に来て頂きたいのですが、いつも代々木開催で、フィールド（現場）での周回がない。全国大会みたいなものを運営していくような資金・人的ゆとりがないためです。フィールドがない中で、プレゼンでお話をされるわけですが、子どもたちにとってはイメージしにくい。そういう部分をもっと工夫していく必要があります。一度、愛知万博のときに矢作川でやったが大変好評でした。

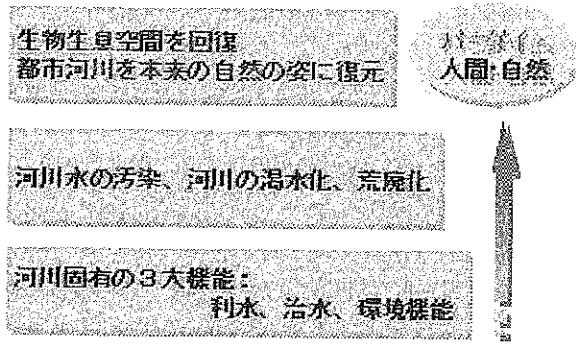
## 韓国の水環境運動の動向

- (1) 1970年代
  - ・経済発展5ヶ年計画：漢江の奇跡
  - ・ダム建設反対運動：官主導の治水・利水政策へ反対
- (2) 1980～1990年代初
  - ・洛東江へのフェノール流出事件
  - ・命の水への認識向上
- (3) 1990年代～
  - ・産学官民の協働による多自然型河川整備：清溪川復元
  - ・市民ガバナンス
  - ・親水公園の整備
- (4) 現在
  - ・四(死)大河川整備事業？
  - ・治水・利水から「環境」へ？
  - ・持続可能社会の構築？

これに対して、韓国の水に関わる動向をみていきます。1950年代は日本も大変でしたが、韓国では韓国戦争があつてさらに大変でした。60～70年代は、とにかく経済優先で、ソウルを流れるハンガン漢江の奇跡という時代を経験しました。60年代はダムを作つて水力でやっていく時代ですが、今そのダムが古くなっています。多目的ダムで治水利水をやつているが、行政主導だったので地域住民の反発を買つています。ただし、70年代の反対運動は反体制運動だったので刑務所直行でした。

80年代に入って、環境を考えることができる時代になりました。洛東江へのフェノール流出事件で、魚が全滅し、環境を考えるきっかけになったのが大きいことでした。この財閥は日本でいえば三井財閥クラスの財閥で、ビール会社もあって美味しいビールを作つていたのですが、怒った国民が市役所の広場にそのビールを樽に放り込んで徹底的な抗議行動運動が広がつた経緯があります。余談ですが、韓国の人々は徹底的にやるところがあります。

## 清溪川復元の基本コンセプト



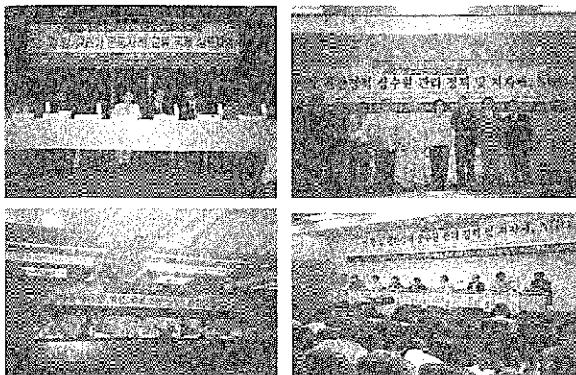
これに対して、日本は最後にはどこかで手を緩めるとこどがあります。ともかく、その時魚が死んで浮かんだとき人々は気づいた。全国的に水をどうやって守るかという意識が広がつたのです。

80年代終りから大統領が大衆から選ばれるようになって変わっていき、清溪川の取組みになるわけです。臭くて汚い清溪川に蓋をするのではなく、蓋を開けました。大統領と市民が交流するようになり、4000回の会議がもたれ、市民力が大きな圧力になった。水といえば親水公園というのが普通になりました。

ただ、この取組みは清溪川ではよかつた（5km程度）が、韓国南部にある4つの大きな川を全

部やりたいと言いました。やりすぎではないかと思うが、結果的には治水利水というところから抜けられない、そのようなことが分かるようになってきました。持続可能な社会の構築、経済と産業のバランスをとる。緑色の成長が本当なのか。どこまでの根拠を持っていっているのか、すべてに「？」がつくようになりました。でも、それは良いことで、それが！に変わっていく過程が大切なのです。

### 韓国の江の日大会開催までの準備会



2000-2002

日本の川の大会が毎回同じ場所なのに対して、韓国は絶対同じところで二回はできません。日本にも学ぼうということで、日本の川の大会を見学し、意見交換をしました。当時の韓国環境大臣が民サイドで主催するシンポジウムに参加してくれました。日本だと偉い人は挨拶だけして帰りますが、ここでは、現れたら最後までいます。それが好印象になっています。あとは、お金は1/3は環境部、1/3が民、1/3が企業で出す形になっていて、分担の仕組みがあることです。

チャンスがあれば、韓国の川、日本の川を見て回ることをやっています。日本の川の日大会では、3分間それぞれの団体がパフォーマンスでも何でもして採点します。対して、韓国は4大川についてなど、必ず1日は専門家を呼んで討論会をやり、子供も含め、みんなの参加を義務付けられています。翌日に自分の川のアピールをする形になっています。

参加に子供が目立ちます。日本の場合、子供もいるが大人が多い。採点する側は、どうしても子供の点数が甘くなる。韓国ではそのつもりで子供を出す。どうしても何か持つて帰りたい。日韓の子どもたちを全面に出すようにすればどうかということで、会を3日に拡大して、そのうちの1日を子供の日にあてるようにしました。

#### 4. 清渓川の過去・現在

次に、清渓川について考えます。川を3年という短い期間で綺麗にできた背景とは何かを説明していきます。

## 清渓川の過去

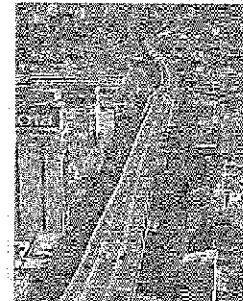
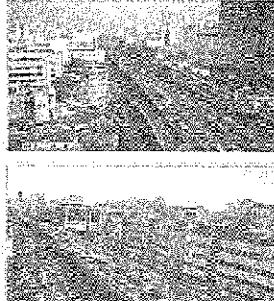


1890年代の清渓川の様子



1920年代の清渓川の様子

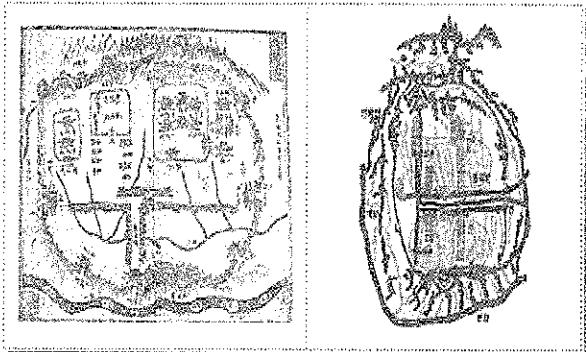
## 1970年代の清渓川



清渓川の治水は李王朝が600年続いたもととなっています。当時はいちばん風水的によい場所を都にする傾向があり、今のソウルの場所がいちばん良いということで、李王朝が引越しをしました。そのときから清渓川が頭の痛い川でした。

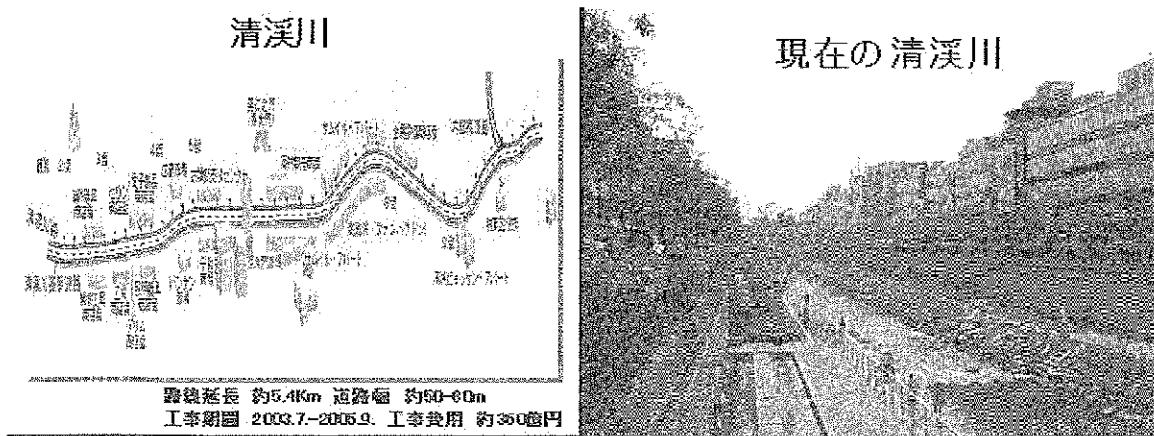
漢江は東から西に流れる。西に行くほど平野になっています。川は東から西に流れる。しかし、清渓川は西から東だし、気まぐれな川でした。ソウルに住んでいる人にとっては頭の痛い問題で、厄介な問題でした。

## 漢陽(ソウル)の風水図と清渓川



これを、川だから本来の川にさせようというコンセプトのもとで、1000万人の合意形成によって元の川に戻そうということになりました。綺麗な川にするのか、汚い川なのであれば綺麗にするとはどこまでできるか、それはどういう意味を持っているのかなどを議論し、人間と自然のバランスのとれた自然のひとつとして清渓川があるという考え方のもと、このような取組みを行ったのです。

これは風水に基づいた600年前の図ですが、中央に西から東に流れる清渓川が頭の痛い川でしたが、王様が川にすることにしました。そのときの二代目の王様が清渓川の浚渫工事等いろいろ手を加えました。1800年代の終頃には、汚いながらも洗濯ができるような川になりました。

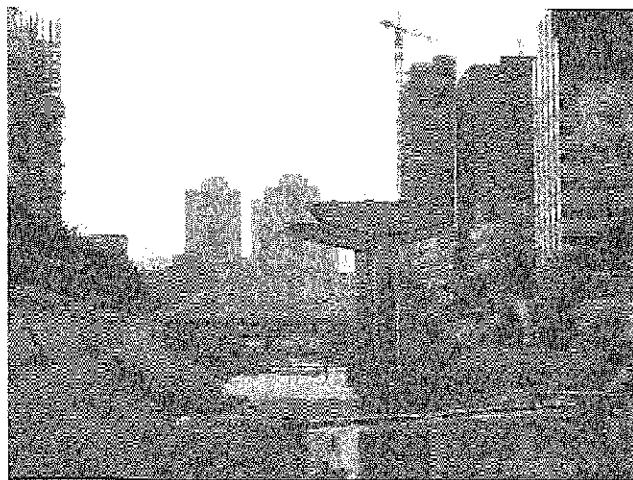


1900年代中盤に川沿いに地方からの流入民がスラムを作りました。次に、60～70年代に経済発展のため、蓋をして道路にして、高架道路を作り、繁栄のシンボルになりました。しかし、貧しく、ものづくりをしていた人たちが道路周辺が集まり始めました。

2003年に李明博大統領になったとき、そこに住んでいる人や、道路交通をどうするかという問題になり、彼は、約5kmを川に戻す、費用は360億円で、20～30万人の生活を守り、40万台の交通をさばく、といったことをやり遂げたわけです。

何をしたかのを図化すると、認識共同体ができたとことです。研究者の認識共同体、生存権を守る認識共同体などができる、その場所、場所の特色を活かしたようなものができたという組み合わせです。

まず、東大門の内側は歴史的なエリアにしました。1400年代に川の水位を測るために目盛りが出てきたので、浚渫をしたときの記録に近いようなものが見られるようなものが一杯出てきたので歴史ゾーンにした。

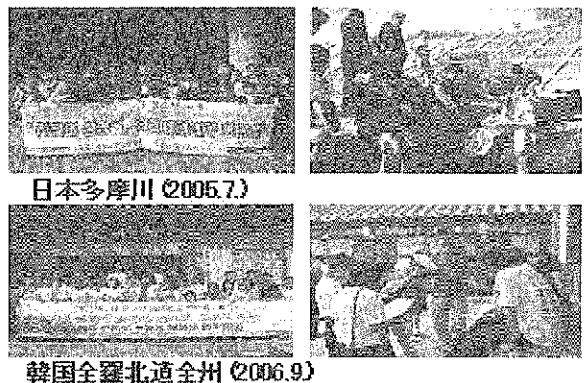


真ん中の方は若者のファッショナブルな空間、親水空間、オペラ、展示会等。

川下側（東）については、自然を子供たちに分からせる場所にした。集客、人があつまる場所にして、新たな若者の空間になりました。

現在の清渓川は、一日12万トン流れています。漢江からの水の組み上げのほか、地下水等を使っていて、異常事態の場合は、一日10万トン分程度は下水処理水を流せるように作ってある。間違って子供が水を飲んでもお腹を壊さないように水質を管理しています。

## 日韓青少年の国際水環境活動



歴史ゾーンでは、昔の人の知恵を見るようになっています。川周辺には気温を下げる効果もある。クリスマスにはイルミネーション。昔ここには高架道路があったことを残している場所もあり、そこには文化館があって、道路のコンクリートかけらをプレゼントしていました。

### 5. 日韓青少年の川をめぐる活動一日韓から世界へ

清渓川を紹介したのは、東京の荒川等のところでも、蓋をしていたものがあって、それを元に戻すなり親水空間に変えるのかを考える中で、4000回もの議論をどうやってやったか。どうやってまとめたか。考え方の差、やればできるということなのか、その辺の考え方の差が見えるのではないかと考えているためです。



日本の加藤清正が攻めた歴史のある韓国のチンジュは、両国にとって不幸な歴史のある場所ですが、あえて、歴史とは何かを考えるために日本の青少年をつれてきました。どう思うのかを考えさせる取組をしました。

このときは、川の水源から自転車で下りつつ、川の観察をして下っていました。ものすごく暑かったが、その夜、戦争の歴史の上で、子供たちがこれからどうやっていくのかをプレゼンしました。水は両方をつなげてくれるものなので、話し合いをしましょう。川に対してどう取り組んでいくのかをまとめさせました。

### 日韓青少年環境宣言文

わたしたちも常に他の生き物を尊重し、また、すべての自然の中から命を得て、そして、自分はまた生きるために他の生き物を守っています。しかし、私たちが自然を守るために生きています。生きのためではなく、生きるための資源を守るために生きています。生きのための資源を守るために生きています。

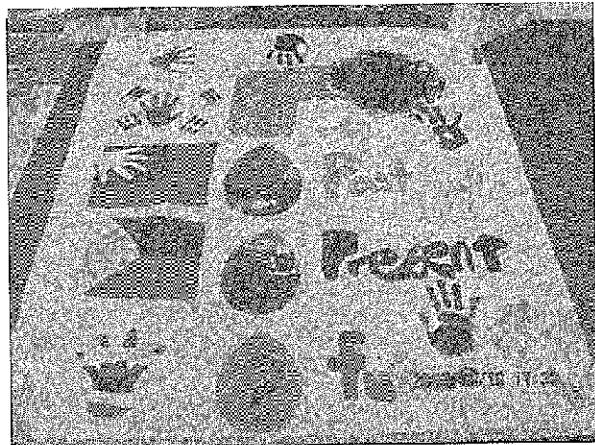
生きるための資源を守るために生きています。生きるための資源を守るために生きています。生きるための資源を守るために生きています。

日本の人たちは自然と共生する道筋を守っています。日本のように生きています。

1. わたしたちは、自然と共に生きるものバーチャルラップを通して加湿を守り、自然を守る活動を始めます。
2. わたしたちは、自然と共に生きるために、人間と自然との距離を縮める実験的な技術を発展させ、実験でより多くのことを学びます。
3. わたしたちは、生きる資源を守るために、生きるための資源を守るために、生きるための資源を守るために生きています。
4. わたしたちは、車社会過度の生活のために渋滞が発生し、渋滞を防ぐ技術ネットワークを構築します。

本店、上院と自然は共生しています。自然を守ることによって生きていけることを、自然を守るために、また、自然を守るために、生きるための資源を守るために生きています。生きるための資源を守るために生きています。

2017年4月17日  
日韓青少年環境宣言文を記名一回



両国の45人くらいの子どもたちが、一日自転車に乗って、一日話し合いをして作成した文章がこれ。私はここで未来が見えた、先生になってよかったですと思いました。一緒に手を組んでやっていきたいということが何回もでてくる。過去を今にどうやって活かし、未来に活かしていくための実験ができたと思っています。もう一度、後輩を呼んで、もう一度つくらせてみたいと思います。

その後、この活動はだんだん広がっていきます。5カ国から参加するようになり、去年から川の日のオープニングを子どもたちでやる日が一日増えたんですけど、結構よかったです。これは中学生たちが一緒に絵を書いたものです。こういうものを利用して、アジアの13カ国から3日間いろんなところに連れて行き、最後は手と手をとりあって継続してやっていきましょうとなつた。宣言文は出さなかつたが、考えは似ているなと感じました。

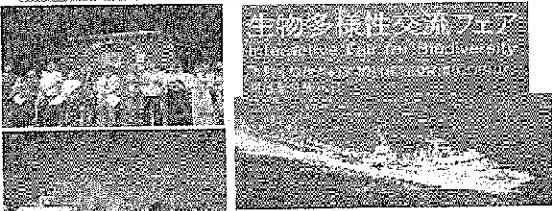
その後、日本でこういうのがあったので、韓国もやらなきゃとなって、UNEPと組んでTUNZA（若者と手を組んでという意味）、世界青年の船を見たり、いろいろな活動をしてみたり。期間中、伊勢湾を4時間かけてクルージングしながら、海水、藤前干潟、四日市コンビナートを見させる等の活動を、50人×4回、アジアの子供80人+日本の子供100人でやっていくような活動をやっています。

## 6. 三重大学における環境教育のとりくみ



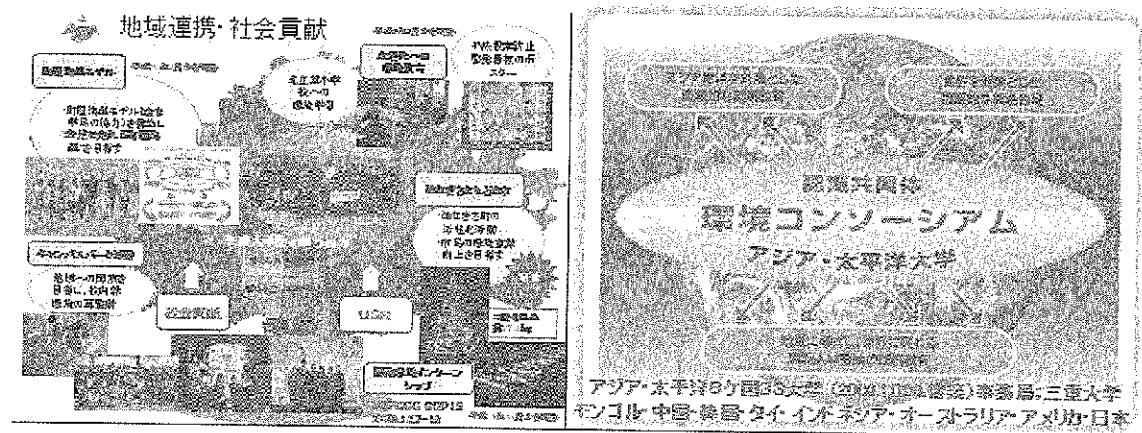
COP10「三重大学の国際生物多様性環境教育」イベント  
(2010.10.11~12)

1. COP10の期間中に三重大学環境教育フーズの設置
2. アジア・太平洋子ども&ユース環境会議「伊勢湾洋上生物多様性教室」(第2回)
3. アジア・太平洋大学連携コンソーシアム「海洋記念国際環境教育シンポジウム」の開催



三重大学は海に近く船を持っていること、ISO14000で環境人材教育を標榜し、文部科学省の補助も受けているので、こういう活動が進んでいます。大学もうまく利用したほうがよい。以前は認識共同体構築が難しかったためか、一般の人にお話をしてこなかった。難しい話を優しくするのは難しい。しかし、今は、そうでなければ、社会的責任を果たせない時代

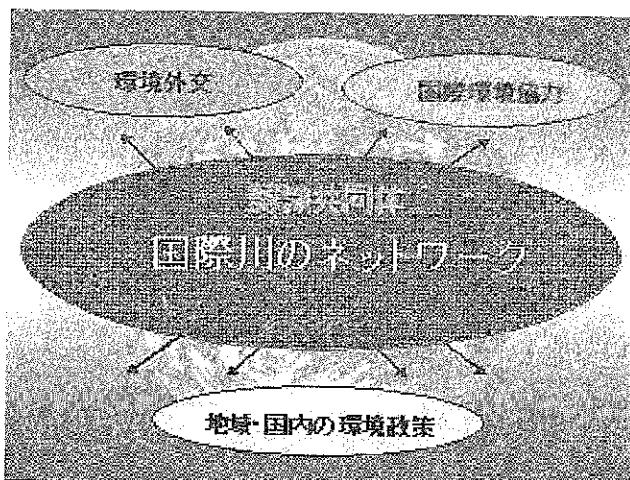
になっている。海にいちばん近い大学として、海を綺麗にするなどの活動に2単位あげている。そういうような形で地域に愛される活動をやっているうちに、環境経営大賞、環境大臣賞などをとるようになりました。



非常にありがたいのは、大学の中の温度差はあるが、よそから賞をとったとか、子供が喜んだとか記事が出ると、反対の声がない。協力はしなくても、反対されないだけでもありがたい。やりがいのある取組だと思います。水を語る会のような取組みも大変意義のある取組みだと思います。

やる気があるよ、というところがあれば、そこを巻き込んでいるようなところが地域の核とのコラボレーション、本当の意味での認識共同体、地域を動かすための認識共同体を作っていくことになります。私は「環境曼荼羅」という言葉を作り組んでいます。まだまだやらないといけないことはあるのですが、自分でやるのは大変だから、メディアや地域と一緒にやっている。そのうちに実践的にはうまくアレンジしていくことで果たせるのではないかと思います。

ひとつの川を語る会、水を語る会でもいいのですが、それぞれの各セクターをどうやってつなげていくのか、それが川の日大会とか環境教育だとか、経験から見たときにこういう絵がかけるのではないかと思います。



アジアに行きたいとの部分では、3年間で成果をつくる必要があったので、アジア太平洋の大学と一緒に声をかけて、事務局は三重大学がやる形で、テレビ会議システムを配布して、リアルタイムで会議をやったり、英語のひとつのプログラムを33大学で共有したりしました。30分の授業の部分で90分かけて説明する、次にもう一度見せてと手間はかかりますが、アジアの

ところで、どういう環境問題があつて、タイはどういう問題があつてということをやつています。

これによつて、水を語る会が国際ネットワークになる。エンバイロメントポリシー⇒ネットワーク⇒外交、協力、政策⇒こういうものができると面白いのではないかと思う。

ということで、ひとまず私のお話は終わらせていただきたいと思います。



## 質疑

Q. 河川環境を再生など、日本でも取り組むために、うまく進めるための工夫、きっかけはあるのでしょうか。

A. 韓国方式がいいのか、日本方式がいいのか、第三の方式がいいのかわからないが、言えることは、韓国は強いリーダーシップを持つ政治家がいたのが大きい。そういう人がいるかどうかです。もう一つ、文化国民性かもしれません、あまりどうこう言うのは好きではなく、やるならやろうぜという雰囲気がある。あと、噂ですが、韓国には米軍基地がたくさんあり、移動するときには清渓川のところはメタンガスが充満して危ないなどと言われるような危機意識があった。

地下鉄を作ったり、バスもより頻繁で安い料金で値下げをして、車のナンバープレートが1の場

合は乗ってはいけません等とやって、トラフィックコントロールをしたり、ソウルに入る手前のところでライドシェアを導入したりして交通量を減らした。不可能と思えるものができた。アイデア、やる気が一緒になった。でも、日本でそういう強烈な政策があるか。日本には成熟した市民社会、韓国はクーデターにつぐクーデター。日本は少しずつ舵取りを変えていく。韓国とは違う形を日本でも作ってもらえるといいと思うのです。ただ、清渓川の見せ方のウマさは参考になります。日本は地味だし、100%あるものを80%しか表現しない。アメリカは50%あれば150%。韓国は80%を100%。その辺のアピールの違いはありますね。

Q. 日本でリーダーシップの議論をすると、まず自動車団体が反対、経済効果で反対、等という形になると思う。どのようにさばいたのでしょうか。

A. 日本は経団連が強すぎる。韓国は、政治と財閥の仲がいいので、仲良くしたほうがいいという判断になるのか、対立した方がいいという判断になるのかを決めるルートがあります。費用対効果は正直どうにでもなってしまう数字です。どこに付加価値を入れるのかでなんとなる。たとえば人の命など無限大にもできる。メタンガスで爆発するといえば、便益は出せるわけです。

韓国でも、ヒョンデ自動車が大きな会社で、日本よりも車が多いくらいですが、それが売れる売れないの議論にはならない。なぜか、交通量調査をするとこの道路に集中しているようなものを、道路がなくなってしまうと自動車会社がつぶれるようなものではない。ただ、経済学者はかかった費用の10倍以上の利益を生んでいると説明されている。工事で出てくる経済効果、工事の後に出てくる効果は計測法によるが、マイナスではなかったと評価されています。韓国の国民は99%が清渓川を作ったよかったですと思っているが、それだけで十分に便益が出るのです。対して日本では経団連が強すぎる。やっぱり意識を変えるようなもので、切り口、突破口を作らないと。関心をもってみていただきたいです。

Q. 四大河川整備事業について、韓国の政策担当者、省庁の役人はものすごい勉強をしていますが、どこに問題があるとお考えですか。

A. 単純です。川は流れないといけない。流れを止めるようなことはすべきではなく、そのつけは来る。最善を尽くして計画を作ったのだろうが、多くの矛盾がある。自然は川だけでなく、人と生態系は閉じたシステムにしてはいけない。もともと運河からきた発想なので、運河をつくる必要がどこにあるのか。歐州のような国際河川ならともかく。川は自分を整備してくれと言つてない。

#### ○眞柄会長

韓国には四つの大きな川がある。これをつないで、行き来できるようにしようということで、政府の中で、従来あるダムを壊したりして、ひとつの水系にする事業をやっているわけで、河川行政、環境行政などの体系を変更しつつある。

清渓川ももともとの清渓川の姿では全くないわけで、国の環境を作りなおそうという思想をもつてやっている。フェノールの問題を起こした、洛東江では下水処理場にオゾン活性炭が入っているくらい、徹底した処理をやっている。我々日本人とは、そこまでやるのかと思うほど、先進的な考え方を持っている人が多い。考え方についてはすでに彼らに教わるところも多い。

日本の水処理技術は高いが、環境行政、環境教育は韓国から学ぶことが多い。日本人が思いつかないようなことを韓国ではなされているわけで、今日の話は大変に参考になりました。ありがとうございました。

平成 22 年 9 月 10 日 (土)

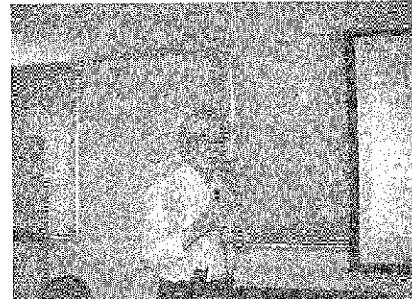
## 第 7 回 会員集会講演 「日中水道交流の実績と課題、水ビジネスの展望」 講演記録

玉井義弘・日本コンサルタント顧問・元大阪市建設局長(日中水道友好協力会 代表幹事)に第 7 回会員集会で「日中水道交流の実績と課題、水ビジネスの展望」と題してご講演を頂きました。

本編は、水を語る会事務局が、講演内容を聞き取り編集したものです。

### ○日中交流活動の実績と課題

1993 年に大阪市を退職してから日本コンサルタントに入りました。その年から人的交流を始めたので、約 20 年間での訪中回数は 20 数回を数えます。日本の水道人が初めて訪問したのは、30 年以上前、改革開放の明くる年でした。今までに、日本団が訪問した中国の都市の数は 30 都市程度、中国団が訪問した日本の都市の数は 20 都市程度となっています。文化大革命が終わって改革開放路線を導入した直後で、日本もどういう協力をすればよいか、中国も水道をどうすればよいかわからない状態からスタートしました。



写真：玉井氏の講演の様子

1981 年に訪中した後、84 年に中国団が日本に来られました。技術的な交流を深める中、資金を何にするかが一番重要な話となり、結果、無償援助という形になりました。新しい医療や教育など先端技術が優先されていて、水道は後回しになっていました。そういう状況の中、資金を確保されたというのは関係者の方々が非常に苦労された点だと思います。86 年に長春浄水場の建設のために無償資金協力に関する契約を締結、同年起工式を行いました。

全国的に水道は緊急の課題なので、どうやって整備していくかという話になり、86 年に円借款を活用する提案を建設部より受けました。その後、日本の円借款を求める都市はどんどん増えていきました。当時の JBIC 案件の円借款として、第 2 次で 4 都市の水道整備（総額 125 億円）、第 3 次で 7 都市水道整備（総額 264 億円）、第 4 次で 15 都市の上下水道整備計画（総額 1,500 億円）を実施してきました。

訪問先では議論の中で技術交流をして、計画や内容をまとめ報告書を作り、両政府に出し、その後、両国が対象都市を決めます。そういった交流を続け、1996 年に長春市工業用水浄水場の竣工式がありました。この案件は水道分野における海外経済協力基金（OECF）の民活インフラの一号となりました。両方で株式会社をつくってそこに円借款を使うというのをやった案件です。

1997 年からは下水道も検討の対象になりました。1998 年には記念史を作つて交流の記録を作りました。その後 2006 年に、中国城鎮供水排水協会設立記念大会で新協会の第 1 号となる栄誉会員を頂くに至りました。

中国の国際会議等の場では、中国水道の課題、簡易水道の話、日本の水管路建設の話、淀川流域の総合水管理の話などをさせて頂きました。淀川の話は、淀川下流の浄水場を担当しているとき、本当に水行政の一元化が大切だなという意識を持っていて、上流は水源開発を、中下流は高度処理と節水をやるなどして、琵琶湖淀川水系はそれぞれの努力によってサステナビリティを確立しているという話をしました。中国政府から農村部や中小都市の上下水道を積極的にやりたいという話が

あり、簡易水道の50周年の話をしたこともあります。

中国城鎮供水排水協会の李振東会長の講演録から、中国の都市水道の歴史を紹介したいと思います。現在の水道普及率は94.7%となっていますが、中国の水道協会は大きな都市のみを対象にしています。普及率といつても、都市部のみで、中国全体で言うとまだまだ低い段階だと思います。太湖の水質は悪いですし、上海でも水道水はカビ臭がします。

中国で面白いのは都市の節水で、私は最初から節水の必要性を訴えていました。日本でも水資源が足りない時期は、淀川水系でも企業が節水機器の利用、ビルの冷房排水等は垂れ流しだったのが蒸発分のみになりました。その分で節水できる量は小さくないです、今は空冷です。日本は徐々に節水型に変わってきたと言えると思います。節水型社会は一朝一夕にはできないので、中国では最初から水の有効利用を訴えてきましたし、最近の国際会議ではその成果について話しています。節水を積極的に進めた成果は、工業生産量億元あたりの水使用量で、原単位が下がってきている事から見て取れます。

李振東会長が日本に来られた時に、水道協会や下水道協会に来て本棚に並んでいる協会が編纂した指針を見て驚かれていました。中国では技術の動向や法律等まだまだ改善点が沢山あると思います。1985年当時、水質基準の項目数は71項目で日本より多いが管理方法が十分なのか、という点にも課題がありました。昔、上海に行った時には、バルブとともに铸物そのものが悪かったです。今はかなり改善されていると思います。

中国の将来展望については、国際金融危機に直面して内需拡大を言っています。水以外も含め4兆元を投資していくとしています。農村の発展と飲料水の確保、都市と農村の格差是正に注力していくとしています。新疆ウイグル自治区に行った時に聞いた話ですが、沿岸部の裕福な都市と、内陸部の貧困な都市でペアを20何組作り、技術交流、次に資金援助をすることによって、日本のように国がやるのではなく、都市同士で発展を支える仕組みを作ろうとしています。その他、水質事故、下水処理、法整備、エネルギー対策等を今後の課題として上げていました。

他の関連情報として中国住宅都市農村建設部 仇保興副部長のインタビュー記事を紹介したいと思います。日本は中国に対し消極的であるというイメージをずっと持っているようで、水質汚濁や処理、省エネ等CO<sub>2</sub>削減など共通の問題であるし、日本の省資源モデルを踏襲したいのだが、日本企業は売り込みにこないとの事でした。

2008年に円借款がなくなったので、新しいルートを作つて開拓していくかなければならないですし、中国が日本のどのような技術を必要としているかを理解してもらった上で交流を進める事が重要なのですが、省エネに関するフォーラムなど、日本企業あまり来ていない様子だと聞いています。日本からの情報を中国語版で出して欲しいともおっしゃっています。

## ○水ビジネスの展開と課題

大阪市は関経連と効率的な送配水システムの技術検討をしているが、大阪市の広さの10倍を対象にしており、効率が悪い点も沢山あって、大変難しい案件だと思います。他には東京都と三菱商事でオーストラリアにインフラのノウハウを提供する、横浜市と日揮等様々な方法が出てきています。一方、関係官庁で海外水インフラ PPP協議会が開催されていましたが、引っ張っていくという会議ではありませんでした。産業革新機構では海外で水ビジネスを展開しようという民間企業に出資するし、NEDOは新技術を開発に資金を出すという事で大きなビジネスにつなげるよう活動されています。

東京水道サービスや大阪水道総合サービスとかの株式会社が海外進出そして、必要なときは局職員が出向するというのが普通かなと思っています。水道事業者がそういう事を通じて利益を出すのは構わないという解釈でいますし、局 자체が参画して進めると維持管理も含めて技術力があるので組み合わせたら十分通用すると考えています。

これからどうするか、という事を考えた時に、それまで役所ではトップ会談で話を通しておく事でスムーズに事が運ぶという経験をして民間に来ましたが、民間企業の方が縦割りではないかと思いました。あるメーカーが参画しようと思ったとき、その会社全体が担当部門をバックアップするということにならないので、体制構築にも難しい面があります。

ファイナンス、財源については、ODAの場合、建設して費用をもらった時点で民間企業の役割はなくなり、政府同士で借金を返してもらうという方法をとってきました。しかし今後は、たとえば20年間事業を実施して、料金で回収するとなると大変な話なのですが、海外投融資を受けるとなると、自らがSPC等を組んで契約しますから、自分で回収しないといけなくなります。完全に民間資金を出す、相手国の自己資金もあるかもしれないですが、大切なのは長期に渡る回収に関するリスクだと思います。大きなメーカーでも水道関連部署だけでやれないですし、中小企業レベルならもっと難しいと思います。商社と組んで資金的な面倒を見る等、その辺りを十分に議論をして頂きたいと思っています。

事業実施時の維持管理をどうするか、という話もあります。行政側も維持管理技術が分散している状況ですし、民間側も維持管理は経験がないので弱いのは仕方ないとも思います。となると、チームを組んで、案件形成を進めてきたとしても、いざとなると国際入札になる可能性もあります。日本企業が事業まで行き着くのは大変ですし、どのような仕組みで、どのように取り組むのか、どうフォローしていくのかが大事で、真剣に考えていかなければ、と感じています。政府も水ビジネスと言っているので、受注出来るまで頑張って欲しい思っています。

本日は私の素直な感想をお話させていただきました。ありがとうございました。

## 質疑

Q：日中友好協力会については多くの成果があるが、その成功の要因として、（費用負担を）空港にくるまではそれぞれの負担、相手国では相手国の負担という原則でやったのが、長続きした方法であったと聞いているが、その理解でよいか。

今後交流をしていくモチベーション・動機付けをどうすれば出来るのか、その辺りを伺いたい。

A：空港までという原則は今では違います。ホテルとかはそれぞれが全額負担しています。事業のモチベーションはODAがあった事が大きかったと思います。円借款はアントライドで国際入札なので負けてしまう事が多いですし、向こうが欲しいといわなければ日本製品を入れることが出来ませんでした。一番大事なのはチームを組んで、各企業が本気でやるかどうか。リスクを含め本気でやるしかないと思います。

## ○まとめ（眞柄会長より）

玉井さんとは1973年、インドネシアの訓練センターでの仕事からの付き合いです。中国の話もありましたが、日本が海外で仕事をする上での一番の強みは、手数料込みで2%の利息で資金を調達

できるという点です。国際的には9%～10%かかります。その優位性を活かしてSPCを組んでやるというのが上手くないのが残念です。民営水道に日本企業が入って成功している例もあるので、これから新しい展開があると思います。

海外で仕事をすることの戦略的な意義というのは、10～20年後に外国人が日本の水道を運転管理するための蓄積になるという面もあると思います。単に今日の若手が元気になるだけでなく、実際に外国人がする運転管理をマネジメントする立場の経験として、という意味です。例えば、中国の運転管理をやっているのは華僑、アメリカではヒスパニック、フランスではアフリカ北部の人、イギリスではマレ一人です。日本人だけで国内の施設を管理するのは非常識ですし、海外に行って水事業を展開する意義は国内の水道事業のためでもあると考えるべきだと思います。民間企業では既に外国人技術者が立派な仕事をしているわけで、上下水道の現場で外国人の方が活躍する事も必要ではないかと考えているところです。

平成 22 年 12 月 2 日(土)

## 第 8 回 会員集会講演 「都市水道の成り立ち」講演記録

白濱英一・元横浜市水道事業管理者に第 8 回会員集会で「都市水道の成り立ち」と題してご講演を頂きました。

講演の前に、今から四半世紀前、横浜水道創設 100 周年記念事業の一環として製作された「アクアの肖像」を鑑賞して、日本の都市水道がいかにして生まれ、どう発展してきたか、木桶水道から近代水道へ、そして、その後の横浜水道の軌跡を紹介していただいた。

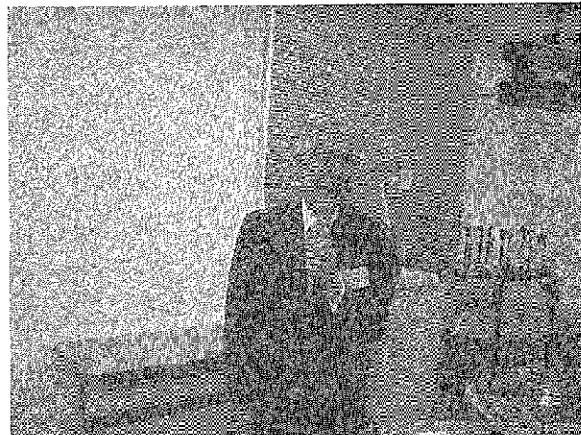
本編は、白濱講師に講演内容を編集頂いたものです。

横浜が都市として誕生したのは、長い鎖国時代が終わり、開国の夜明けが告げられた時であった。それまでは僅か 100 戸ばかりの静かな村が、今や 360 万人を超える大都市に変貌するまで 150 年間、都市基盤としての水道をどのように確保してきたかを、時代を順次追いながら、横浜水道の歴史を説明しようとした。しかし講演時間に限りがあるので、水源が皆無と言っていい横浜、急増を続ける人口、これに対し、先人たちはいかにして水源を確保し給水してきたかを横浜水道 100 周年記念誌「横浜水道 100 年の歩み」を中心に講演した。講演の資料は第 5 回拡張工事(昭和 36 年)までとなっている。

また、本講演記録は黎明期の横浜水道がどのような状況にあったかをご理解いただきたく、講演時間の大部分を費やした関東大震災前後までの内容について、詳述させていただいた。

### 近代水道以前の給水

我が国の井戸の歴史は古く、弥生時代、集落には地下水を汲み上げる「井戸」が存在していたことは登呂遺跡等で見ることができる。農耕が盛んになるに伴い灌漑用の水を得るために、土堰堤を築いての貯水あるいは川や沼から水を引く技術が発達した。近世に至り、安土桃山時代から徳川時代にかけて、特に城下町では人口が増加し、生活用水の確保と防火上からも用水が必要となり、人工の水路で導水する施設(すでにその頃「水道」という言葉が存在していた?)が各所に布設されるようになった。



### 横浜水道物語

- ◆ 近代水道以前の給水
- ◆ 近代水道の創設
- ◆ 明治・大正時代の水道施設
- ◆ 関東大震災前後
- ◆ 第2次世界大戦までの水道施設
- ◆ 戦後復興期の水道施設
- ◆ 高度経済成長期の水道施設
- ◆ 人口の都市集中と水道整備
- ◆ 安定成長期の水道施設
- ◆ 現在と将来

灌漑兼用の水道は、江戸開幕以前の 1545 年(天文 14)に小田原の早川用水ができていた。飲用を主とした水道としては、1590 年(天正 18)に徳川家康が江戸入府に当たつて造った神田上水が最初とされている。最初は手近な水源を利用したごく小規模な水道であったが、逐次拡大し、井の頭池の湧水を江戸まで 20 km 余を導水して完成したのは 1629 年(寛永 6)頃のようである。その後、江戸ではさらに規模の大きい玉川上水が布設された。その頃、江戸以外の諸

藩は幕府にならい、次々と水道を布設しその数は 40 有余に及び、主なものとして甲府用水(1595・文禄 3)、赤穂水道(1616・元和 2)、金沢辰巳用水(1632・寛永 9)、水戸笠原上水(1663・寛文 3)などがある安政元年(1854)ペリーが 2 度目の来航の折、日米和親条約が調印された。これは、米国の要求を入れ、①下田、箱館(現函館)を開港すること、②漂着者を保護すること、③米国の船舶に対し、食料、水、燃料その他の物資を供給することなどを約束したものであった。幕府は、同様の条約について、その年に英國及びプロシアと、また、翌年にオランダとの間で調印を交わした。

さらに、幕府は、安政 5 年((1858)6 月、ハリスと日米修好通商条約を調印し、9 月までの間にオランダ、ロシア、イギリス、フランスとの間で同様の条約を調印した。この中には、すでに約束した下田及び箱館に加えて、神奈川(現横浜)、長崎、新潟、兵庫(現神戸)を開港すること、ただし、神奈川の開港と引き換えに下田を閉鎖することが記されていた。この五カ国との条約に基づいて、翌安政 6 年(1859)6 月、横浜、長崎、箱館の 3 港が開港され、さらに慶應 3 年(1867)12 月には、兵庫が開港されたのである。

これらの開港場を通じて、日本は諸外国との交易を開始し、生糸、織物、茶、海産物等を輸出する一方で、綿織物、毛織物、戦艦、軍需品等の輸入を行った。

また、明治政府は、進んだ西洋技術の導入に熱心で、明治 4 年(1871)に岩倉具視らの視察団を欧米に派遣するとともに、外国人技術者を雇って技術の導入を図った。こうした政府の姿勢もあり、西洋文化の導入が急速に進んでいった。

開国によって持ち込まれたものは、西洋文化だけではなかった。当時欧米の列国はアジア各地に進出していたが、東南アジアの地域ではコレラが流行していたため、商船の船員等によってそれが日本に持ち込まれることになったのである。特に開港場は人の出入りが激しかったから、一旦侵入したコレラはまたたく間に全国に蔓延することとなった。コレラは、もともと日本ではみられない疫病であった。開国以前にも、コレラが発生したことがあり、文政 5 年(1822)には、西日本で大流行し、大阪で 1 カ月間の死者が数千人に達する惨禍を見た。これは、長崎に来航したオランダ商船の船員がもたらしたものだとされる。また、安政 5 年(1858)6 月から万延元年(1860)にかけても、大流行があった。これは、米艦ミシシッピー号が長崎に来航した際に持ち込んだものとされる。この時は、全国的に蔓延したが、特に江戸では暴発的な流行となって、安政 5 年の 8 月には、毎日の死者が数千人という数字に達し、終息まで

## わが国における水道の始まり

- ◆ 1545年?? 小田原・早川用水(灌漑兼用)
- ◆ 1590年?? 江戸・神田上水(一般の飲用を主)
- ◆ 1654年?? 江戸・玉川上水(1787年給水人口120万)
- ◆ 1878年?? 飲料水注意法
- ◆ 1887年?? 横浜水道通水(H. S. パーマー)
- ◆ 1889年?? 函館区水道(平井晴二郎博士)
- ◆ 1891年?? 長崎水道
- ◆ 1895年?? 大阪水道(水道条例適用第1号)
- ◆ 1898年?? 東京水道

に28万6千余の死者を数えたという。この時、江戸では、コレラのことを「三日コロリ」と呼んで恐れたと伝えられている。

明治になってしばらくは、コレラの流行も収まっていたが、明治10年(1877)9月長崎に来航した英國商船から持ち込まれたコレラが西日本各地に広まった。続いて、明治12年3月愛媛県で発生したコレラは、大分県に飛び火した後全国に広がり、3万3千人余の死者を出した。さらに、明治18年8月長崎

## 明治10～20年の水系伝染病発生状況

明治	コレラ		赤痢		腸チフス	
	患者数	死亡数	患者数	死亡数	患者数	死亡数
10年	13,710	7,967				
11	902	275	1,098	131	3,983	549
12	162,637	105,786	8,119	1,477	10,052	3,530
13	1,570	589	6,015	1,473	13,349	3,806
14	9,328	8,187	7,001	1,837	24,033	5,866
15	51,638	33,784	4,289	1,300	18,253	4,354
16	969	434	21,172	5,066	18,769	5,043
17	900	415	22,524	5,989	20,816	5,999
18	13,772	9,310	47,183	10,627	27,934	6,483
19	155,923	108,405	24,326	6,839	60,224	13,807
20	1,228	654	16,149	4,257	47,449	9,813

内務省「衛生局年報」による

から西日本に蔓延したコレラが大阪に潜伏し、翌年、全国的な大流行をもたらしている。この時、患者発生の報告がなかったのは、わずかに鹿児島、宮崎の2県だけで、患者発生数15万人余、死者11万人を数えるに至った。このほか、海外から侵入しものではないが、赤痢、腸チフスも毎年多くの患者を出している。

これらは、いずれも不衛生な飲み水に起因する水系伝染病であり、文明開化に浮かれていた当時の衛生状態の悪さを如実に物語るものと言えよう。

### 木樋水道の建設

横浜の開港が、西洋列国の東洋進出と江戸幕府の崩壊という劇的なシーンの中で行われ、また、この難しい時期にわずか数ヶ月の間に町づくりを進め、ようやく開港に間に合わせたという経過から、町の整備は必ずしも十分ではなかったと思われる。開港されると、予想以上に増加を続ける人口に対応するため、埋め立てに次ぐ埋立てによって新しい土地を造成し、収容していくかなければならなかつた。しかし、町の大半が海や沼を埋め立てたところであったので、排水が悪く、少しの雨でもぬかるみとなり、排水溝も汚れている状況であったと言われている。

また、飲料水に関しても、埋め立てということから井戸を掘っても良い水が得られず、わずかに旧横浜村内の本町の2ヵ所の井戸が飲用に適するとされ、多くの人は野毛や中村・石川などの郊外の湧水な

どを汲んで売り歩く水屋に頼っていたといわれる。人口増加により深刻化する水不足に加えて、開港場という役割を担う横浜は、内外人の交流が盛んになるにつれて疫病が流行するという衛生上の問題が発生し、衛生環境改善のためにも、神奈川県は水道建設について政府に交渉していた。

明治3年に入り、二ヶ領用水の取入口上流に分水路を設け導水する計画について、民部省による玉川分水路測量が再開された。これに対して、二ヶ領用水を利用している地元60カ村が計画中止の陳情を起こし、神奈川県は二ヶ領用水組合の大総代であった市場村名主 添田七郎右衛門の修正案を採用して、取入口を原案より12km下流に移し、二ヶ領用水の鹿島田堰から分水する等調整案をまとめた。明治4年(1871)年2月、横浜商人有志に添田七郎右衛門も加わった10名が、連名で水道会社設立を願い出た。この出願に対して、神奈川県庁は早速政府の承認を得、木樋水道建設の許可を与えた。

木樋水道建設は、一日も早く横浜に水を送るという決意で、発起人10名の出資金11万5千円で開始された工事であったが、事故による工事

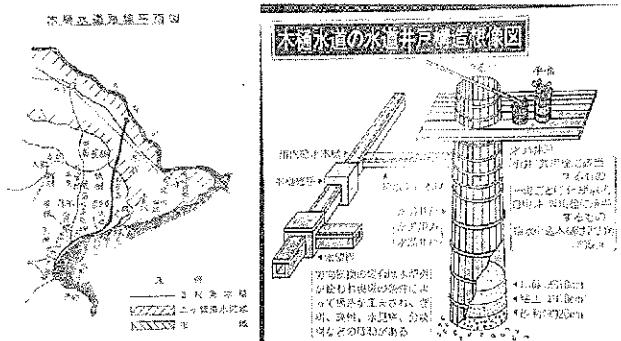
費倍増にかかる負債等により、水道会社は立ちいかなくなり、神奈川県に事業を引き継ぐよう嘆願書を提出してきた。県令中嶋信行は、事業発足のいきさつとこれまでの献身的努力に打たれ、事業の引き継ぎを決めた。政府に負債17万円を無利子20年年賦の条件で貸し付けるよう申し出ていて、大蔵卿大隈重信の決断で承認された。しかし、収入を確保する、水租賦課(料金徴収)の許可が下りず、許可指令が届いたのは明治8年9月15日付であった。この間に

横浜港はヨーロッパの不況の影響を受け、貿易の中心の生糸の輸出が不振に陥るなど、未曾有の不況に見舞われ、目抜き通りでさえ空き家があり、予定した収入見積額の確保はおぼつかなかった。

不況の底にあったことに加えて、井戸の使用料金は非常に高いものであった。木樋水道は長い間放置されていたことや工事不十分の個所があるなどで、水道井戸に塩氣を含み臭いがあるということを口実にして、料金の支払いを拒む者が続出した。

明治9年になって、木樋水道の経営がようやく軌道に乗る気運となってきた。しかし、工事落成から何年かの糸余曲折の経過をたどっており、漏水や塩臭を含むなど苦情が多かった。明治15年に入り、木樋水道の大改修についての調査が行われたが、この年の1月、横浜の人口67,584人、木樋水道により給水を受けている者34,175人、残りの約33,000人が水売り業者や市内に散在する井戸などに頼らなければならなかつた。なお、ペーマーの報告書によれば、この木樋水道の取水量は鹿島田の元堰で毎秒約8立方フィートであったと記されているので、4万人に満たない給水人口に対して日量約2万立方メートルもの水を送っていたことになり、明治20年に完成した本格的な近代水道が7万人を対象に日量約5,700m<sup>3</sup>を送ることになっていたことを考えると、いかにも効率の悪いものになっていたかが覗える。

## 木樋水道路線と水道井戸



木樋水道は、早晚抜本的な対策を講じなければならないところに追い込まれていた。このような状況に対して、居留地各領事から会議の都度、新式水道建設の要望が出され外国人有力者からも提案がもたらされるようになった。これにひきかえ、木樋水道で苦い経験をした日本人側からの積極的な意見は少なかったようである。

当時、不平等条約の改正に苦慮していた政府は、この水道問題を居留地対策の一つとして重要視していたが、社会生活の基盤に関する事業を外国人の手に委ねることは、将来を考えれば絶対に避けるべきであるという見解をとっていた。そこで、神奈川県では抜本的な水道対策を自らの手で進める方針を固め、木樋水道建設の時点でも将来これを鉄管に取りかえることを前提としていた経緯を踏まえてこれを実現するか、また、他の方法として新しく相模川からの取水によって行うべきかを中心に検討を始めた。

計画案の一つは、木樋水道のルートに鉄管を布設する多摩川水源案で、もう一つは相模川から引水する案であった。しかし、近代式水道は日本では未経験であったから、折しも明治16年2月、香港政府で香港と広東の水道の設計を行った英国の工兵中佐(のち少将)H・S・パーマーが来日したため、その機をとらえて、同氏と3月から3ヶ月の契約を結び、横浜水道の設計調査を依頼した。調査結果は、4月11日にまず多摩川水源案について第1意見書

として提出され、続いて5月31日に相模川水源案について第2意見書が提出された。パーマーはこの意見書の中で、近代水道は、①衛生的見地のみならず防火用水としても緊要であり、かつ、水圧が動力用としても有効であること、②衛生上、経済上から見て不断給水が必要であることなどを述べている。

#### 近代水道の創設

#### 横浜水道給水までの経緯

- ◆ 1882(明15) 神奈川県が近代式水道の調査を開始
- ◆ 1883(明16) パーマーに設計調査を依頼  
　　パーマー「第1意見書」「第2意見書」を提出  
　　横浜水道起業認可の稟議書を内務省に提出
- ◆ 1884(明17) 内部卿松方正義より認可指令交付  
　　神奈川県がパーマーに顧問工師就任を依頼
- ◆ 1885(明18) パーマーが4人の技師を同伴して再来日  
　　4月 工事着手
- ◆ 1887(明20) 5月 横浜水道給水規則、横浜水道共用栓規則、横浜外国人居留地給水規則を公布  
　　9月 三井取水口で揚水式、通水試験開始  
　　10月17日 給水開始

#### パーマーの計画案

- ◆ 給水量?? イギリス21ガロン(95.3?)
  - ↓
    - トイレ用、業務用を削減
    - 浴用を加算
  - 横浜水道20ガロン(90.8?)
- ◆ 給水対象人口?? 市街地の居住人口のほか将来の増加を見込み、7万人
- ◆ 施設?? 野毛山に浄水場、鋳鉄製の導水管で浄水場まで自然流下、浄水場からさらに自然流下で市内配水
- ◆ 給水?? 主として共用栓
- ◆ 工費?? 多摩川案104万円、相模川案122万円
- ◆ 神奈川県の採用?? 多摩川は水利調整に難、高くなつてが将来的な拡張に対処できる相模川案

神奈川県は、パーマー計画案のうち多摩川は水利調整に難があるとし、工事費が高くつくが将来的に拡張が可能な相模川案を採用することとした。起業者としては、民間人に申し出る者もなく、一方で外国人からの申し出はあったが、生活用水を外国人に握られても困るということから、県が実施することとなった。また、資金は国庫から借り入れる方針を立て、明治16年7月4日、内務卿山田顕義あてに横浜水道起業認可の稟議書を提出した。内務省では、土木局雇工師のオランダ人ムルデルを派遣して実地調査を行うとともに、翌年4月には土木局員の石黒五十二(のちの土木監督所長、土木学会会長)を派遣して路線の実地測量を行った後、11月27日付で、内務卿松方正義名で認可指令を交付した。ただし、工事総額は100万円とし、明治18年度から21年度までの4年間に25万円ずつ分割払いされることとなった。

認可指令書には、先にムルデルの実施した調査の意見書が参考として添付されていて、西欧諸都市の例から1人1日給水量を100lとすること、工事施工には熟練した者を招いて行わせることなどの意見が示されていた。神奈川県は、認可指令を受け、まず、鉄管の製作について赤羽工作局等と交渉したが、国内産はかえって割高になるため、結局、ムルデルの意見のとおり英國製を用いることにした。また、工事監督には英國に帰国していたパーマーを顧問技師として招請することとし、在英公使を通じて承諾を取り付けた。パーマーは、明治18年4月再来日したが、その時、工事施工のため、設計監督助手ターナー、取入所機関監督オーキンショー、職工長バグボルト、鉛工ウォルシューの4人の技師を伴ってきた。

来日したパーマーは、早速、ムルデルの意見書に対する意見を県令宛に提出した。4月22日付意見書において、彼は、近年継手の改良によって漏水が減少しており給水量を100lもとののは過大であること、日本で行う水道工事は、西洋各国の経験を生かして、経済的な施工を行うべきであることを述べている。また、工費が削減されたことに伴い、1人1日当たりの使用水量を18ガロン(81.7l)に縮小すること、取入口に小型蒸気機関を設けポンプ取水とし、導水延長の短縮と口径変更を行うなどの設計変更を県に申請し、了承を得た。

工事は明治18年4月に起工され、20年9月に竣工した。精算工事費は107万円であった。9月21日に取入所でポンプの運転を開始するとともに、10月16日までの間、慎重な通水試験を行い、10月17日に吉田橋での消火栓からの放水セレモニーで給水開始の運びとなった。また、これに伴い、明治21年4月旧木樋水道の財産処分を行って、これを廃止した。このようにして、わが国初の近代水道は横浜で給水が開始された。横浜が近代水道第1号となったのは、首都に近い開港場で、外交面、経済面で重要なこと、水に窮迫していたことが背景にあるが、神奈川県や政府関係者の熱意がその原動力であった。

三井村の取入所から野毛山の浄水場に至る43.91kmの導水線路は、工事上の便宜と完成後の管理上のことも考慮し、導水勾配と地形上から三つの区間に分けられた。第1区は延長11.640kmで、相模川左岸の断崖絶壁の中腹に線路を築造、工事は最も困難を極め、工事完成後も路線に事故の予想される危険区間であった。第1区には24の隧道(総延長1.88km)があり、うち鉄管を布設したものは5か所で、残り19か所は水路隧道であった。このほか木橋も24か所に及んでおり、第1区と第2区の導水管は口径18インチ(460mm)であった。第2区は延長17.926kmで、相模川が山間部よ

り転じて平原に流入するところから路線は川を離れておおむね平坦な相模原の広野にできるだけ直線の路線を求めた区間である。第2区と第3区の接合点は上川井の亀甲山にあり、ここに長径14フィート(4.5m)、短径9フィート(2.7m)の橢円形の接合井を設け、流入側は18インチの鉄管に接続し、流出側は導水管口径15インチ半(390mm)に接続された。第3区は延長134.344kmで、川井接合井から野毛山に至る区間で、丘陵の起伏が散在し、その間帷子川が延々屈曲して、水田の灌漑をなすという形で、路線も高低屈曲し、路盤も悪く、施行困難で苦心を要した区間であった。

創設工事における浄水施設は、標高 50.5 m の野毛山に置かれ、ここから自然流下で市内に配水された。

創設工事におけるその他の施設等としては、次のようなものある。\*専用電話線で明治18年10月着工、総延長46.8km、工事完成後5か所に電話機を設置した。\*工事の資材運搬等にドコビール軽便鉄道を導入した。軌道はイギリスから輸入された。\*配水管の主要分岐部36か所にデーコン式漏水計量器を設置した。\*水源保全対策として、明治20年11月30日に「横濱新水道取締禁令」が神奈川県令沖守固によって発令された。

横浜における水道布設前後の伝染病発生状況をみると、明治20年以降大きな発生がない。赤痢、コレラ、腸チフス、その他の水系伝染病の合計で、人口千人当たりの患者数は、明治10年が12.45人、12年が11.60人、15年が21.63人、19年が35.35人であるのに対し、21年が0.70人、22年が0.64人、23年が5.86人、24年が2.20人と急激に減少している。

明治22年4月、横浜市が誕生し、翌22年2月に「水道条例」が公布され、水道の経営については市町村公営の原則が明らかに定められた。これに伴い神奈川県によって建設された創設の横浜水道施設は横浜市に引き継がれることになった。当時の浅田県知事から引継ぎの命令書が市に出されたのは、新年度直前の明治23年3月28日で、同命令書によれば、翌4月1日から水道施設とこれに伴う負債とをすべて横浜市に引き継ぐと明記されている。その引継ぎの条件として、\*建設工費の年賦償還、\*将来山手外国人居留地その他市内の未普及地区への水道拡張、\*既に定めてある給水規則等の継続の3条件

## 創設工事施設概要(淨水施設)

浄水場	位置及び面積	久良岐郡太田村～戸部村 にわたる2.3ヘクタール
	標高	50.5m
	弁闇井(着水井)	内径 3.66m 深さ 2.59m
	濾水池(濾過池)	3池 うち1池は予備池
	1池面積	780m <sup>2</sup>
	濾過速度	1日3.7メートル(12f)
	濾過能力	2,860?
貯水池	濾過砂	は現在の横須賀市久里浜付近のもの
	貯水量	1池 14,320?

が付されていた。

横浜市が神奈川県から水道の経営を引き継いだ時点での、第一の問題は、政府に負っている貸付金の償還問題であった。当時料金収入は、安い共用栓が伸びる一方で、明治24年の全戸数1万7,783戸のうち1万5,173戸と88%を占め、予定収入を下回って元利償還は困難な見通しになっていた。横浜市会では、つぎのような趣旨のもと明治24年10月に工費償還延期の請願を可決し政府に提出した。＊神奈川県から水道を引き継いでからわずか1年余りの現在、給水人口は計画を超え施設の拡張が緊急の課題となっているため、経費のかさむ蒸気機関による取水設備を転換して自然流下方式に改め、隧道の漏水防止や貯水池の増設などの拡張工事を行って水量を増加させることが必要である。＊このような状況から創設工事費110余万円は無利子とし、明治29年度まで据え置き、翌年から毎年経費を控除した残金で償還させてほしい、という趣旨であった。請願書の提出時に、計画書を付した拡張工事の申請も同時に行つた。償還延期に対する指令はなかなか出されず、10か月たった明治25年8月に「願の趣聞届け難し」という指令が出され、ついに借用書の提出を催促されてしまった。借用書の日付を明治23年3月31日に遅って提出せざるを得なくなり、加えて元金の償還期も迫ったので、その取扱いを更に大蔵大臣に対して伺いを立てた。大蔵省の指令は、①設計当時の年賦方法書は、予算額として消滅しない。②設計当時の予算書中元資金据え置き期間中は收支差引残余金を利息として上納し、元資償却の期に至るも実際水量の予算に達せざるか、又はこの貸付金を以て建設したる水道に属する経費増加するかにしてその残余金償却予算額に満たざる場合には、まず元資を返納し、なお残余ある時はこれを利子として上納方更に伺い出する義と心得るべし、というものであった。

## 明治・大正時代の水道施設

### 人口急増に伴う拡張計画

償還と合わせ、今一つの問題点は、既に水道事業は需給のバランスを失っていることであった。

明治16年(1883)、パーマーは設計に当たってその後の人口増加を見込み7万人の給水人口を予定し、1日126万ガロン(5,720m<sup>3</sup>)を給水量と予定していたが、神奈川県から水道事業を引き継いだ明治23年には、既に市の総人口は12万人を超え、給水人口も8万人に達していた。このため、水源地からの送水量も150万ガロン(6,800m<sup>3</sup>)を超える、翌明治24年には1日の最大配水量が220万7,393ガロン(1万24m<sup>3</sup>)と施設能力をはるかに超える給水を行い、2日分以上の水量を蓄えるということで建設された貯水池も夏期にはしばしば底をつくような状況であった。そのため、市は償還期限の請願に併せて、計画書を付した拡張工事の申請を同時に行つた。

### 第1回拡張工事の申請

1. 人口増加と隧道漏水による水量不足
2. 用水取入口の変更とポンプ使用の全廃
3. 隧道中の漏水防止工事の施工
4. 都岡村に貯水池の新設
5. 野毛山に濾過池の増設
6. 工費総計16万6千円余は予算残金と一時借入で充当

拡張計画は、ポンプを増設する案と自然流下の方式を求めて上流の高所から取水する2案があった。ポンプ増設の案は、急増する人口の状況から見ても一時しのぎであるのみならず、施設費に相当巨額の費用を要し、また機械故障の不安も伴うので、第2案を採択した。そこで、水源を求めて上流に遡って調査した結果、相模川の支流である道志川の弁天淵を最適と認め、ここに取入口を求め、同所から鉄管によって相模川に導水し、鉄橋を架け渡して同川を渡り、従来の路線に接続させることになり、導水路線については、漏水を防止するため従来の隧道中鉄管を布設していない箇所に鉄管を通じ、更に路線中都筑郡都岡村に貯水池を設け、また、浄水施設としては野毛山に従来と同様の濾過池を1池増設する拡張・改良計画を決定し、政府に対し至急着工許可方の出願を行った。

この拡張工事申請に対して、内務省から土木監督技師石黒五十二と工科大学教授バルトンが調査のため派遣された。石黒技師及びバルトン教授の意見書の趣旨は右のとおりである。

内務省は、石黒技師及びバルトン教授の復命書を添えて、設計変更を横浜市に要請してきた。市は種々審議を重ねたが、石黒・バルトン両氏の計画に従うときはその工事費として72万円余を要し、出願の計画工事費16万6千余円に対し4倍以上の額に達することから、財政上到底その負担に耐え難い物があったので、両氏の意見を勘案して前回出願の計画を多少変更することになり、大要次のような計画とし明治25年8月18日、再び申請書を提出することになった。設計変更した計画は、①取入口の位置は、両氏の意見どおり小瀬戸に変更する。②取入口から従来の導水管との連絡点までの新路線には両氏の意見に基づき21インチ管を布設し、この連絡点から川井接合井までの鉄管取り替えと川井接合井から野毛山までの副管工事は次の機会に譲る。

しかし、この変更計画に対しても、政府は同年9月26日付で、この設計は隧道漏水の防止はなし得るとしても、下流側導水管はそのままであるため、導水能力は1日187万2千ガロン(8,500m<sup>3</sup>)であり、需要量の激増に対処する適當な計画ではないから、再度調査すべきであるという趣旨の指令があった。市は、水道の拡張と改良に関する再度の出願も検討し直さなければならなくなつたのであるが、その間にも配水量は逐次増加し、いよいよ水量の不足が著しくなり、拡張工事を待つてはいられなくなった。そこで、明治26年7月、市はこの拡張工事のうち、直ちに施行しうる応急的な改良工事として、まず隧道内の漏水防止工事を緊急実施し、むなしく逸している漏水を防止して有効に野毛山に送り、差し迫った給水難をしのぐことにした。これには、工事費として3万5千余円を要するとされたが、当時借入金償還未済のため、国から財政上の特別監督を受けていて、収支の剩余金はまず元利支払優先の義務を負っていた関係上、この残額を工事費の財源に流用充当方について大蔵省に申請し、その許可を得なければならなかつた。工事申請は8月7日許可となり27年2月17日着工され12月22日落成し

## 申請出願に対する石黒・バルトンの調査

- ①給水量緊急増加の要、論をまたない
- ②用水取入口の変更は弁天淵から657m上流の小瀬戸が最適
- ③隧道内漏水防止のため敷設する鉄管は将来の水量増を見込み、21インチ(530mm)管としたい
- ④都岡村に貯水池を新設するの要なき
- ⑤野毛山の濾過池1池増設は既に予定のことと困難はない

た。工事内容は、導水するための鉄管をすべて一本に連絡して漏水を防止しようとするもので、新たに隧道を掘削し18インチ鉄管を布設したもの2か所で217.0m、旧隧道を廃して新路線を掘削し18インチ管を布設したもの7か所で332.7m、旧隧道内に18インチ管を布設したもの6か所で792.7mであった。工事完成後の野毛山着水量は5.9%増の日量177万8,773ガロン(8,077m<sup>3</sup>)となり、増加着水量9万9,193ガロン(450m<sup>3</sup>)は1人1日使用水量18ガロン(82l)として、5,510人分に相当した。

#### 取入所変更工事(明治28年～30年)

ボイラー用石炭の入手困難の状況も考え、再三にわたる拡張改良計画の中に、用水取入所の位置変更工事が取り上げられていたのであるが、せっかく補助申請までこぎつけながら、日清戦争の影響を受け、新規事業は一切認められないという方針により不可能ということになってしまった。

このような事情にはかかわりなく人口の増加はとどまるところを知らず、加えて、日清戦争の影響を受けて工場や鉄道等の水道需要は急激に増加し、水量の不足はいよいよ急を告げてきた。そこで緊急対策として、とりあえず拡張計画中の取入所の変更工事だけを施行し一面的には送水量を増加して需要の急に応ずるとともに、他面、不安定なポンプ揚水方法を廃止することで多額の運転費を節減することになった。

明治27年10月22日、取入所変更工事施行に関して、内務、大蔵両大臣に申請し、翌28年3月19日、更にその訂正の願い出を再提出したが、4月28日付で工事施行について内務大臣の許可を得た。その計画大要は①～⑥のとおりである。④の工事内容は、用水取入所から道志川に沿い山腹を開削して路線を築造し、口径18インチ鉄管を布設して青山村柿浜及び中野村三ヶ木から相模川筋葛の巣に導き、ここで鉄橋を架して相模川を渡らせ、既設第3隧道下口において口径18インチ既設導水管に接続する。

工事費については、明治28年3月19日付をもって大蔵大臣に既設水道工事費元利金の年賦上納の延期と市債発行の許可を出願し、年賦の延期は同年3月22日、市債の発行については同年4月29日の許可を得た。明治28年8月一切の準備が整うのを待って、水源を道志川に求めて青山に取入口を変更する工事に着手し、2年有余後の明治30年11月15日完成した。本工事進行中、日清戦争後の物価高騰が著しく予定工事費が不足をきたしたので、明治29年11月に大蔵省の許可を得て、3万800円の追加起債を行った。そのため最終的な工事費は13万2,554円余と大幅に増加してしまった。なお、この工事が完成したのは11月であったが、8月には鉄管の連絡が完了したので、同月11日から通水し、大きな効果を上げた。

#### 取入所変更工事(明治28年～30年)

1. 三井村の取入口を青山村の小瀬戸に移転し、揚水ポンプを廃止
2. 用水取入口付近の河中には、その上下に突堤及び導水堤を設ける
3. 用水取入所にはレンガ、コンクリート及び粘土をもって沈澱池を設ける
4. 用水取入所から口径18インチ鉄管を布設し、鉄橋を架して相模川を渡らせ既設導水管に接続する
5. 工事期間は2カ年
6. 工事予算額は9万9,440円30銭7厘

## 第1回拡張工事

明治26年に行った第1回拡張工事の第3次申請に対して国庫補助が認められたが、不幸にして帝国議会の解散や日清戦争の影響を受けて一切が水泡に帰し、給水事情が深刻の度を加えていったため、その計画の一部を元利償還に充てるべき資金と市債に充てて、当面をしのいできた。この最終案を見直した新しい第1回拡張工事計画案が、明治29年5月の市参事会に提案された。同6月の市会で議決され、内務・大蔵両省へ工事の認可と国庫補助の申請を行ったが、両省で検討の結果、神奈川県から引き継いだ時点では懸案となっていた山手居留地にも水道を布設するよう指導があり、これを取り入れて改めて翌明治30年1月の市会で議決を経、再申請した。

計画水量は横浜市の人口30万人を対象とし1人1日使用水量18ガロン(820)を供給するものとした。導水工事は既設路線に新たに1条(22インチ管32.9km及び20インチ管14.3km)を布設し、複管とする。野毛山に濾過池を既設の3池に並べほぼ同規模の1池を増設する。さらに野毛山には既設貯水池の西北側に約9,000m<sup>3</sup>の貯水池を増設し、合計貯水量23,400m<sup>3</sup>とする。

第1回拡張工事の申請に併せて、他都市の水道に対しては公共衛生事業として工事の3分の1相当額の国庫補助が行われている実例から、市としても前回に引き続き、創設水道工事費の未償還額、漏水防止・取入所変更工事費及び第1回拡張工事費の合計額を総工事費とみなし、その3分の1相当額102万余円を国庫補助申請額とし、差し引き残額205万余円は市公債を募集する。この補助金を創設工事の借入金返済に充て、一括償還して精算する、というものであった。また、新たに発行する市公債205万余円の償還計画については、創設以来の料金収入実績からは不可能であるため、およそ30%の料金改定を実施する予定であった。

国庫補助金の申請理由書に挙げられている申請理由の概略は次のとおりである。他都市との比較で、横浜市の建設単価、水道料金はともに一番高くなっている。水源が他都市の創設水道に比して著しく遠距離にあること、かつ創設当時は国産品がなく高い輸入品に頼らざるを得なかつたこと、更には他都市のように国庫補助がまだなかつたこと、そして技術者も外国から招かざるを得なかつたことなどによつて建設費がかさみ、結局、料金も高額にならざるを得なかつたのである。

しかし、先人達があえてこのような不利な条件を超えて延々48kmも離れた相模川水源に挑戦したことが実って、相模川利水を中心とした水道システムが今日あることを考えると、今更ながらにその先見性と決断力に敬服するものがある。

## ようやく実った第1回拡張工事

- ◆ 計画水量 ??? 1日540万ガロン  
(2万4,520?)
- ◆ 給水区域 ??? 横浜全市(新たに山手外国人居留地を加える)
- ◆ 水源工事 ??? 既設青山の取入所を拡張する
- ◆ 導水工事 ??? 既設路線に新たに1条布設し、複管とする
- ◆ 净水工事 ??? 野毛山に既設と並べ1池増設
- ◆ 貯水池工事 ?? 野毛山に1池増設
- ◆ 山手対策 ??? 川井浄水場の新設

この申請は幸に政府の容認するところとなり、明治30年度追加予算として翌明治31年(1898)3月4日の第10帝国議会に上程された。4月23日、内務大臣及び大蔵大臣より許可がされた。この補助金を得て、市は約束どおり創設水道の未償還金を整理返却することができた。この補助金が当時の水道事業財政にとって起死回生的なものとなり、水道財政の基礎がこの折に樹立されたといつても過言ではない。市債の発行は第1回拡張工事の財源になるが、当初は順調に募集額に達していたが、北清事変の影響を受け、金利高騰が続き次第に募集予定額を割り込み、工事費支払いは一時借入金で急場をしのいた。

第1回拡張工事着工に先立って、明治31年4月から創設水道開始以来初めての料金値上げを行ったが、平均値上げ率は4.4%を超えるものとなった。もともと割高であった居留地外国人用は3.8%、問題となっていた共用栓は6.0%近い値上げとし、できるだけ専用栓へ切り替えるように措置を取った。

第1回拡張工事は、明治31年6月11日着工、同34年12月25日完成、総工事費190万1,689円30銭47厘であった。

## 第2回拡張工事

明治34年に第1回拡張工事が完成し、当面、開港以来40年に及ぶ水飢饉からようやく解放され、また、新たに山手地区をも給水区域に含めた配水管の増強も行って一息継いだのも束の間で、拡張工事完成の年には新たに橘樹郡及び久良岐郡のそれぞれ一部(人口において旧市部の2分の1、面積において旧市域の3.6倍)が合併された。これら新市域に対する給水体制はなく、旧市域に対してさえまだ十分な配管網とは言い難い状態であり、更に、明治38年以降市域の発展に伴う給水人口の増加と1戸当たりの使用水量の増加に加えて、日露戦争を契機とした工業用水の需要が急増したことから、早くも水不足が見込まれる状況となってきた。特に人口の増加は著しく、ちなみに第1回拡張工事は30万人給水を目標に建設を進めてきたが、その完成の年には、既に人口は29万9,000人に達していたのである。そこで、従来路線の弱点解消と水源確保を抜本的に図るため、第2回拡張工事の準備に入り、5通りの案が検討された。その中で、青山取入所を拡大し、路線については城山付近を隧道で直線的に通り、併せて上流部の弱点を解消する案を採用することとした。

第2回拡張工事は明治42年(1909)8月16日に水道拡張工事施工認可を受けたが、その際、2か月以内に工事実施設計書を提出するよう条件が付されていた。そのため10月15日に実施設計書を作成し、内務大臣に申請した。その際の実施設計書は、当初申請とほとんど同様のものであったが、懸案の

## 第2回拡張工事の申請

- 1 水源の位置???津久井郡青山(従来どおり)
- 2 水道路線・貯水池・濾水場の位置  
? 水道路線???城山隧道等の新設  
? 清水場???新設浄水場は現路線沿線  
(のちに都筑郡西谷村に決定)  
? 貯水池???川井の既設を廃し、新設浄水場に増設  
? 濾水場???原水混濁時に備え、濾速を下げる
- 3 給水人口と取水量  
目標給水人口??? 80万人  
1人1日使用水量??? 25ガロン(114?)  
取水量??? 每秒37立方尺(1.03?)
- 4 導水管工事と配水管工事  
導水管??? 水源から新設浄水場まで36.79km  
配水管??? 海抜60フィート(18.3m)で高区・低区に分ける

浄水場位置は現在の西谷浄水場に決定されていた。その後、取入口の位置について、再調査の結果、当初の設計位置から約1kmさかのぼった青山字鮑子平を選定し、ここから延長836mの隧道を掘り、水路によって旧取入口付近まで導水する方が安全で、かつ将来にわたって得策であることから、実施設計の一部変更を明治43年3月1日に提出し、同年4月15日に認可となった。

水源の位置は、鮑子平に変更し、道志川右岸に突出した岩石を開削して幅24尺(7.27m)の取入口を設け、制水門を取り付け、ここから高さ・幅7尺(2.12m)、延長2,760尺(836.3m)の水路隧道によって既設取入所付近に設ける排砂池に送り、更に新設する沈澱池に送水することになった。排砂池には漏斗型底部を2か所設け、水門を設置して粗砂を排出し、また側壁の一部を低下させ、水位の上昇時には余水を放流するようにした。新取水口における道志川の低水位は、標高148.56mで既設取水所より7.7m高くなる。沈澱池は既設のものを廃し、新たに長さ69.7m、幅5.3m、有効水深3.6m、その有効容量1万3,106m<sup>3</sup>すなわち計画配水量に対し3時間半分の水量を有する沈澱池4池を新設し、少なくとも8時間以上沈澱させる計画とした。

西谷浄水場の敷地総面積は、3万3,265.2坪(約11ha)で、施工基面高さは73.185mである。この構内に濾過池8池、配水池2池、着水井等付帯施設を建設した。濾過池は1日12尺(3.64m)の濾過速度、面積2,880m<sup>2</sup>のもの8池を建設、うち1池は予備とし、日量7万3,360m<sup>3</sup>の水量を濾過する。配水池は鉄筋コンクリート造りで2池(1池貯水量8,350m<sup>3</sup>)築造された。

第2回拡張工事に関する事柄は、右のようなものがあげられる。青山沈澱池護岸事件は、沈澱池防護のため護岸工事が施工されると、道志川の水勢が変化し、下流に大きな影響を及ぼすという懸念から、住民による非難や陳情がしばしば繰り返され、串川村長からの善処方要望を受け入れ、村有地等を買収することになった。中野村・太井村用水枯渇事件は、城山隧道工事が着工されると、井戸水の枯渇が生じ、村民の苦情が高まり不穏な情勢になった。これらに対して調査の結果、枯渇の原因が工事に起因する部分もあり、県知事の調停で簡易水道の建設や湧水引水工事費を負担した。導水管撤去工事は、川井・西谷間で口径38インチ管が新設されたため、創設施設の15.5インチ管及び第1回拡張工事の20インチ管が不要となり、浄水送水管に転用したり、撤去して売却したりした。売却先には、横須賀市、仙台市、函館市等があった。

道志水源林の買収もこの間のものである。道志村は、もと幕府直轄地となっていた。明治8年の地租改正時に同村の山林は官有林に編入されて山梨県の管理になったが、明治22年には帝室御料林に編入された。さらに、明治40年及び44年に山梨県を襲った大水害に対して、宮内省から山梨県に28万町歩に及ぶ御料林が下賜され、この道志村の御料林もその一部として恩賜県有林となった。この間入会慣行に基づく伐採が認められていたが、もともと道志村は峡谷状の地形で田地面積が少なく大部分が山

## 第2回拡張工事と関連する事柄

- ◆ 第2回拡張工事に起因した事件
  - ? 青山沈澱池護岸事件
  - ? 中野村・太井村用水枯渇事件
- ◆ 第2回拡張工事に関連した工事
  - ? 導水管撤去工事
  - ? 西谷浄水場濾過池と野毛山濾過池及び配水池の修理
- ◆ 道志川水源
  - ? 道志水源林の買収
  - ? 道志水源林の経営
  - ? 道志村との交流
  - ? 道志川私営発電計画
  - ? 沈澱薬品の使用開始
  - ? 水源神社の建立

林であったため、乱伐気味となって山林荒廃が進んでいた。横浜市では、第2回拡張工事の完成によって、道志川の取水量が増加し、道志川水源の重要度が高なってきたため、山林保全対策として道志川の恩賜県有林を買収して管理することが検討された。大正4年(1915)7月、この買収案を大正天皇の御大典記念事業の一つとして行うことになり、横浜市庁が神奈川県知事を訪れ、道志村内の山梨県恩賜林2,800余町歩を横浜市水道水源林として譲渡を受けたい旨申し入れた。山梨県知事も横浜の国際的環境と事業の公共性、更には水源に対する懇意に理解を示し、その後協議を進め内諾を得られたので、大正4年10月12日付で恩賜県有林譲渡願を提出した。翌、5年5月30日付で山梨県から承諾の指令がなされ、6月には引き渡しを受け同市水源林の経営が開始されることになった。買収面積2,804町1段15歩(152,780.93ha)、買収価格は131,414円96銭8厘、大正5年から8年までの4年賦払いであった。

#### 関東大震災前後

関東大震災は、大正12年(1923)9月1日午前11時58分、神奈川県相模湾北西沖80kmを震源として発生したマグニチュード7.9大正関東地震による地震災害である。神奈川県を中心に千葉県・茨城県から静岡県東部までの内陸と沿岸に甚大な被害をもたらし、日本災害史上最大級の被害を与えた。

この地震では、190万人が被災、10万5千人余が死亡あるいは行方不明になったとされる。横浜市内の被害としては、市内280か所から火災が発生し、多くの住宅が全焼し、潰れたものを含めると震災前に99,839戸あった住宅が4,957戸しか残らなかつたとされる。

震災前の人口は448,472人であったが、死者21,384人、行方不明者1,951人、重傷者3,120人、軽傷者7,094人と記録されており、東京府の死者・行方不明者70,384人に比較すると少ない。これは地震による建物倒壊などの圧死があるものの、強風を伴った火災による死傷者が東京では多くを占めたものと思われる。津波の発生による被害は太平洋沿岸の相模湾沿岸部と房総半島沿岸部で発生し、高さ10m以上の津波が記録された。山崩れや崖崩れ、それに伴う土石流による家屋の流失・埋没の被害は神奈川県の山間部から西部下流域にかけて発生した。

横浜水道の被害は、

- ① 庁舎 花咲町6丁目の水道瓦斯局本庁舎が大正11年に新築したばかりであったので倒壊は免れたが、猛火が迫り午後4時頃焼け落ちた。高島町工場と野毛山派出所は全焼、本牧・千歳橋両出張所は全壊、神奈川・湊橋両出張所は類焼であった。
- ② 道志水源林の被害 地震による直接の被害もさることながら、9月13日～15日の降雨量263mmの豪雨による崩壊・地すべりにより、被害面積は1,335haに及んだ。
- ③ 青山水源施設の被害 取入口の構造物被害はなかった。上部の土砂・岩石3,000m<sup>3</sup>が崩壊し、取入口を埋め尽くした。青山隧道は無傷であり、沈澱池・排砂池は被害がなかった。
- ④ 隧道等の被害 城山・太井・川尻の各隧道は拱頂点及び拱と側壁の接合個所にひび割れがあった程度で損傷は軽微であった。水管橋に被害はなく、接合井では川井の明治20年創設の煉瓦造りのも

のが無数のひび割れで修繕不能、大正3年ものは被害がなかった。

#### ⑤ 净水場の被害

川井浄水場 濾過池は側壁と基礎が接合面で離れ、移動した結果、両端隅に幅60～80mmの垂直ひび割れを生じた。池底にも集水溝と底部コンクリート面との接合線に長いひび割れを生じた。配水池は周囲壁と底部との境界に沿って水平割れを生じ、煉瓦造りの導流壁は圧力を受け破壊された。

西谷浄水場 濾過池は垂直のひび割れが45か所で大半が池底継ぎ手の真上の側壁に生じていたが、濾過能力の維持を行った。配水池は全体としてひび割れを生じたが運用はできた。

野毛山浄水場 野毛山浄水場の被害は最も大きく、もはや修理の余地がないまでに破壊された。

#### ⑥ 水道管の被害

鋼管 導水管に使用した鋼管は布設後の経過年月が短かったことと、管の性質から被害は皆無であった。

鋳鉄管(導水管) 総延長7万8,650mのうち、破裂8か所、接合部の脱出したもの44か所で、その他接合部の緩みは相当数に及んだ。

鋳鉄管(配水管) 配水管は鉄管接合部が殆んど全部緩んでいたので、掘ってそのままコーティングを施し、破損個所があれば急ぎ修理を行った。大口径では特に橋際の曲管部に継ぎ手離脱が多くあった。ひび割れは大口径管において長さ方向に縦断的に、小口径管においては横断的にあり、管理設の浅いものほど被害が多くあった。

災害復旧工事は、翌大正13年5月26日、総工事費300万円、大正13年度から15年度までの3か年継続費が設定された予算が市会の議決を受けた。復興計画の概要はおよそ次のようなものであった。

- ① 取水設備については既に修理済みであるので手をつけない。
- ② 導水管については応急修理工事を施行して通水には支障なかったが、震災以来鉄管接合部に緩みをきたし、しばしば漏水したので全線にわたって締め直す。
- ③ 浄水工事は壊滅した野毛山の浄水施設の代替として西谷浄水場に1日能力12万石(2万1,648m<sup>3</sup>)の濾過池と貯水量9万石(1万6,236m<sup>3</sup>)の配水池を築造し、野毛山には貯水量6万石(1万8,240m<sup>3</sup>)の配水池のみを築造する。
- ④ また蒔田・大岡・井土ヶ谷・弘明寺・堀之内・岡村・磯子の方面等の地域は配水幹線の布設が遅れていたので、この方面的都市計画道路網に沿って配管を計画するとともに、各配水本管間の連絡を図り、さらに各河川横断箇所は一般の橋とは別個に独立した水管橋を架設し、その安全性を図る。

当初の設計はほぼ震災前の施設の復元を目指したものであったが、大正14年10月に設計変更が

なされ、震災後原水の混濁が激しくなった点を考慮し、西谷浄水場にはじめて急速濾過池を新設することになり、配水池も1池の計画を2池に変更した。また、野毛山の災害に鑑み、同構内に新設する配水池は耐震的な円形構造を採用するなど、新しい企画を取り入れた。

しかし、この設計変更の後においても、隨時必要に応じて個々の計画についての変更や経費の剩余を利用した追加工事がしばしば企てられた。当時、水道経営の面においても全計量制の実施や、市域拡張に伴う鶴見拡張布設工事等が絡み合って繁忙を極めたので、鋭意復興事業の進展を図ったにもかかわらず、予期通りには進行しなかった。すなわち、継続年期および支出方法は3次にわたって延長され、昭和5年(1930)3月31日、6か年の歳月を経てようやく完成を遂げ、これに要した復興事業費は296万9,910円68銭となった。

平成 23 年 2 月 26 日

## 第 9 回会員集会講演① 「水道用バルブの歴史的な話」 講演記録

沼田真人・元前澤工業(株)バルブ統括部技術部長に第 9 回会員集会で「水道用バルブの歴史的な話」と題してご講演を頂きました。

本編は、2006 年に水道用バルブ工業会から出版された「水道用バルブの歴史的な話」を再掲したもので

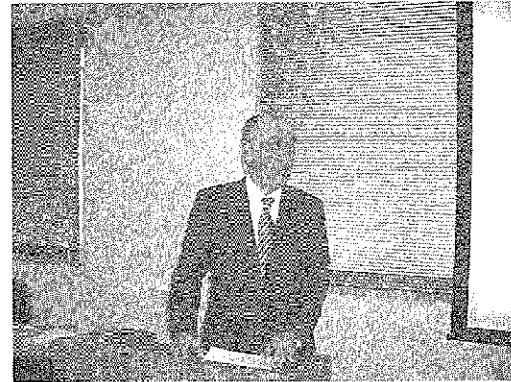
### はじめに

この小説は、水團連発行の季刊誌 N o. 8 3 ~ N o. 8 6 に投稿したものに基に、少し手を入れた内容になっている。

今にしても、季刊誌の原稿を依頼されたときに“いいですよ”と二つ返事で受けたことを思い出す。後日、水團連の担当者から参考として渡された諸先輩方の文章を読んでみて自分のそそかしさにあきれた。だいたいが、技術屋の書き物は面白くないと言うのが相場である。それを、地味な水道用バルブの話を書くというのであるから、技術屋×水道用バルブ = (面白くない)<sup>2</sup> という結果は明らかであろう。“水道用バルブの歴史的な話か、何だろう”と読まれる方に申し訳ない。とは云っても引き受けた以上、バルブ一筋でお世話になった身としては、読まれる方に少しでも水道用バルブに興味を持って頂けるような内容にしたい。このような思いから、従来の「バルブの変遷」だけでなく筆者の想像や歴史から逸脱したことも書いている。それゆえ、歴史に事実以外は不要と考えられている方は、この部分を読み飛ばすなり、読み終わり次第忘れて頂きたい。

なお、本書を作成するに当たり、参考とした文献は一括して巻末にまとめた。

最後になりましたが、本書の発行にあたり、特に、(株) 興和工業所 上野様の著作を参考にさせて頂きましたこと、そして、バルブについての歴史情報を頂いた (株) クボタ 安栗バルブ技術部長、(株) 栗本鐵工所 笠波バルブ開発部長、前澤工業(株) 田原営業技術部長に対し、厚く御礼申し上げます。



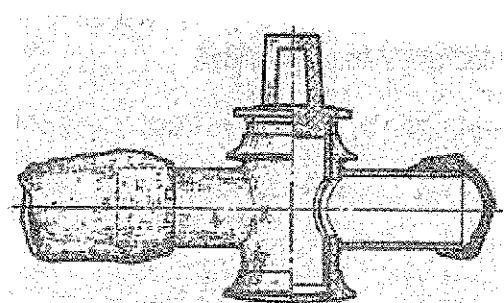
### I 章 古代から近代へ

#### I. 1 バルブの起源

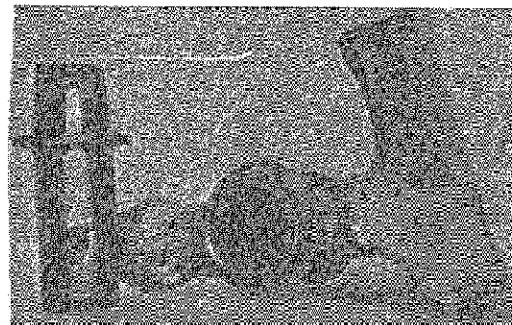
日本の水道用規格弁は、1931年に仕切弁と排気弁（空気弁）が最初に制定されている。しかし、バルブの歴史からみるとごく最近のものである。

このため、本稿は、水道用バルブの歴史に入る前に、バルブがいつ頃からどのような機種で作られていたかと言うところから、つまりバルブの起源に遡ってみる。

バルブ・コックの製造起源は非常に古く、最も古い出土品である紀元前 3000 年ミノア文化時代の木製コックから推定して、今から 5000 年以前と考えられている。その後に水道鉛管なども発掘（紀元前 300 年頃の物）され、さらには紀元前 25 年頃の青銅製コックが発見されており、カリグラ帝（紀元 40 年頃）時代の軍船用コック（写真 1 及び図 1 構造図）やポンペイ遺跡の水道コックなどの青銅製品も発見されている。これらの青銅製コックは、完全に水を止めることができないものの、それが機構的に現代のものと同じであったことは非常に興味深い。軍船用コックは、約 2000 年近く水中に没していたにかかわらず写真 1 から分かるように、本体内部や栓表面はガラスのように滑らかに磨き上げられていたので、今日でもなお極めて良い保存状態にある。



【写真1 カリグラ帝時代の軍船用コック】



【図1 軍船用コックの構造】

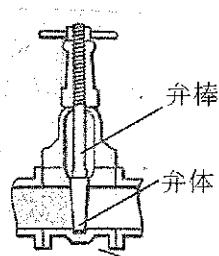
一説には、金属溶解のための送風用フイゴに使用された逆止弁の方がより古いようにみられるが、フイゴの考察は紀元前1490年頃といわれているところからみて、コックの製造起源は、より古い歴史をもつものと考えられる。いずれにしても、紀元前4000年に都市国家が始まると、コックは科学交流に伴い各地で製造されるようになったと言うことができる。

なおコックは、紀元4世紀頃、金属労働者にしても鍛工品の細工に装飾を凝らすことが多く、コックもその端を鶏の頭ととさかの形に作り、くちばしから水が出るようにしたために「雄鶏」という意味の「コック」という名称が付けられたのである。

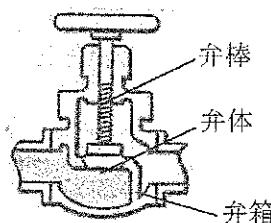
## I. 2 バルブの発展

ところで、現在のバルブに直接結びつくものはどうかと言うと、蒸気機関が発明されて19世紀中頃に蒸気を調整する金属バルブが、19世紀後半になると水道の発展により水道用のバルブが製作され始めたと考えられている。

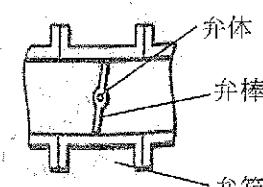
そうだとすれば、コックや逆止弁が製造されて以来、少なくとも3000年間以上は、それ以外のバルブは無かつたことになる。当然、【図2】、【図3】、【図4】に有るような、仕切弁、玉形弁、バタフライ弁の基本的な構造も考えられていなかつたのであろう。



【図2 仕切弁】



【図3 玉形弁】



【図4 バタフライ弁】

しかし、人類史上の発展から考えると小型のコックや逆止弁だけで済むはずがなく、19世紀以前に仕切弁や玉形弁の原型があったのではないかと思い、色々なバルブの専門書を調査したが私の満足する回答は得られなかつた。

水道の歴史を調べてみても同じである。

前述のポンペイの水道以外にもヘレニズム時代（紀元前180年前）には、サイフォンを応用した導水管路が作られ、20気圧に耐える青銅管路を使用していた。管の外径はφ240mmもある。

次のローマ時代では、土木・建築・法則などの実用分野でいちじるしい進歩を示し、大繁栄と共に公衆浴場や噴水も作られて、上水需要も高まつたというのにバルブはコック止まりである。しかも、それは、バルブを動かす駆動機構が当時作られていなかつたことから考え、大きな口径は製造されなかつたに違ひない。

このために見方を変えて、仕切弁や玉形弁の作動には、ボルト・ナットのようなねじ機構の駆動機構が用いられているので、この方面の歴史を調べていけば何かを掴めるのではないかと考えた。

ボルト・ナットは、紀元1～2世紀に古代ギリシャの植民地であるアレクサンドリアのヘロン（數学者）が発明し、世界最初の雌ねじ切り、つまりタップまで発明している。ただし、この時代のボルト・ナットは、木製であったので大きな強度は期待出来ず用途もオリーブの実等を擰る装置に使用していた。

ついでに工作機械を調べてみると、旋盤の原理的なものは木工用であるが、ヨーロッパで発明されたと考えられている。というのは、紀元前8世紀のエトルリアのボウルと、北部バイエルン地方の紀元前6世紀のボウルが見つかっているからだ。その後この技術は地中海世界にゆっくりと広まっていた。エジプトで描かれた最古の旋盤は紀元前3世紀のもので墓の壁の浅浮彫りに残っている。

このように、ボルト・ナットは古代ギリシャで発明され、古くから旋盤も存在していた時代に、現在のようなバルブの原型がそれ以後の長きにわたって何故発明されなかつたのだろうか。調べを進めて行くなかで、16世紀までは機械に使用されている材料は金属が使われることは少なく、ほとんどは木材と皮革であったこと、16世紀中頃になってようやく金属製の頑丈なボルト・ナットが現れ、さまざまな場面で使われるようになったことが分かつてきた。

16世紀中頃以前については、こう推論しても間違いないのではないか。

仕切弁や玉形弁の共通操作部である弁棒のねじは、強度が要求される。木製のねじしか作れない時代では、強度の問題から、コックの様にねじを使わない丈夫なバルブだけしか頭に浮かばなかつたか、または浮かんだにしろ“これではダメだ”とアイデアのスイッチが消されたのであろう。たとえ、レオナルド・ダ・ビンチ（1452～1519）にしても。

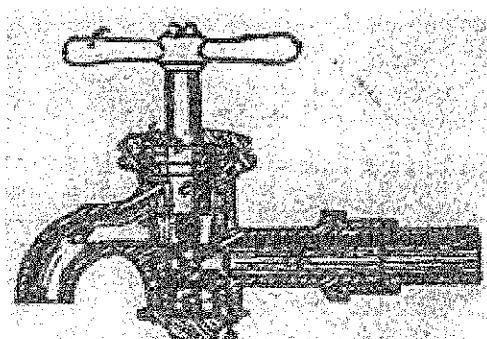
しかし現在のバルブに結びつくものがその後300年間近くも無かつたことも不思議である。

例え、イギリスが世界で最初に工業化を進められた要因は、木材資源の枯渇から引き起された燃料危機で、この危機を克服した技術革新は石炭の利用によるものである。この結果16世紀中～17世紀中の間、イギリスは石炭産業を中心に関連諸産業の発展が刺激され、あたかも18世紀の産業革命に匹敵するほどの著しい生産の拡大をみた。これに伴い技術的に解決を迫られた課題が三つあり、炭坑の排水問題もその一つである。これだけでも、大型のバルブは必要に思うのだが。解らない、先に進もう。

18世紀の半ばになると、蒸気機関の発明によって綿工業が発展し、産業革命を導いた。しかし、忘れてならないのは、蒸気機関を利用した工作機械の出現である。動力源が、それまでの馬や風力・水力から機械に置き換えられ、産業全体も手工業から工場制工業へと大転換したために、工作機械の必要性が高まつた。それによって、1800年にモーズレーの旋盤、1820年にホイットニーのフライス盤、1862年にブラウン・アンド・シャープ製万能フライス盤、1876年にブラウン・アンド・シャープ製万能研削盤、1897年にフェローズの歯車形削り盤等の現代的工作機械が発明されていった。

そして、蒸気機関に使われているバルブも新しいものが登場した。G・H・ピアソン著「弁の設計」から引用すると『蒸気の時代になつても、その初期においてはこれら付属品の資料が非常に乏しいことから判断すると、蒸気用止め弁の設計などは重要視されていなかつたものようである。即ち、弁座その他の部分の漏洩はごく普通のことになつていて相違ない。（中略）。1850年頃になつてやつと資材並びに製造工程に改良が行われた結果、ボイラの設計とは別個に、弁自体の設計を改良することに対して真剣な努力が払われるようになった。この時期には、ボイラの爆発事故が頻発したこととも相まって、その後の蒸気用バルブの向上するきっかけとなつてゐる。』

19世紀中頃、正確には1848年には、ねじを応用した水流及び蒸気用の玉形弁形式のバルブが、イギリスで作られている。このバルブは、【図5】から分かるように現在の水道の蛇口と殆ど同じ形状である。この中で重要な技術は、バルブの操作機構にねじが用いられたことである。これによって、それ以降のバルブは、大型化が可能になってきたのである。



真鍮鋳物師 ペーター・レウェリンとヘモンズがねじ軸を応用した、水流及び蒸気用のバルブの特許を得た。  
※バルブダイジェスト バルブ工業の歩みより収録

【図5 ねじを応用したバルブ】

この時代、つまり、蒸気機関の発明から現代的工作機械の発明された期間について、バルブを照らし合わせると、バルブの発展は、工作機械の発展に少し遅れながら追随していることが分かる。前文にもあるように、確かに漏れの少ない蒸気用のバルブが求められていたのだろう。しかし、水用ではさらに古くから漏れ量の少ない大形のバルブが求められていたはずである。恐れずに述べると、16世紀以前にも当てはまることがあるが、“工作機械が現代的なバルブを生み出した”としてよいのではないか。バルブは締め切ったときの漏れ量によって価値判断され、精度の高い工作機械がない時代は、たとえ玉形弁や仕切弁の発案があったとしてもコックよりも劣るので製品化されなかつたのであろう。19世紀の現代的な作機械の出現によって、漏れの無い「ねじを応用したバルブ」が考え出され、それ以降に現在へつながるバルブが生み出されたと想像する。

バルブの歴史では、このねじを利用したバルブよりも、前述のカリグラ帝時代の軍専用コックが遙かに有名である。古代からの贈り物でロマンを感じられるし、現在のコックと同じ構造なことから当然であるが、ねじ利用のバルブは現在のバルブの基礎を築いた点でもっと評価されて良いと思う。

ところで、仕切弁の歴史で分かっていることは、明治20年（1887年）に横浜市に初めて近代水道を創設したとき、イギリスから輸入したとある。これから考えて、起源は1850～1880年であろう。

もうひとつ書き落とせないことは、水道用、産業用、建設用に広く使われているバタフライ弁である。バタフライ弁の初期はダンパーと呼ばれ、制御が難しくなく漏れが大きな問題とならない場合に使用するのを目指として開発された風量調節用の制御機器である。ねじは不要だし、構造もコック同様に簡単である。これならば、起源は古代ギリシャ、ローマ時代はともかくとして、中世（10～16世紀）には・・・と考えるのは、私だけではないだろう。もしそうだとするならば、流体力学の開祖のダニエル・ベルヌーイ（1700～1782）やレオナルド・オイラー（1707～1783）が研究材料として放っておくことはないし、専門書などには古くからあったとだけしか述べられていない。やはり、近代における産物なのであろうか。私はバタフライ弁のファンなので、起源が不明なのは消化不良である。現在分かっているのは、ダンパーから止水部にゴムを利用したバタフライ弁が1951年に作られて、コンパクトな形状と締め切り時に漏れが無いことからそれ以降はめざましい普及をみたことである。

西洋の状況は以上の通りであるが、東洋はどうなのだろうか。科学技術史から見ると、有名な学者のG・サートンやJ・ニーダムはこう述べている。『中世では東洋と西洋との差異はそう大きくなかつた。（中略）。16世紀（この世紀を含めて）までは東洋と西洋の双方の発達を考慮すべき理由は十分あるが、それ以降は西洋科学が急速に発展し始めたのにひきかえ、東洋文明は行き詰まりか、又は、低下する有様であった。（以下略）』

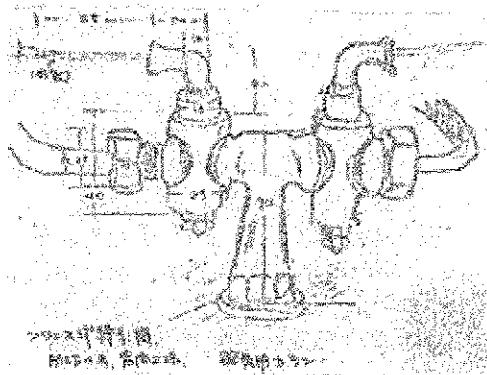
これを読み、日本を除いて東洋におけるバルブの歴史調査はやめた。

### I. 3 日本におけるバルブの歴史

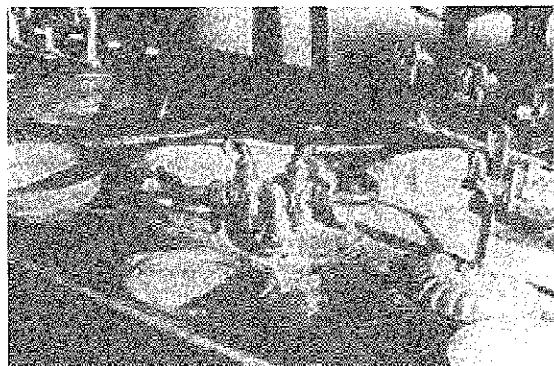
わが国においても同じように水路を止めるために仕切板のようなものが古くから使われておらず、さらに、酒樽などでセンをして必要に応じて取り出せるようにしたものもバルブに代わるべきものとして考えることができる。しかし、現在のようなバルブが作られ始めたのはいつ頃かというと、残念ながら正確に知ることが出来ない。一つのよりどころとして、文久3年（1

1863年)に薩摩藩がイギリスからボイラを輸入し、紡績を始めたという事実があり、この紡績の普及によって需要が生じ、輸入品を見本として作り始めたと考えられる。これには浅草の仏具師が作ったとか、佃の寄場で囚人が作ったという説もあるが、はつきりしたことは分かっていない。文献に現れているものでは明治10年(1877年)に京都の伏水製作所が製作している。当時の記録によると色々な製品の中に「蒸気器機黄銅カラム4個、同黄銅ヘースケレップ2組」となっている。この「カラム」が、後の工女カラムと類似のものかどうか、「ヘースケレップ」がどのような種類のものか判然としないが、現在までに発見された史実の範囲では最古の製造記録である。いずれにしても日本では紡績機械用として明治の初め頃に随所で作られたと考えるのが至当のようである。

現存する最古の完全なカラムと考えられるものは、岡谷蚕糸博物館所蔵【写真2】の「フランス式繩糸機用蒸気カラム」で日本のバルブ工業史にとって貴重なものである。



【写真2 フランス式繩糸機用蒸気カラム】



【図6 蒸気カラムのスケッチ】

このようにして発祥した日本のバルブ工業は、明治18年(1885年)横浜市における水道の着手、あるいは東京ガスの事業化などによって専門の工場が出来始めたのである。それからおおむね第1次世界大戦に至る大正の初期までは、各都市における水道とガス事業の発展及び紡績工業の発達によって、需要が増大し、次第にバルブ工場も増加するに至った。そして第1次世界大戦以後、日本の各種産業は急速に発展し、バルブ工業もこれに伴って技術と需要の両面において大きな成長をとげるに至った。

即ち、それまでは青銅と鉄の一般的なバルブを生産するにすぎなかったのであるが、大正から昭和の初めにかけて減圧弁、安全弁、トラップ等の高度な技術を必要とするものが国産化され、さらに鉄鋼や鍛造の高圧用も次第に多く生産されるようになっていった。

こうして第1次世界大戦以後順調な発展をとげたバルブ工業は、太平洋戦争で甚大な被害を受け、容易に立ち直ることが出来ないであろう見られたのである。ところが、戦後間もなく進駐軍施設の大きな需要によって急速に立ち直り、再び今日の隆盛を見ることが出来たのは、バルブが建設復興資材であることによるもので、真に幸いであったというべきである。ここで一考を要することは、太平洋戦争がバルブ工業に与えた影響である。もちろん工場設備に大きな被害を受けたことによる損失は甚大なものであったが、軍需によって技術振興の基礎が築かれたことも見逃すことの出来ないことであろう。戦後はさらに産業が高度化し、バルブにも新しい技術と性能が要求され、その要求に応じて製品が開発された。

## II章 水道用バルブの歴史

ここからは、コックや栓のことではなく、水道用バルブの歴史的な話について進めていきたい。その前にバルブと栓について区別し難いので少し説明させていただく。

バルブは、配管の途中に取り付けられて液体を止めたり、流したり制御するものであるが、給水栓は、水道の蛇口とも言われるよう、給水管や給湯管の末端に取り付けて流水の開閉を行う。このため、給水栓も広い意味でバルブに入るが、通常は配管の途中に取り付けるバルブとは区別して取り扱われ、通商産業省の統計上も区別して取り扱っている。と言う事で気が変わらなければ、水道用配管に取り付けるバルブに絞って行きたい。

## II. 1 水道用仕切弁の変遷

現在、水道用の仕切弁として、

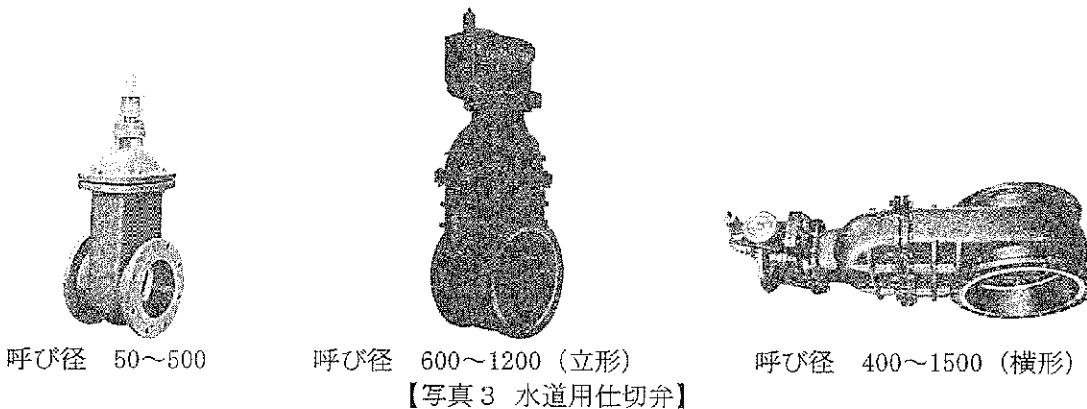
- II. 1. 1) 金属弁座を用いた仕切弁 —————
- ・水道用仕切弁 (JIS 2062)
  - ・水道用ダクタイル鋳鉄仕切弁 (JWWA B 122)
  - ・水道用歯車付仕切弁 (JWWA B 131)

### II. 1. 2) 水道用ソフトシール仕切弁 (JWWA B 120)

の規格があり、主にこれら規格の仕切弁が使用されている。

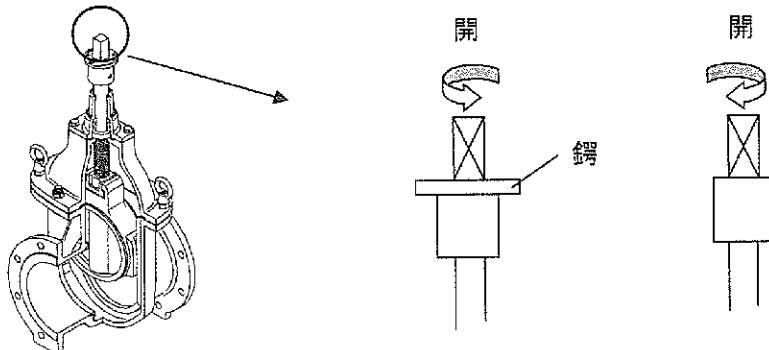
## II. 1. 1) 金属弁座を用いた仕切弁

水道での仕切弁の歴史は古く、前回の稿でも少しふれたが、明治20年（1887年）に横浜市に初めて近代水道を創設したとき、英國から輸入した制水弁（現在の水道用仕切弁）が日本における最初の水道用バルブである。しかし、国産の制水弁が採用され始めたのは、明治33年（1900年）の大坂市水道第一回拡張時期頃からで、それ以前は全て英國製や米国製であった。当時国産品が使われず輸入品が大半を占めていた要因は、国営民営を問わず新しい工業が外人技術者にその設置、運転、製造とにも依存せねばならなかつたためである。明治40年（1907年）代になると我が国におけるバルブ製造技術も向上し、量産体制も確立してきたために、輸入バルブは姿を消していった。ただし、明治、大正時代は規格もなく、統一された制水弁ではなかったので、どのようなものであったかを掴むのは難しいが、残っている昔の図面や掘り起こされた制水弁においては、構造的に現在の仕切弁と同じで、また形状的にも、大差のないものであった。この当時から昭和30年（1955年）頃までは、水道用に用いられたバルブはほとんどこの制水弁である。この間に制水弁は、昭和6年（1931年）10月第28回上水協議会（水道協会の前身）において、「制水弁、排気弁規格」が制定された。



この制水弁規格がその後、日本標準規格 (JES) となり、さらに昭和27年（1952年）にJIS B 2062（水道用制水弁）として日本工業規格が制定されて、その時にバルブの開閉方向がこれまで右回り開であったものと判別するために、左回りで開く方式のキャップは鍔を設けることになった。そして、昭和42年（1967年）には、名称が水道用制水弁から水道用仕切弁に変更され現在まで続いている。

話は少し横道にそれる。第28回上水協議会で制定された初めての制水弁規格書を見ると、漢字とカタカナだけで書かれていて表現もさすがに戦前と思わせる文章である。この規格書で制水弁の規格番号は定められていないが、バルブの寸法や使用材料だけにとどまらず、使用材料の試験方法等も細かく記述されていて予想よりも豊富なものであった。しかし、バルブの開閉方向の規定に対しては引っ掛かりを覚える。原文をそのまま記すと、『第十七条 弁ハ特ニ指定ナキ限り把手ノ右廻リニ依リテ開キ左廻リニ依リテ閉ツルモノトス』。歴史に“もしも”は禁物であるが、“特ニ指定ナキ限り”的記述がなかったならば、国内の水道バルブの開閉方向は、右回り開の一種類だけだったかもしれない。災害時などを考慮すると残念である。



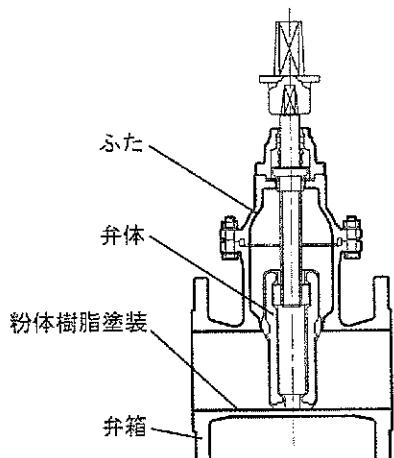
【図7 キャップ形状による開閉方向の表示】

私の勝手な想像は、このくらいにして、JIS B 2062（水道用仕切弁）に話を戻そう。この仕切弁は、使用圧力が0.75 MPa以下で使われることを条件としていて、弁箱・弁体などの材料がねずみ鋳鉄製（FC製）であったが、より高圧のものへの要望から材料を強度の高いダクタイル鋳鉄（FCD製）とした日本水道協会規格 JWWA B 115（水道用 10Kgf/cm<sup>2</sup>仕切弁）が昭和54年（1979年）に制定された。しかし、ダクタイル鋳鉄管や異形管に規定されている使用圧力2.0 MPaまで使用する仕切弁の要望があり、高圧に使用できる金属弁座の仕切弁として平成2年（1990年）にJWWA B 122（水道用ダクタイル鋳鉄仕切弁）が規格制定されたために、JWWA B 115は平成7年（1995年）に廃止された。

一方、平成7年（1995年）にはJIS B 2062は、ISO規格との整合性を図るために呼び径が500以下の中に改正されることになった。この改正により、従来規定されていたJIS B 2062のうち、減速機が付く立形の呼び径600以上と横形が無くなつたことから歯車付の仕切弁の規格化が要望され、平成9年（1997年）にJWWA B 131（水道用歯車付仕切弁）が規格制定された。

そして、呼び径が500以下に規定されたJIS B 2062も、平成12年（2000年）に厚生省（現厚生労働省）から公付された衛生性の浸出基準に適合しないので、飲料用の水道には使用されなくなった。

## II. 1. 2) 水道用ソフトシール仕切弁 (JWWA B 120)



【図8 ソフトシール仕切弁の構造】

仕切弁の歴史で画期的なのはなんと言ってもソフトシール仕切弁の出現であろう。

ソフトシール仕切弁は、ドイツ（旧西ドイツ）で1960年（昭和35年）に開発され、その後オーストリアやフランス、アメリカなどの欧米諸国でも作られるようになった。この仕切弁は、弁体をゴムでくるみ弁箱に圧着して止水する構造になつていて、弁箱の内面は耐久性の高いエポキシ樹脂粉体塗装を施している。このために、経年後も弁内部からの錆が発生せず、弁箱は弁体収納用の凹部の溝がなく、管底と同じで異物がたまりにくい特長を持っている。

しかも、技術屋（私だけかも？）から見るとソフトシール仕切弁の特長よりも、その“物つくり”的考え方の一変している。従来の金属弁座仕切弁は加工技術を主体とした製品であるが、ソフトシール仕切弁は“鰯焼き”のような成型技術を主体とした職人の技にあまり影響されない製品になっている。それゆえにこのバルブは、熟練者でなくとも品質の安定した製品を作る

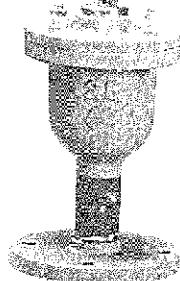
ことができる特長も持っている。物つくりについてはさて置き、当時、国内では水道水に赤錆の混じる赤水問題が取り上げられていたことや従来の水道用仕切弁の欠点を補うものとして、わが国の水道にも使用されるようになり、昭和59年（1984年）にJWWA B 120（水道用ソフトシール仕切弁）が制定された。この仕切弁は、強度の向上・赤水の防止などにおいて、従来の仕切弁に対する始めての質の変革となったもので、水道用バルブの歴史における一つの節目となった。

そして、水道の分野において、過去一世紀にわたり常用されていた金属弁座の仕切弁を、極めて短期間に代替しつつあり、現在では仕切弁の生産量の90%を占めるに至っている。

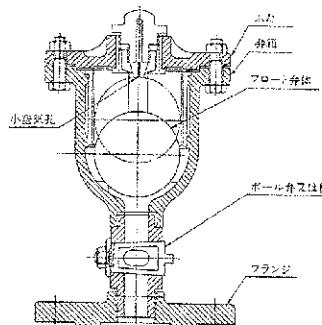
## II. 2 水道用空気弁の変遷

空気弁は、自動的に配管内の空気を排出して管内液体の流れの阻害を防止したりウォータハンマの発生を防いだり、また、空気弁からの吸気によって液中分離を防ぐなど、他のバルブに無い機能を有している。特に水道では、管路が長いために、空気の自動排気・吸気は重要である。そのために、空気弁の規格は、仕切弁と共に、日本で、最初に、規格制定された。

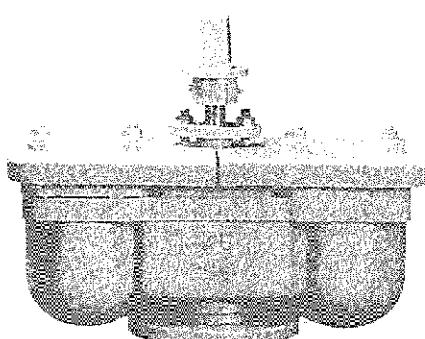
水道用空気弁は、水道用仕切弁と同じく昭和6年の上水協議会の「制水弁、排気弁規格」によって単口空気弁と双口空気弁の規格が制定され、その後、日本標準規格（JES）、水道協会規格（JWSA B 101）を経て、昭和38年（1963年）にJIS B 2063（水道用空気弁）に制定された。



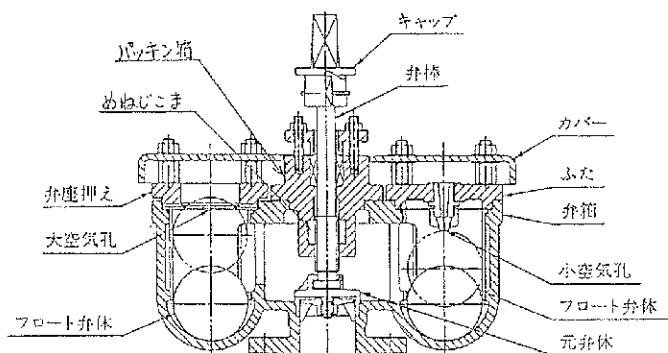
【写真4 単口空気弁の外形】



【図9 単口空気弁の構造】



【写真5 双口空気弁の外形】

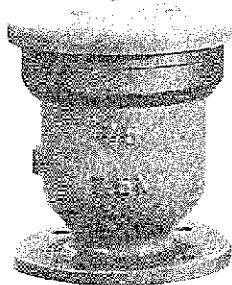


【図10 双口空気弁の構造】

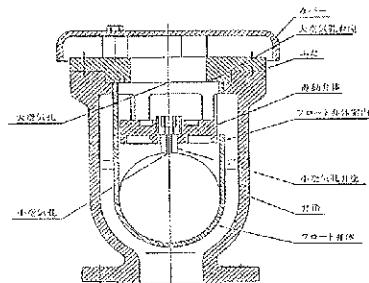
その後、まったく新しい空気弁が、昭和45年（1970年）に急速空気弁（当時は別名）として国内で商品化された。この急速空気弁の誕生について、少し触れておきたい。

開発した担当者の話では『双口空気弁を水管橋につけるのはしんどい。半分ぐらいの大きさで同じ性能のものが出来ないか？』と水道局の方から話があって開発を着手した。立案、図面の作成段階では、『そんなものうまく動かない。ダメだ。』と人から言われたが、全員が賛成するようなものであればヒット商品にはならないと考え、半分は強引に進めたとのことである。試作後の実験では、心配していた排気能力も双口空気弁の2倍以上で他の機能も目標通り得られ、その日は美酒に酔ったと話されていた。しかし、この商品はイギリスにスチームトラップの類似品があるために工業所有権を取得出来なかった。性能だけでなくこの様な状況もあって

国内の水道バルブ各社で製品化され、瞬く間に全国的に広まった。そして、昭和56年（1981年）にJWWA B 118（水道用急速空気弁）として制定された。この規格はそれまでの規格と異なり、形状寸法や使用材料以外に排気機能、吸気機能及びその試験方法までも規定していることである。昭和60年（1985年）に水道用空気弁は、急速空気弁と従来の単口、双口空気弁を含めたJIS B 2063として全面改正が行われたが、現在の技術的要件に適合しない面が出てきたことから、平成14年（2002年）にこの規格は廃止された。



【写真6 急速空気弁の外形】



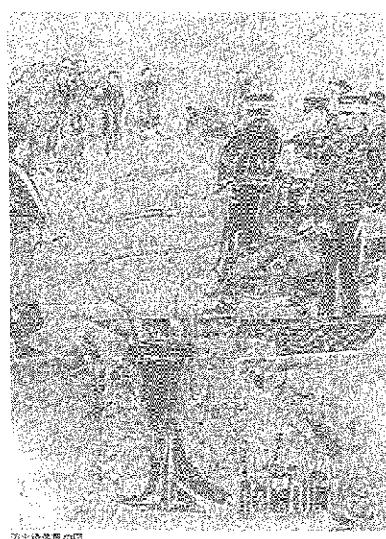
【図11 急速空気弁の構造】

そのような状況の中、平成12年の厚生省から公付された衛生性の浸出基準と現在の技術的要件に適合する空気弁規格の要望があり、平成14年に水道用急速空気弁を基にしたJWWA B 137（水道用空気弁）が制定された。従ってこの規格には、単口空気弁と双口空気弁は含まれていない。

この水道用急速空気弁は、昭和6年の制水弁に対してソフトシール仕切弁が出現したことのように、昭和6年の双口排気弁に対する出現といえよう。特に注目に値するのは日本国内で開発された製品ということである。この急速空気弁は、スチームトラップの類似品があったとはいえ空気弁として製品化できたのは日本人の知恵であり、事実、私がヨーロッパ（ドイツ、フランス、フィンランド、イギリス）のバルブメーカーを訪問した折に、その当時に勤めていた会社のバルブ各製品を紹介したところ、いずれもが急速空気弁に一番興味を持って色々な質問をしてきた。

また、国内では規格弁にはなっていないが、バルブ内が凍結しても破損しない凍結破損防止形の急速空気弁や管内の潜熱（管路内の水温）を利用した凍結防止形の急速空気弁も製造されるようになっている。

## II. 3 水道用消火栓



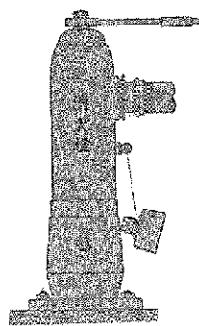
【写真7 消火栓使用の図】

水道用消火栓は配水管から直接に水を取り出すことができ、そのため他の水道用バルブとは異なり、目の付きやすい存在である。そのことや、欧米の映画や写真によく出てくる消火栓は、路上の上に顔を出す地上式のものだけであり（当然か？）、私も雪の多い地方に育ったせいで少し前までは赤い円柱形をした地上式が最も古いものだと思っていた。

ところが、日本では、地下式消火栓のほうが古いのである。国内最初の近代水道を創設した横浜市は、明治20年9月に地下式の球式消火栓を設置しており、東京市（現在の東京都）も明治31年11月には地下式消火栓を設置している。国内最初の消火栓に興味を持ったので横浜市水道局の資料を調査したが、製品名称の記述がないので、図から判断出来なかった。しかし、その中に東京消防庁から提供された【写真7 消火栓使用の図】に描かれたものと同一ものが見つかり、横浜市は東京都と同じ形式の消火栓であることを知った。

なお、その当時の消火栓は外国製であるが、球式消火栓の構造については、資料がないため不明である。

消火栓の特徴ある物として、放水口の規格について述べる。大正11年（1922年）に現在も消火栓に使われている町野式口金は、国内のジョイント（管継手）メーカーによって開発された。それまで消火栓と消防ホースはねじによって接合していたが、この口金は、ワンタッチで着脱できる構造になっている。



消防ホースの取付状態

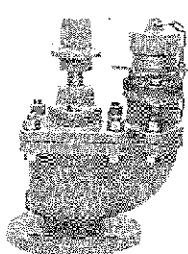


【写真8 町野式口金の構造】

そして、昭和16年（1941年）にJWWA B 104（消防センロ金）として、また、昭和39年（1964年）にはJIS B 9911として規格制定された。しかし、JWWA B 104は昭和44年（1969年）に規格廃止になり、消火栓口金の規格はJIS B 9911に一本化されて現在に至る。

この口金について余談になるが、先日、テレビ局から私の所属している水道バルブ工業会に電話が入った。なんでも、国内の不思議なものを探しているとかで、“町の男とか、町の女が付いた消火栓は、どのようなものでしょう？”と興味深げに聞いてきた。そんな妙な消火栓はないはずと思いながら、ふと、消防ホースの取り付け口が頭に浮かんだ。結果はこうである。消火栓と消防ホースの接続金具は、町野式のオスとメスでつなぐようになっているが、判っているもの同士の会話は“町野のオスとメスは……”で通じるのである。それを、町の男とか、町の女というように解釈したのであろう。その旨を説明すると、落胆した様子が見えるようだった。消火栓がこの様に話題になるのなら、いっそのこと名前を、「いや、よそう、よそう。」

消火栓の規格は案外遅く、昭和31年（1956年）にJWWA B 103（地下式消火栓）が、昭和33年（1958年）にJWWA B 102（地上式消火栓）が制定された。その後、地上式消火栓は各地方都市で地域特徴をもつ製品を採用するために、規格品を使用するところが少くなり昭和44年（1969年）に規格廃止になった。



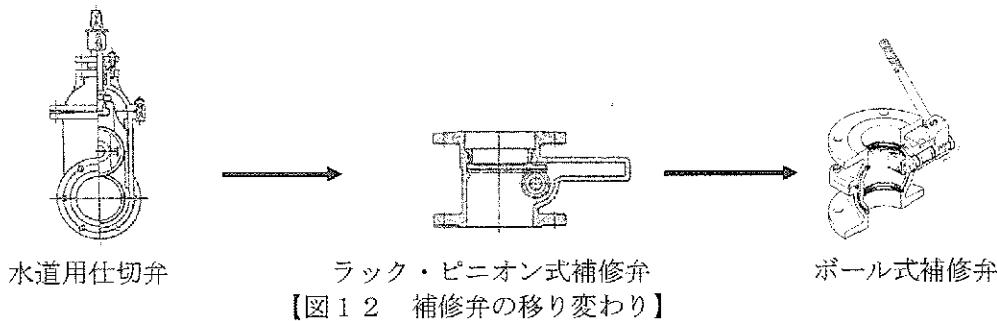
【写真9 地下式消火栓】



【写真10 地上式消火栓】

#### II. 4 水道用補修弁

このバルブは、残念ながら水道用バルブの中で最も地味で話題性に乏しい。空気弁や消火栓の下につけて、そのバルブの点検・修理するためのもので、バルブの中でも脇役的存在である。古くは、水道用仕切弁のフランジ面を水平にして使用されるのが普通であったが、用途から考えると補修弁は、閉める時間を短くすることや設置スペースを小さくする必要があり、水道用仕切弁から板状の弁体をラック・ピニオンで開閉する補修弁などに切り替わって行った。しかし、ラック・ピニオン式の補修弁は経年から、作動不良の生じるものもあり、徐々にバタフライ弁やボール弁の補修弁が使用されてきた。



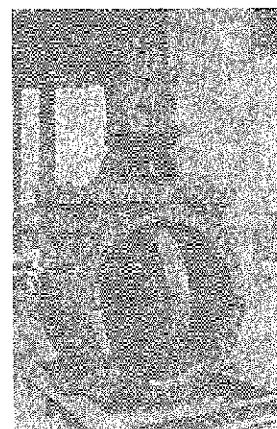
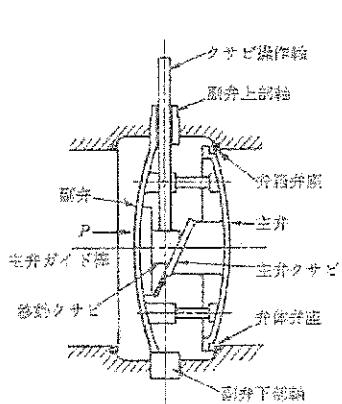
【図12 補修弁の移り変わり】

その後に、平成3年（1991年）の地下式消火栓の規格改正で、補修弁内臓形の消火栓が規格から削除されたことから補修弁の規格化が必要となり、平成4年（1992年）にJWWA B 126（水道用補修弁）が制定された。この規格のバルブ機種は、バタフライ弁とボール弁である。

## II. 5 水道用バタフライ弁

バタフライ弁は、原理的発想として久しい以前からあったが、弁座の気密性の確保がウイークポイントとなって、実用の段階に至っていなかったのである。しかし国内では、既に、弁座部にゴムを使用しないで止水できるバタフライ弁が実用化されていた。【写真11】のウシオ弁である。この弁は、昭和初期に牛尾義方によって発明されて旧海軍の艦艇用として広く使われ、水道用としても口径1500mmまで使用された記録がある。ウシオ弁は、昭和5年（1930年）に2件の特許を出願し、同年と翌年に特許登録になった。（社）日本バルブ工業会発行の「バルブ工業の歩み」に掲載の分権登録文書の写真によれば、この2件の特許は昭和7年8月5日に、軍艦に使うキングストン弁（軍艦を敵の手に渡さないために自沈するために開く弁）に限り特許の実施権を海軍大臣に分権する登録をしている。戦艦大和の起工は昭和12年、武藏は13年であり、大艦巨砲時代である。軍艦の重要な弁を他国に依頼するわけにはいかない事情だったのではないかと推定される。

ウシオ弁の特徴及び構造について少し述べておきたい。この弁は、弁体を90度回してから、弁座に押し付ける二動作型のバタフライ弁である。開閉弁の命は弁座の漏止であり、そのため弁体を弁座に押し付けることが重要であることから、二動作型の機構が考案された。従って、【図13 ウシオ弁構造】からも分かるように、現在の一動作型のバタフライ弁とは異なり、弁内部、弁の駆動機構も複雑で、私の技術では残念ながら理解出来ない。



【図13 ウシオ弁構造（昭和5年製）】 【写真11 ウシオ弁 阪神水道企業団尼崎事業所内】

この弁については、“金属弁座ながら止水も完全で、大口径でも人力で軽く開閉出来るなど優れた特長を有していたが、構造が複雑なことから當時使用しない場所では水垢などで開閉出来ない場合が頻発したために、現在では使用されなくなった。”と言われているが、昭和7年という日本のバルブ製造の黎明期に、世界に先駆けて手動操作出来る大口径のバタフライ弁を造ったことは大きな驚きである。

昭和29年（1954年）頃になると、独自の考えによる弁体にゴム弁座を取り付けたヨシケ弁が発明され、水道用に採用されている。この頃の水道用として一部用いられていたバタフライ弁は、止水形でなく流量制御用であった。

しかし、海外では1951年（昭和26年）に米国のキーストン社は、新しい材料（合成ゴム）が実用化されたのを契機に、ゴム弁座を使用した工業用バタフライ弁を開発した。そして、昭和30年頃に、米国からゴム弁座式バタフライ弁が輸入され、火力発電所の循環水用バルブとして用いられた。この輸入品導入を機に、日本でも止水形バタフライ弁が徐々に研究・開発され始めた。水道用として本格的な完全止水形ゴム弁座式バタフライ弁が使用され始めたのは、昭和34年以降数年にわたり、大阪市水道局で、国内バルブメーカー3社、ポンプメーカー2社による加圧、開閉試験を長期間実施した結果、水道用として十分使用に耐えるという評価がなされたのが始まりで、その後、各地の浄水場などに急速に普及した。

当時、この様な信頼性が得られても、バルブに直接携わる人以外は、バタフライ弁の完全止水は無理と考えている人が多かったようだ。私がバルブメーカーに入社してまもなくの時（昭和44年）、大学の恩師から“どんなバルブを造っているか？”と聞かれて、“バタフライ弁、仕切弁、空気弁等です”と答えたところ、“バタフライ弁は面白いバルブだが、漏れがあるのでな”と言われた。尊敬している先生ゆえ、私としては“……”である。その半年後、恩師が会社を訪問したおりに、1200mmバタフライ弁の水圧試験を見て頂いた。一滴も漏らないバルブを見て“これは、君が設計したのか？”，“いいえ”，“ん、だろうな”と妙に納得されていた。この先生は、戦前に国内で最初にヘリコプターの開発を手がけた学者であったが、イゴール・シコルスキ（1889～1972年）に先を越され、戦後は空を飛ぶ物の研究を禁止されたために、やむなく、研究活動を水車やポンプに切り替えた学者である。決して流体関連に理解のない学者ではない。

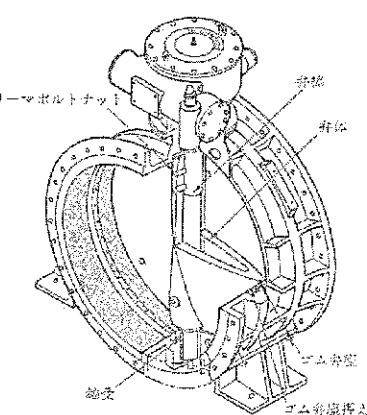
次に、バタフライ弁を完全水密形バルブとしたゴムの歴史について述べる。

現在のような弾性ゴムは、1839年に米国のチャールズ・グッドイヤーが生ゴムに硫黄を混ぜて加熱する加硫法を発明したことから始まる。そして、19世紀末に自動車が発明され、そのタイヤとしてゴムが用いられるに及んで飛躍的な発展の道が開かれ、さらには、タイヤ以外の部品にも軍需用を中心としてゴムの用途が広がっていった。この当時、英国は、国策として東南アジアにゴム農園を建設し、第2次世界大戦の日本軍による東南アジアの占領まで、長い間、世界の生ゴムを独占するようになった。一方、長い歴史を持つ天然ゴムに比べ、本格的に合成ゴムが開発されたのは比較的新しく、20世紀になってからである。合成ゴムの開発は東南アジアに天然ゴムの拠点を持たず、生ゴムの入手に苦慮していた米国やドイツなどが中心になって行われ、ドイツでは、1933年に優れた物性を持つブナ系（SBR）の汎用合成ゴムが開発されている。米国は、1942年の日本軍によるマレー半島、ジャワ、スマトラなどの占領によって、英國からの天然ゴムの輸入ルートが完全に絶たれ、ドイツで開発されたブナ系ゴムの入手も不可能になつたために、大統領命令を制定して合成ゴムの製造を国家管理の基に推進した。その結果、戦後の製品輸出・技術輸出の基礎を作ることができたのである。

第2次世界大戦後は、石油化学の発達により高性能の合成ゴムが大量かつ安価に製造されるようになって、最近ではバルブに使用されるゴムも含め、ほとんど合成ゴムに代わってきている。

バタフライ弁にゴム弁座が使用されたのは、前述のように米国で1951年に工業用として、そして、1954年に米国水道協会規格でゴム弁座バタフライ弁が制定された。

日本では、昭和30年代に天然ゴム弁座のバタフライ弁が水道用にも使用され始め、規格としては、昭和42年（1967年）に合成ゴムも天然ゴムと同様にゴム弁座として指定したJWWA B 114（水道用バタフライ弁）が制定された。その後、昭和59年（1984年）には、規定内容を踏襲して制定されたJIS B 2064（水道用バタフライ弁）に移行したが、JIS B 2064は現在の技術的要件に適合しない面が出てきたこ



【図14 ゴム弁座式バタフライ弁】  
(JWWA B 138 の一例)

となどから、平成14年（2002年）に廃止された。この様な状況の中、水道に携わる方々から、平成12年に公布された「水道施設の技術的基準を定める省令」に適合する規格の要望が出され、平成14年にJWWA B 138（水道用バタフライ弁）が制定され、現在に至っている。

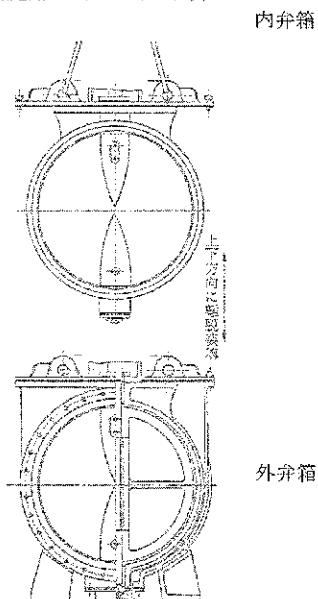
なお、現規格のゴム弁座材料は、合成ゴムのC R（クロロプレンゴム）、N B R（ニトリルゴム）、S B R（スチレンブタジエンゴム）、E P D M（エチレンプロピレンゴム）の4種である。近々、1600mm～2600mm水道用大口径バタフライ弁の規格（JWWA B 121）も発刊になつていて、現在では最も水密性の得やすいバルブになっている。

ここまでバタフライ弁の水密に関してばかり話してきたが、バタフライ弁は他のバルブよりも、学者や技術者によって水力学的な事象が数多く研究されてきたことを言ひ忘れてはならない。その中で特筆すべきは、スイスのエッシャー・ウイズ社が、流体の流れによって弁体を閉方向に回転させようとする力を最初に解析したことである。1936年（昭和11年）にはこの研究論文が発表され、現在もこの理論がバタフライ弁のトルク計算に使用されている。また、よく話題となる絞り運転時のキャビテーションや騒音についても、バタフライ弁は、30年前まで国内外で数多くの研究報告がされている。学問的にも面白いバルブなのである。前述に学校の恩師が“バタフライ弁は面白いバルブだが、漏れがあるのでな”と云われたのもこのあたりを指したものと思う。

それらはともかくとしても、バタフライ弁は、コンパクトで操作しやすいことなどから規格外の製品も多く開発され使用してきた。その主なものとして、

- a. 弁体離脱形バタフライ弁
  - b. 金属シート形バタフライ弁
  - c. 鋼板製バタフライ弁
  - d. 副弁内蔵形バタフライ弁
  - e. フランジレスバタフライ弁
  - f. バタフライ弁式緊急遮断弁
  - g. キャビテーション抑制形バタフライ弁
- などがあり、バタフライ弁の応用としては、次のようなものもある。

#### a. 弁体離脱形バタフライ弁



弁体離脱形バタフライ弁は、バタフライ弁が水道に使用され始めた頃のゴム弁座に対する不安が解消されていなかった昭和40年代に開発された製品であり、弁箱を配管からはずすことなしに、ゴム弁座の取り替えを可能にしたものとして使用された。

この弁は、弁体、ゴム弁座、弁棒の主要部品を内包した内弁箱と、その内弁箱を挿入する外弁箱で構成されている。ゴム弁座を修理するような場合は、内弁箱を配管に設置されている外弁箱の上部から離脱させた後に新たな内弁箱を挿入して、修理期間や断水時間を短縮できる特長を持っている。【図15】はその着脱図である。

その後、ゴム弁座の信頼性も高まりこの形式は少なくなっているが現在でも特定の場所や不断水工事用などで使用されている。

【図15 弁体の離脱及び装填方法】

#### b. 金属シート形バタフライ弁

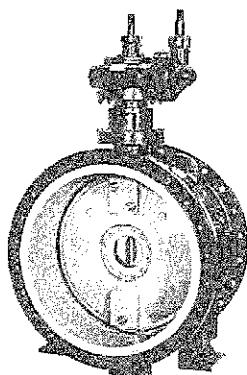
金属シート形バタフライ弁は、昔から流量調節弁と使用されていたが、全閉時の漏れも多かったようである。しかし、昭和40年頃に米国で全閉時の漏れを少なくした金属シートバタフライ弁の国際入札があり、水道用として金属シートの優れた耐久性が見直されて、昭和51年

頃から国内向けに、金属シート形バタフライ弁が開発された。このバルブは高い加工精度によって僅かな漏れしか生じないように作られ、以前からの金属シート形バタフライ弁とは一線を画するものである。

c. 鋼板製バタフライ弁

鋼板製バタフライ弁は大口径での重量軽減のために弁箱、あるいは弁箱と弁体を鋼板製としたもので、比較的に早くから製作されて現在に至っている。

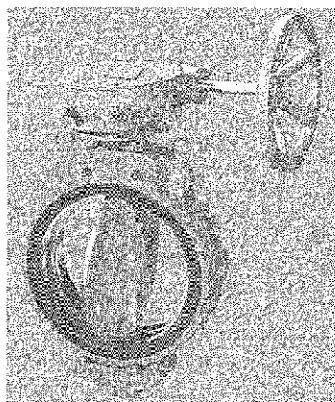
d. 副弁内蔵形バタフライ弁



副弁内蔵形バタフライ弁は国内で開発され、昭和45年（1970年）に使用され始めた。このバルブは、バタフライ弁（主弁）の弁体に小口径のバルブ（副弁）を取り付けた構造をしており比較的大口径なものが多い。水道では、管路の充水あるいは管路からの排水は、時間をかけてゆっくり行う必要があり、大きなバルブの絞り運転を避けるために、バイパス管路による通水を行うが、それだけ大きな設置場所が必要になるので、それを避けるために考え出された。

【写真12 副弁内蔵形バタフライ弁（例）】

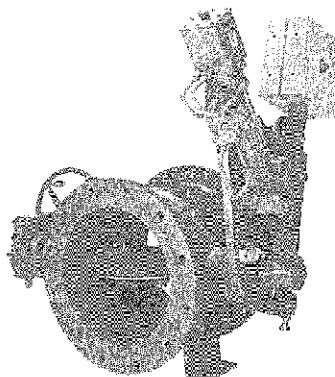
e. フランジレスバタフライ弁



フランジレスバタフライ弁は、浄水場の小配管等に使用されることもあるが水道での使用は少ない。一般機械用としては昭和30年代頃から使用されている。

【写真13 フランジレスバタフライ弁（例）】

f. バタフライ弁式緊急遮断弁

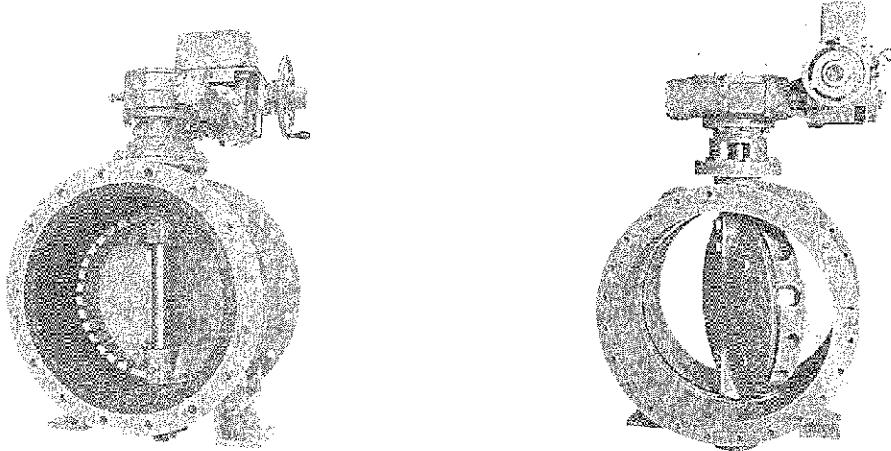


バタフライ弁式緊急遮断弁は、殆どの場合、規格のバルブ本体を用いて、ウェイトなどにより地震等の緊急時に自動的に管路を遮断するようにしたものであり、昭和50年代頃から使用されている。

【写真14 バタフライ弁式緊急遮断弁（例）】

### g. キャビテーション抑制形バタフライ弁

キャビテーション抑制形バタフライ弁は、弁体を特異な形状として絞り運転時のキャビテーションの発生を軽減する機能を持たせたバタフライ弁で、昭和59年頃に国内の各バタフライ弁メーカーから開発された。それまでは、複数台のバタフライ弁で少しずつ絞り運転するか、または高価な制御専用のバルブによる方法しかなかっただけに、寸法・形状がバタフライ弁と同一なキャビテーション抑制形バタフライ弁は、数多く使用されている。このバルブは幾つかの弁体形式あるのが、そのうちの2例を【写真15】に挙げた。



【写真15 キャビテーション抑制形バタフライ弁（例）】

筆者も、キャビテーション抑制形バタフライ弁の開発を手がけたが、思い通りの性能にならず、弁体のスクラップばかりを作っていた。

たぶん、この形式のバルブ開発者は、私と同じようなことをされたと思う。

キャビテーション抑制性能を確認する方法は、実硫試験以外考えられないが弁体を取り替え引き替え試験することになるので、大きな口径でやるとなると、これはもう、頭脳労働ではなく肉体労働になる。体力勝負である。

実硫試験を行っていたときの話になるが、いつものように流れの様子を目視によって観察していた時のこと、夢中になってしまって管内圧力が危険な0.35 MPaになったのも気づかず透明なアクリル樹脂製の弁箱を破裂させてしまった。口径600mmなので瞬時に実験室が水浸しである。幸いに誰にも怪我は無かったが、実験者の半数は必ず濡れである。上司に報告したときは、苦い顔をされないように高価な弁箱のことは触れず、実験者に一人の怪我もなかつたことを強調し、そして、懲りずに“もう一度アクリル樹脂製の弁箱による実験を続けたい。お願いします。”

本稿はバタフライ弁のみに絞って述べてきた。それにしてもバタフライ弁の祖先というか、原型であるダンパーの起源が解らないのは、非常に残念である。

## III章 水道に使用される規格外のバルブ

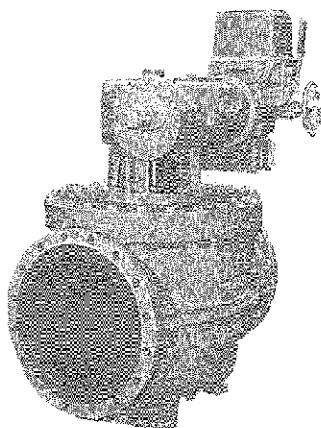
本章では水道用バルブの中でも規格外となるバルブについて述べる。筆者も規格の堅苦しい話は不得意なので、少し肩の荷を下ろして進めたい。

### III. 1 ロート弁

ロート弁は、米国のステファン・モルガンが水車の付属弁として発明したものである。アリス・チャーマー社（米国）が1959年にその特許を買取し、ポンプ用出口弁として製造販売を開始した。その後、アリス・チャーマー社は、バルブ部門をAC Valve・Incに売却したが、その会社が破産したためにロドニー・ハント社（米国）が権利と技術を買い取り現在に至っている。国内では、昭和43年（1968年）にポンプメーカーのE社とD社がアリス・チャーマー社よりこの弁の技術導入をし、ポンプの吐出弁や流量、圧力の制御弁として今までに数千台

が納入された。この弁は大口径も製造され、なかには口径 2400 mm のものも国内で作られているが、現在は新たに使用されることはない。

技術導入したメーカーに話を聞いたところ、導入当初は弁棒部にカジリを生じやすく弁の開閉に影響が出るなどの問題を生じ、導入先に問題解決を依頼したが対応してくれずかなり苦労して自社で解決したことである。



【写真 1-6 電動式ロート弁 (例)】

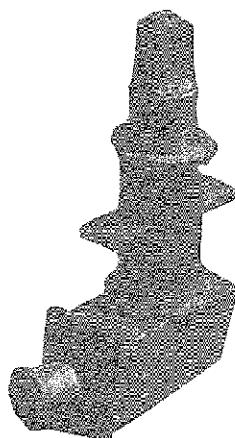
このバルブの特徴について簡単に説明すると、一般にはコーンバルブと称し、形状はコックの親玉と考えればよい。ただ回転する前に弁体をわずかに浮き上がらせてから回転して全開(閉)ではまたおろすところが普通のコックと違っている。この操作機構は、弁体の昇降と開閉とを相ついで行わせるために特に工夫こらした独特のものである。廃棄された手動式ロート弁の分解に立ち会ったところ、操作機構は、バタフライ弁等に使用されているウォーム歯車と違い、うんざりするほど複雑であるにもかかわらず意外と丈夫で異常は認められなかった。

また、ロート弁の半開時は、流体によるダイナミックトルクが閉まり勝手に働くために、水道用のポンプ吐出弁の例では、油圧、水圧操作のシリンダ式として(電動仕切弁) + (逆止弁)の機能を持たせているものが多い。そのために欧米では、ポンプ緊急停止後のオーバーハンマー防止のために、緩閉式逆止弁も兼ねて多く用いられているが、国内では形状が大きく高価であることや性能の良い緩閉式逆止弁が出来たこと等から、一時のように使用されなくなった。

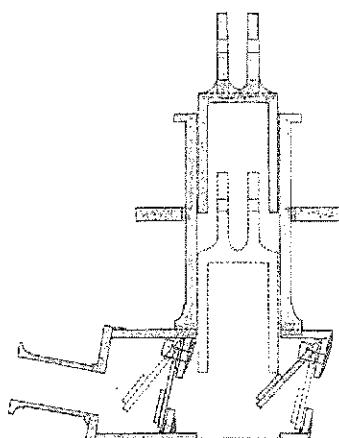
### III. 2 逆止弁

I. 2 バルブの発展で、筆者はバタフライ弁のファンと述べた。実はこの逆止弁も好いていて、この弁の知識もありないので“隠れファン”でもある。

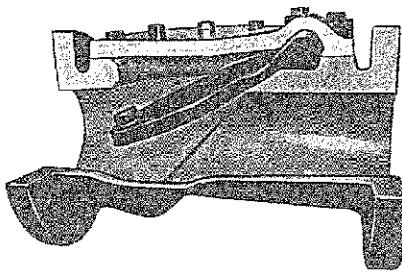
逆止弁は、コックと共に化石のように歴史の長いバルブでもあり、水道用逆止弁の話に入る前に時代を遡ったところから入りたい。第1回目に少し触れた通り、この弁は今から 3500 年以前に送風用フイゴに使用されたと言われている。しかし、この時代では未だ木製で、約 2000 年前のローマ時代になった頃から金属製のものが製造された。【写真 1-7】はローマで発掘された青銅製ポンプの写真で、内部の構造は【図 1-6】から解るようにシリンダーと逆止弁で構成され、【図 1-7】にあるような現代の弁棒無しスイング式逆止弁とほぼ同じである。



【写真 1-7 ローマ時代のポンプ】



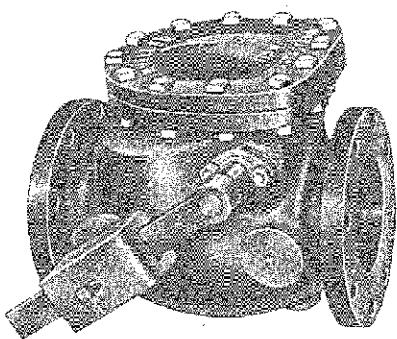
【図 1-6 ポンプの構造】



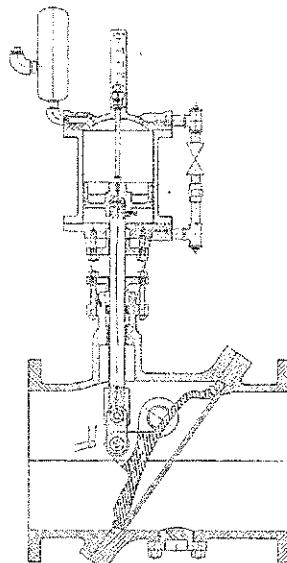
【図 17 弁棒無しスイング式逆止弁（例）】

この少し後には、同様にしてポンプにリフト式逆止弁も使用されているが、スイング式にしてもリフト式にしても、逆止弁を管路内に単体で用いたのはかなり後のことである。

近代になって動力ポンプが使用されるようになると、それまでの簡素なスイング式やリフト式の逆止弁では弁の閉じる時に生ずる衝撃を防止出来なくなり、欧米に急閉式【写真 18】や緩衝式【図 18】の機能の向上した逆止弁が登場してきた。



【写真 18 急閉式逆止弁（例）】



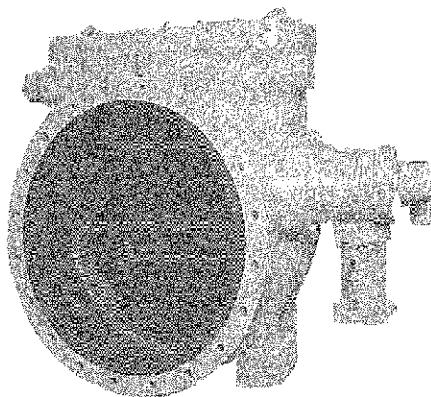
【図 18 緩衝式逆止弁（例）】

急閉式逆止弁は、ポンプ停止後に写真にあるようなウエイト等で強制的に弁を閉じさせ、逆流による弁閉鎖の衝撃を防ぐ方式である。この方式の弁は 1950 年以前に既に製造されていたが、出所と開始時期ははっきりしない。

緩衝式逆止弁は、逆流させながらダッシュポットにより徐々に弁を閉じさせ、弁閉鎖時の衝撃を防ぐ方式になる。【図 18】は、1950 年頃に米国のチャップマン社が開発したチルチング式の弁で、同社によると、従来のスイング式逆止弁はダッシュポットを付けたとしても弁閉鎖の衝撃が吸収出来ないために、弁棒の位置をずらした偏心形バタフライ弁の様な逆止弁にしたとある。また、チルチング式は、スイング式と同様にウエイトを付けることによって急閉式逆止弁にも出来る。当初は緩衝式を目的に作られたが、その後にダッシュポットの働きを改良してウォータハンマーを防止する緩閉式も作ることが可能になり、このチルチング式逆止弁は現在でも海外で多く製造されている。

さて、我が国では明治に入ってから金属製バルブが作られ、そして明治 18 年（1885 年）に初めてのバルブ専門工場が出来た。この後に、水道事業が横浜、函館、長崎、広島、大阪、

東京などの各地で始まり、バルブの発展を促したのである。当時のバルブ専門工場によって作られていた水道用のバルブは青銅製小形弁が主であり、明治後期になってようやく管路に設置されるような鋳鉄製の逆止弁も製造されるようになった。



【写真19 親子弁方式の緩閉式逆止弁(例)】

昭和20年代に入ると、高い圧力（高揚程）の鉱山用排水ポンプを多く使用することになり、ポンプ停止後の逆止弁によるウォータハンマーが問題になってきたのである。この問題に対処するために、昭和26年（1951年）頃から国内のポンプメーカーH社によるウォータハンマーを防止する逆止弁の研究が進められた。当時のH社の研究論文（昭和26年～31年）を見ると、バイパス弁を使いやっくり弁を閉鎖させる研究が行われ、かなり苦労してウォータハンマーを防止している。その成果を基にバルブメーカーは、昭和40年（1965年）頃から水道に使いやすい親子弁方式の緩閉式逆止弁【写真19】を作るようになってきた。

なお、緩衝式逆止弁と緩閉式逆止弁の違いについて、緩衝式逆止弁が弁閉鎖時に生じる衝撃防止を主としているのに対し、緩閉式逆止弁は、弁閉鎖時の衝撃防止とウォータハンマー防止を狙いとしている。したがって、高揚程のポンプに使用した場合は、弁閉鎖時間も長く出来る構造の緩閉式逆止弁が必要だ。

欧米では、日本のような親子弁方式の緩閉式逆止弁は見あたらず、水道でも高揚程ポンプに使用する場合は前述の油圧源装置を使ったロート弁やチルチング式の緩閉式逆止弁を設置してウォータハンマーを防止している。

規格について述べると、昭和33年（1958年）にねずみ鋳鉄弁の一つとしてスイング逆止弁がJIS B 2031に、昭和34年（1959年）に青銅弁の一つとしてスイング逆止弁及びリフト逆止弁がJIS B 2011に、昭和38年（1963年）に鋳鋼弁10K、20Kスイング逆止弁がJIS B 2071に、昭和53年（1978年）に可鍛鋳鉄10Kねじ込み形弁の一つとしてスイング逆止弁及びリフト逆止弁がJIS B 2051に、JIS規格（日本工業規格）として制定された。その後にこれらの規格は、平成6年（1994年）のSI単位導入で改正されたが、内容は殆ど変わっていない。しかし、これらのJIS規格に制定された逆止弁は、弁閉鎖が弁体の自由落下によるものに限られていて、今まで述べてきたような閉動作の調節を出来るものは規格化されていない。

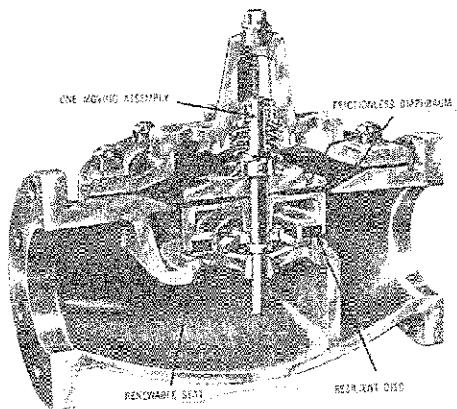
それでも筆者が残念に思うのは、弁本体を変えずに急閉式や緩閉式に出来る応用性の高いチルチング式逆止弁がなぜ日本では製造されないか、逆止弁がどうして人気のないバルブになっているのかと言うことである。

### III. 3 減圧弁

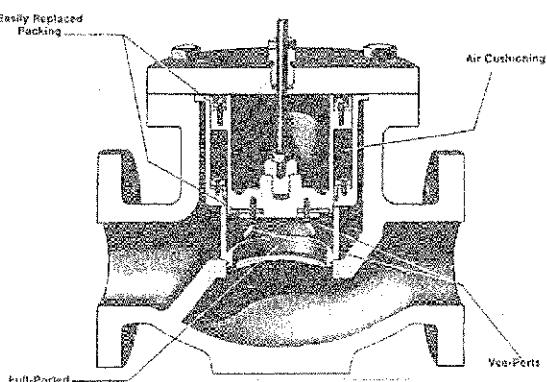
ここで述べる減圧弁は、給水管等に設置される簡易な小形なものではなく、配水管等で使用されるオート弁を云う。

減圧弁は、1936年（昭和11年）にクレイトン社の米国人グリスワールドによって開発された。その後にクレイトン社のバルブ部門は、グリスワールドによって引き継がれクラーバル社として現在も減圧弁を製造販売している。減圧弁は、管内圧によって作動する自動弁で使いやすく、開発されて以降は、各国のバルブメーカーによって作られるようになった。

国内のバルブメーカーが、減圧弁に取り組み出したのは、昭和25年（1950年）頃より米軍施設に設置された米国製減圧弁を修理することから始まる。そして、それより得られたノウハウや購入した米国製減圧弁の研究から、昭和28年（1953年）に国産の減圧弁の製造を開始した。減圧弁の弁本体（主弁）の構造は、ダイヤフラム式【図19】によるものと差圧シリンダー式【図20】によるものに分かれているが、作動の理屈は同じである。米国で最初に開発された減圧弁はダイヤフラム式によるもので、国内の最初に作られた減圧弁は差圧シリンダー式になる。



【図19 ダイヤフラム式の減圧弁(例)】



【図20 差圧シリンダー式の減圧弁(例)】

この弁の特長は、今まで述べてきた他力弁と異なり管内の水圧によって自力駆動する主弁構造にある。それゆえ、減圧弁は主弁と動作指示を出すパイロットバルブから構成されているが、主弁構造の持つ特性から、パイロットバルブの変更やオプションの追加によって減圧弁以外の、例えば水位制御、流量制御、1次圧制御等のオート弁が古くから国内外共に作られた。特に日本は、地形の高低差がある所が多いために多数の減圧弁が使用され、現在ではメーカーも約10社になっている。

しかし、減圧弁を含むこの種のオート弁は、便利なようでも設置条件や使用状況により“じやじや馬”に豹変することがある。配水管には、他にもオート弁が付けられていることが多い、弁の開きが小さな（小開度）時はそのような弁と干渉してハンチングを発生する場合もあるので注意しなければならない。特に管内に空気が残存している場合は要注意である。筆者も何回かこの“じやじや馬”に遭遇して調整、と言うよりも調教に手を焼いたことがあった。現在の国内製オート弁は、小開度の流量特性を改良した構造や小開度になってからの閉鎖速度を遅くする機構を取り入れて、ハンチングの発生を少なくしている。

### III. 4 制御弁

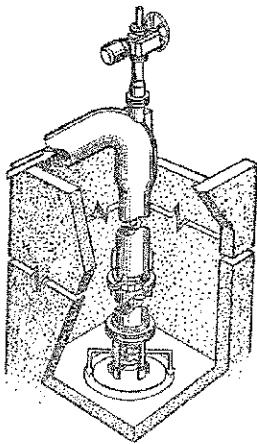
制御弁の定義は、「広辞苑」によると機械や設備が目的通りに作動するための調節バルブとなるが、それでは範囲が広すぎるので、ここに述べる水道用制御弁を筆者の独断と偏見で次のように限定した。

本稿で扱う制御弁は、絞り運転時もキャビテーションを生じにくく、流量特性が優れ、ヒステリシスの少ない、多頻度の作動に耐えられる弁とした。前述の減圧弁も入るのであろうが、オート弁として一分類に扱われているのでこの制御弁には入れていない。この様に考えて、水道用の代表的制御弁を取り上げてみる。

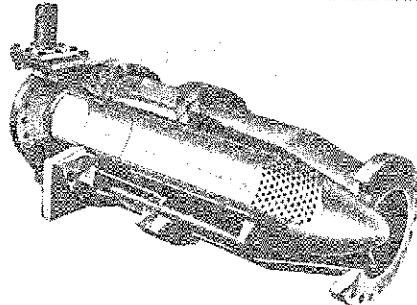
#### III. 4. 1) スリーブ弁

スリーブ弁は、米国南カリフォルニア州水道組合（MWD）によって開発されたが正確な時期ははつきりしない。ただ、MWDのW・Paul Winnがこの研究論文を1974年にAWWAで発表していることから、開発時期はそれより数年前であろう。

スリーブ弁は、水量の調節する所が2重のスリーブ（筒）構造になっていて片側のスリーブは小さなポート（孔）が多数設けられている。ふたが被さる部分に多数のポート（孔）がある茶筒を思い浮かべて頂きたい。ふたを移動すると、ポートの数が増減して茶筒内の水量を調節するようなものである。最初の開発は減勢槽に放流する形式のもの【図21】で、この後に管路に設置するインライン形スリーブ弁【図22】が同じく米国で開発された。減勢槽式は水流がスリーブの中側から外側へ流出し、インライン形は逆にスリーブの外側から内側へ流出する構造になっている。



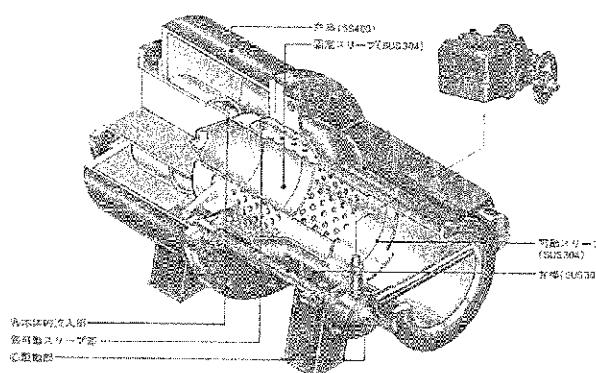
【図 2 1 減勢槽形式のスリーブ弁】



【図 2 2 インライン形スリーブ弁（例）】

国内の状況は、昭和 50 年（1975 年）にバルブメーカー K 社によって減勢槽形式のスリーブ弁を技術導入したのが始まりである。ちょうど昭和 45 年（1970 年）頃からバルブの水量調節や減圧で生じるキャビテーションについてうるさく云われ、昭和 51 年（1976 年）には他のバルブメーカーも製造を始めた。

スリーブ弁は、水流を小さなポートから水中に噴出させてエネルギーを分散させるので、従来のバルブに比べキャビテーションが生じにくく、ポートの孔径や孔のピッチなどを変えることによって流量特性を変えることが出来るなど他に無い特長を持っている。

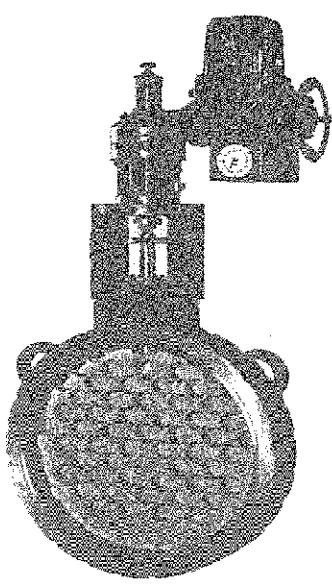


【図 2 3 洗浄機能付きインライン形スリーブ弁】

一方、通水部は小さなポートのために固体物のつまりが生じやすい欠点も持つ。このため、1978 年にはこの欠点を解決するインライン形スリーブ弁【図 2 3】が国内のバルブメーカー M 社によって開発された。この弁は、スリーブを全開から全閉の開度以外へ移動させると、ポートへの水流が通常と逆になることを利用してポートの目詰まりを洗浄する仕組みになっている。どちらにせよ、インライン形スリーブ弁は、他に適当な制御弁がない昭和 60 年（1985 年）頃まで水道用制御弁として多用された。

### III. 4. 2) 多孔オリフィス弁

多孔オリフィス弁は仏国のアルストーム社によって開発され、その後、国内のバルブメーカーK社によって技術導入されたのが始まりである。そして、昭和60年（1985年）には、国内で最初の製品が製造された。



【写真19 多孔オリフィス弁（例）】

最初にこの【写真19】を見た時は、弁体の動きがすぐに予想出来なかった。外観形状はバタフライ弁のよう見えるが、弁体は多数の孔があいているのでどのような機構で水量調節するのか分かりにくいのである。この弁は、水量の調節部分が同径で同数の多数ポート（孔）を持つ2枚の平板で構成されており、その1枚（弁体）をスライドさせるとポートの面積が変化して水量調節を行う構造になっている。通水箇所は、ポートであるためにキャビテーションが生じ難く、水量の調節精度も高いうえに全開から全閉までの弁体移動距離はポートの径と同じで外観形状が大きくならない。なんと云ってもこの弁は、スリーブ弁に比べ安価で形状もフランジレスバタフライ弁なみに小さい特長を持ち昭和61年（1986年）頃からインライン形スリーブ弁に取って代わってきた。しかし、この弁も、もっと手軽に使用出来る5. II. で述べたg. キャビテーション抑制形バタフライ弁に変わりつつある。

## 参考文献

- ・G・H・ピアソン：弁の設計 日本弁工業会 1961
- ・(社)日本バルブ工業会：バルブダイジェスト 2000
- ・(社)日本バルブ工業会：バルブダイジェスト わが国のバルブ産業 — 1995
- ・(社)日本バルブ工業会：バルブダイジェスト バルブ工業の歩み 1974
- ・バルブ便覧：日刊工業新聞社出版、1969
- ・ヴィトルト・リップチンスキ：ねじとねじ回し 早川書房 2003
- ・三輪 修三：ものがたり 機械工学史 オーム社
- ・日本水道協会：水道用バルブハンドブック 1987
- ・平凡社：万有百科大辞典 (GENR JAPONICA) P248～P249
- ・バルブ講座編纂委員会：初歩と実用のバルブ講座 日本工業新聞社
- ・下間 賴一：技術文化史 12講 森北出版株式会社 1983年
- ・解体新書編集部：モノの歴史・技術の歩み 日刊工業新聞社 1998年
- ・岡田 愿二：水道用バルブの変遷 水道協会雑誌 第790号
- ・(社)日本水道協会：日本水道協会規格の変遷
- ・嶋田 隆雄：水道用バルブのはなし 水道用ソフトシール仕切弁
- ・水道協会：水道用制水弁規格 水道用排気弁規格 昭和六年第二十八回上水協議会決定
- ・東京消防庁：東京の消防百年の歩み
- ・横浜市水道局：横浜市水道史
- ・古津 靖久：コントロールバルブ 日刊工業新聞社 1963年
- ・キーストン・ガデリウス社：会社案内
- ・渡辺 清：水道用バルブの変遷と将来の課題 (社)日本バルブ工業会 バルブ技報 No 28
- ・上野 義郎：開閉弁の弁種関連性の研究 (社)日本バルブ工業会 バルブ技報 No 43
- ・上野 義郎：二動作開閉弁の研究 (社)日本バルブ工業会 バルブ技報 No 53
- ・小松 公栄：ゴムのおはなし 日本規格協会
- ・鋳鉄バルブ編纂委員会：鋳鉄バルブ
- ・Roma pipe and valves petrolieri D' ITALIA
- ・Chapman社：資料 1956年
- ・CLA-VAL社：資料 1965年、1971年
- ・JIS B 2031-1994：ねずみ鋳鉄弁
- ・JIS B 2051-1994：可鍛鋳鉄10Kねじ込み形弁
- ・JIS B 2071-2000：鋼製弁
- ・JIS B 2011-2003：青銅弁
- ・日本工業出版社：鋳鉄バルブ ～バルブの実務再入門～
- ・寺前博：日立評論 第33巻5号 チェックバルブ付渦巻ポンプにおけるウォータハンマーについて 昭和26年6月
- ・日立評論：第35巻1号 昭和27年度に於ける日立技術の成果 昭和28年1月
- ・堀田正雄：日立評論 第35号第4巻 渦巻ポンプ系におけるウォータハンマー防止法に就いて 昭和28年4月
- ・寺田進：日立評論：第37巻10号 坑内排水ポンプを対象とした水撃防止法の研究と実績 昭和30年10月
- ・寺田進：日立評論 別冊第19号 2200HP炭坑用主排水ポンプ
- ・水口保：日立評論 別冊第19号 最近の上下水道用ポンプ
- ・(株)荏原製作所 資料
- ・(株)クボタ 資料
- ・(株)栗本鐵工所 資料
- ・前澤工業(株) 資料

平成 23 年 2 月 26 日

## 第 9 回会員集会講演② 「ポンプ市場と技術動向」 講演記録

後藤彰・(株)荏原製作所風水力機械カンパニー理事・工学博士に第 9 回会員集会で「ポンプ市場と技術動向」と題してご講演いただきました。

本編は、水を語る会事務局が、講演内容を聞き取り編集したものです。

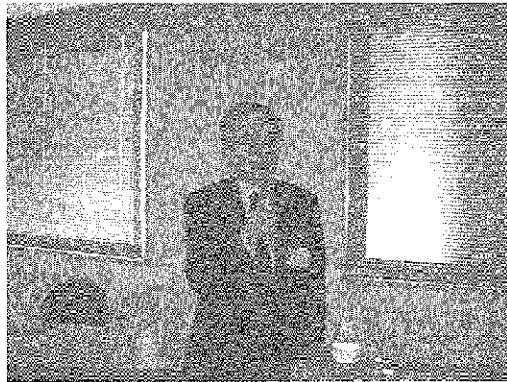
### 荏原製作所での経歴

#### イギリスへの留学

1981年に荏原製作所に入社しまして、中央研究所の流体研究室に配属となりました。何を研究したかですが、ポンプの配管系の圧力脈動を研究しました。

当時は水道でも可変速ポンプで脈動問題が注目されており、そういった分野の研究でした。その後は、送風機等の設計も行うなどで研究者としてしばらくやっていたのですが、1988年からの2年間は海外留学制度を利用していただきケンブリッジ大学で研究をやりました。後ほどお話をしますが、いわゆる流れのシミュレーションの研究、軸流コンプレッサーの内部流れの研究をやってきました。

実はイギリスの2年間の経験というのは、その後20年の私のエンジンになっており、これが当たったから継続してこれたと思っています。本当は水を語る会ではなく、イギリスを語る会ですとかなり語れるのですが、今日とはちょっと違う話題となります。



#### 荏原総合研究所

イギリス留学の後は再び荏原の研究所（荏原総合研究所）へ戻りまして、2002年から2009年まで荏原総合研究所の取締役としてマネジメントをやっておりました。それから、ロンドン大学の先生とソフトウェアを売るベンチャー会社を立ち上げまして、そこは今も取締役になっています。

この期間にやった研究としては、ポンプの不安定特性、部分流量域、流量が少ないところで流量特性が不安定になる現象のメカニズムの解明と制御、流体の設計技術の開発などでした。その後は本社で1年間、当時はやりのライフサイエンスの企画などをやっておりました。2006年からは、現在の風水力機械カンパニーの開発総括部というところで、開発全体のマネジメントをやるという役割になっております。

こうやって自己紹介をご覧になっていただくとおわかりのように、私は特に水道用ポンプの専門家ではなく、どちらかというと流体機械全般に関わりながら、流体分野のかなり限られた領域のことをやってきた経歴となります。

### 本日の講演

本日の講演では、ポンプ全般のマーケットやポンプが社会で果たしている役割などを皆さんに再確認していただきたい。それから技術ですね、私は研究者ですので、ポンプではどのような技術が進んでいるかという当たりをざっくりと紹介したいと思います。

まず最初に簡単に荏原のお話を紹介させていただきます。次にポンプがどういうところで活躍しているか、主にインフラを支えるという切り口で、いくつかの事例を紹介します。その後は世界の動向ということで水を中心に世の中がどう動いているか、それに伴うポンプの世界市場、特に水市場のお話をします。それと最近かなり話題になっております海水淡水化というこの領域ですね、そこで新しいことが起こってきている、特にエネルギー問題がありますが、その辺をお話しします。そして最後に技術開発です、ポンプのこういった事業を行う上で不可欠なのが、現在どういうことが行われているかを紹介したいと思います。

## 荏原製作所と産学連携

### 産学連携で創業した風水力機械の会社

荏原製作所は1912年生まれで100年に近づいていますが、東京大学の井口在屋先生と畠山一清が一緒に企業化した会社です。2009年は5000億円弱の売上ですが、この60%が風水力機械によるものです。

風水力機械とはどういうものかと言いますと、水、オイル&ガス、電力といった分野向けのいわゆるカスタムポンプですね。お客様のスペックに応じてポンプを造っていくポンプ群。それから汎用ポンプですね。いわゆるビルであるとか住宅の給水ユニットに代表されるようなもの、あるいはそこに入る可変速のスマートポンプとよんでいますが、そういうポンプがあります。あとは回転機械でターボ型の冷凍機であったり、コンプレッサータービン、それから単体機器だけではなくてポンプ場もあります。

国内の生産拠点は東京湾周辺、羽田の近くに本社がありまして、房総の袖ヶ浦工場、藤沢工場、一昨年まで羽田工場があつたわけですが、羽田工場はアクアラインを渡って、千葉県の富津工場に移りました。規模はほぼ同じで、大型高圧のカスタムポンプを造る工場です。近くに圧縮機、タービンを造る袖ヶ浦工場がありますので、そこでものづくりのシナジー効果もあります。

従来の羽田工場は非常に古い工場で、ものの流れが混み合っており、新しい設備投資をするにも限界がありました。富津工場ではこの移転を機に、受け入れ、機械加工、組み立て、試験、出荷という流れを非常に合理的に流れる形に直しています。この辺の生産プロセスを革新してリードタイム、仕掛品を半減していく目標を掲げ約1年間オペレーションしているところです。主な市場は、電力、オイル&ガス、海水淡水化、大型の水ポンプ等々になります。

### 熱と誠

私が新入社員に入った時に畠山一清の「熱と誠」という本が配られたのですが、そこに書いてある中で今の我々の行動パターンに影響を及ぼしているものを二つほど持ってきました。

一つは生まれながらにしての産学連携です。東京大学の井口先生と創業したこともありますが、技術第一主義ということで当時20人ほどの町工場で雨漏りも激しくひどい工場でしたが、その当時から工場の一角に水力機械実験研究所を設けて大学の若い先生方がいろいろな実験を行っていた歴史があります。そういうこともありますし、私どもは産学連携や大学の先生とのコラボレーションには今でもかなり力を入れております。

もう一つは市民生活を守るということで、私もこの本を読んで感銘を受けました。当時生きていた訳ではないので、どこまでが本当なのかちょっと分かりませんが、大正10年くらいに地震があり、東京市民200万人の水道の生命線であった多摩川上流の40kmの開水路が断水してしまいました。通水には補助設備が必要でしたがなかなか予算を確保できずにいたところ、畠山一清がポンプを8台寄付して旧神田上水の水路を利用し、新宿まで通水できる設備を作ったと聞いています。大正12年には関東大震災が起こっていますが、その翌日には技術者がそのポンプを運転して揚水を開始し、翌日の午後には東京市の水道が生き返ったということが、この本には書いてあります。産学連携で技術を大切にする。それから我々が作っている製品が市民生活を守るためにものであるというところが、会社の一番大切な部分ではないかと思っています。

### 活躍するポンプ設備

#### 市民生活を守るポンプ

次にどんなところでポンプが活躍しているかをご紹介致します。少し水以外のことも出てまいります。一つ目は安心・安全ということで洪水から市民生活を守る典型的なものを一つ持っていました。これは、東京都の北50kmのところに建設されました首都圏外郭放水路というものです。最近は大雨が降りますと都市型の洪水、つまりコンクリートで地面が覆われていますから、一気に水が排水系に流れ込んで、その能力をオーバーして洪水になることがあります。そこで、東京のなかを流れているいくつかの川を直径10m位の地下放水路でトンネルを掘ってつなげ、一番キャパシティの大きい江戸川へ放水するという設備であります。

ここに入れられているポンプは、一秒間に50m<sup>3</sup>ぐらいの水を吐き出す能力があります。一秒間に50m<sup>3</sup>というと、大体10秒くらいで25mプールが一杯になる位のポンプとしてガスター

ピンで駆動します。洪水ですから水が急激に流れ込んできますので、水が無い状態から動き始め、水が来るのを待っていて、水が来た段階で放水します。非常に過酷な条件で運転されるポンプであります。

### 海水淡水化設備

二つ目は水不足ということで、最近よく話題になります海水淡水化です。幸い日本はそれほど水には困っていませんが、沖縄、福岡など西の方の水対策としては二つの大きな海水淡水化施設があります。そういう所では、高圧ポンプ、エネルギー回収装置といったものが活躍しています。

オーストラリアも実は水不足がありました。1965年から昨年あたりまで水需要が急激な勢いで伸びています。その需要に対して、膜を使った海水淡水化設備が水を供給しています。そこでは、膜に高圧水を送るためのポンプが活躍をしております。

### オイルピークの延命化

次の例ですが、オイルピークへのチャレンジということです。1990年から2030年までの原油のトレンドを見てみます。新しい油田を開発したり、いろいろな技術を使ってオイルのピークを延命させていこうとしています。このような延命時に、実は様々なポンプが使われます。

例えばオイルが無くなってきた時に、油の井戸の中に海水を押し込みまして、その押し込んだ圧力で油を絞り出すようなことを行います。そうしますと水と油とガスが混じった液体がでてきます。それを運ぶための特殊なポンプ。あるいは地上では油が獲れないということで、海の底から油を獲る。そういう時に、海の底で油を獲るポンプ。それから、海上に設備を持っていて海の底からガスを獲るような海上設備でもいろいろなポンプが活躍しています。

実はカナダというのは世界第2位の産油国なのですが、油が地面のなかに染み込んでいる。オイルサンドと呼ばれる低質の油なのですが、それに蒸気を吹き込んで流動化させて、井戸から吸い上げるというプロセスで油を回収する技術があります。そういうところでも蒸気を吹き込むためのポンプであったり、流動化した油を地上に持ってくるためのポンプがあります。要はいろいろな形のポンプを使うことで、初めてオイルピークが延命化していくことができるのです。

### 原子力カルネッサンス

最後は低炭素化社会ということで、一つは原子力カルネッサンスと呼ばれたものを紹介します。

当然原子力発電所の中ではいろいろなポンプが使われています。発電所で出てくる二酸化炭素をもう一度地面の下へ送り込む、CO<sub>2</sub>インジェクション、CCSと呼ばれております技術がありますが、ポンプを使って地面の下へ二酸化炭素を押し込む、そういうところで特殊なポンプが使われています。

このように、いろいろなインフラを支えるところでポンプは活躍しているのです。

### ポンプメーカーが長寿な理由

ポンプ会社の年齢をちょっと違う目線で見てみました。世界のポンプメーカーでは、ITTやグルンドホス、KSB、荏原、フローサーブなどがありますが、こういう会社の年齢を見ますと大体100歳以上の会社です。半導体の会社というのは30年くらいで消滅してしまうと言われているのに比べると、異常に長いわけです。荏原はまだ若い会社ですが、ズルーツは177歳になっているわけです。

何故このように息の長い業界なのかと考えますと、やはり人の生活に欠かせない水とかエネルギーですか、安全・安心を支えているということだと思います。人がいるあるいは人が増えていく、経済成長していく、そういう中で必ずポンプは使われていますので、世の中がどんどん変わっても、こういう基本的なものを運ぶ機械というものは、生きながらえていくことが理由ではないかと思っています。

## 世界の動向

### 世界人口と水需要の変動

次に、世界の動向ということで水を中心に話題提供したいと思います。水というと人口と当然連動するわけですが、これはエネルギー・アウトロックから各国地域の人口変化というものを2006年と2030年で比べたものです。一番上がアフリカで非常に伸びが大きい。次が中国で伸びはそれほど大きくない。インド、その他アジアとなっています。アジア・アフリカが非常に人口の伸びが速いということです。もちろん北米もですね、人口が増えています。これはやはりいろいろなところから人が入り込んでくるということだと思います。日本、ドイツ、イタリアは人口が減少していくと言われています。

経済成長の方を見ますと、国民一人当たりの成長率では、やはり中国の伸び率が非常に大きい。それからインド、東ヨーロッパ、その他アジアというところが非常に伸びがあるということです。当然、人口が伸びますと水の取水量が増えるということで、経済産業省の水ビジネス国際展開研究会から持ってきたものですが、1900年から2000年、20世紀の人口の伸びを見ますと、人口は3.7倍。これに対して取水量は6.7倍。人が水を必要とすることもありますし、経済成長すれば産業用にさらに多くの水が必要となるということで、連動して水の需要が増えているということです。地域別に見ますと2025年にかけて、やはりアジアで世界の60%位の水需要を占めるようになり、2000年頃から2025年くらいまで30%水の需要が増えていく。非常に成長率が高いのは南アジア、中東、北アフリカで、市場規模が大きいのは中国、サウジアラビア、インドといったところです。

### 水ビジネス

確かに世界の水ビジネスは2025年に100兆円と言われていますが、実際は安全な水にアクセスできない人が非常にたくさんいることでかなり偏在しています。そういうところでは、水不足、水汚染、洪水などに対処するいろいろなインフラ系が必要であり、そうしたところにポンプ需要が出てくると理解できます。

最近、新聞等でよく見かける水ビジネス市場ですが、2005年に60兆円だったものが、2025年には110兆円位までいくだろうと言われています。その多くの部分には水道事業、プラント設備系がありまして、我々が取り組んでいるポンプはその中の極めて小さな領域になります。小さな領域ではありますが、その機器・素材の中で1兆円もあるわけです。

この辺りのビジネスはシンガポール、韓国が先行していると思っていますが、私どもの国の活動、海外水循環システム協議会にも参加しております。最近の話題では最先端研究開発支援プログラムでメガトン水プロジェクトというものが採択されています。いわゆるIPS細胞の山中教授のようなノーベル賞級のプログラムが多いのですが、その中の一つに水プロジェクトが採択されており、国の方もかなりこの市場に動き出していると思います。

水ビジネスの事業分野を大きく2つのゾーンに分類しておりまして、一つはボリュームゾーンである伝統的な上下水道分野。もう一つが成長分野、再生水、海水淡水化、工業用水、下水、というところになります。ボリュームゾーンはやはり事業の運営管理というところで、一つ日本が戦っていける分野ではないかという話を聞いております。我々が関連しているポンプ機器の分野というのは、非常に熾烈な価格競争がある分野でございまして、世界に打って出てそこのローカルなポンプサプライヤーと我々が戦うのは極めて難しいと考えています。したがいまして、我々は成長ゾーンのニッチなところで戦おうとしております。例えば海水淡水化、海水淡化といいますと海水腐食の問題がありますし、膜システムでは高圧ポンプが必要です。高圧で腐食があるということになると、なかなかそこを扱える会社がない。5、6社との戦いということで、我々はこうしたところで戦っていこうと考えています。

### 世界のポンプ市場

次にポンプの市場について簡単にご紹介したいと思います。先程お話ししたようにポンプ市場というのは世の中の景気もありますが、必要なエネルギーを水を貢うということで、5%弱の成長率で成長しております。リーマンショックの影響で2009年はかなり伸び率が停滞しましたが、大きなトレンドとしては伸びていくと考えています。

ポンプに対する市場の声はいろいろありますし、開発をやっておりますと市場の声は非常に重

要なのですが、かなり厳しいものがたくさんあります。やはり、アジアの競合メーカーとの価格競争であったり、設備保守要員のスキルが落ちているとか、納期競争力の戦い、あるいは性能価格比アップということなどがあります。

ただし、市場は安全な水のニーズが増えていくということでドライビングホフォースになりますし、電力事情それからエネルギー効率、省エネ、CO<sub>2</sub>削減であるとかクリーンな社会に対するニーズがあります。また、環境規制というのも先進国では非常に厳しいものがあります。そういう中では、やはりより性能の良い機械が求められており、そこに我々の生きる道があるかなと思います。

一方、制約要因としては経済不況の影響をかなり受けました。やはり経済不況の影響でファイナンスがつかないということで、大きなプロジェクトがかなり止まったりしました。それから材料コストの高騰があったり、エンドユーザーがアジア・ラテンアメリカにシフトしたときに、現地の会社との競争などがかなり制約条件になってきます。

それからアメリカ、ヨーロッパ、中東、アフリカ、アジアと分けますと、2008年から2015年の間はアジア市場が伸びており、アジアの成長というものが注目されています。これは市場をセグメントで見たものですが、やはりオイル&ガスと水です。ここがポンプの市場でも一番シェアの大きな部分です。それ以外では建設関係、化学関係、電力関係となります。

市場の伸びでは年間の成長率をセグメントで見たものですが、やはりオイル&ガスというのは成長率が高い。あとは水、電力は全体の平均率を上回って高い成長率を見せてています。ある市場調査結果から水市場を抜き出してみると、水市場は産業用では5000億円、工業系で4000億円の市場規模ということで、併せて1兆円位の市場規模になっています。

市場調査の結果によれば、先進国では環境規制と公共施設の民営化が市場拡大の要素であるとなっています。発展途上国では天然資源に恵まれた国は自立的に市場拡大しますが、その他の国はそれだけの経済力がないということで、国際支援に依存していたり、あるいは水よりも食料の方に投資が優先されるということもあります。なかなか思ったように水インフラが整備されていかないことがあります。

地球の水資源の97%は海水ですが、いわゆる人類が利用できる淡水源は地球の水資源の0.01%しかありません。先程示しました人口の増加、あるいは経済成長で水がどんどん必要になるということで、もちろん全部が全部飲み水というクオリティーは必要ないですが、やはり慢性的な水不足ということで海水に手を付けざるを得なくなつたというのが、ここ何年間かの傾向です。先程、ポンプの市場成長率は5%弱と言いましたが、海水淡化市場の成長率は年率10%位で伸びており、急激に海水淡化の市場が伸びているといえます。

## 海水淡化

### 海水淡化技術の変化

次の話題は伸びが大きい海水淡化市場で何が起こっているか、流体機械、ポンプ屋の目から見たものを少しご紹介したいと思います。

海水淡化技術というのは、大きく分けますと二つあります。一つは熱で海水を蒸発させて淡水を分離する蒸発法。もう一つは膜で淡水を濾しどとるという膜法、逆浸透膜法、RO法が有名です。こちらは1980年から2015年位までの市場の変化を示したのですが、膜法と蒸発法の造水量のトレンドを表しています。過去は蒸発法のポンプを中東地域にたくさん設置しまして、ひとつのブームが起きた時期がありました。その後は蒸発法のビジネスが停滞してきた印象を持っていました。ところがその間、市場では大きな変化が起こって膜法が主流になり、膜法に必要な高圧ポンプが必要とされるようになりました。我が社は福岡、北谷などの海水淡化化プラント向けポンプの実績があったのですが、当時はある意味市場のトレンドを見失っており、今ようやくキャッチアップしようと努力しているところです。

この大きなトレンドの変化が起きた一番の原因というのが、当時の膜法は非常にエネルギーコストが高かったのですが、1990年から2005年の間でエネルギーコストが1/3になったことでした。これで市場における競争力が強まり、急激に膜法の方に市場が移ることになりました。

## RO法と高圧ポンプ

RO法による海水淡水化の構造は、海水から水を取水、前処理をして、高圧ポンプで圧力を上げて、RO膜で淡水を濾しとする方法です。このプロセスで濃縮された海水は高い圧力を持っており、エネルギーがたくさんありただ捨てるのではもったいないので、エネルギー回収をしてから、捨てるというプロセスが典型的なものです。

たくさんポンプがありますが、高圧ポンプというものが、非常に大きな役割を持っております。実は典型的にこのプラントを運用するときに、運用コストの45%位が電力コストになります。電力コストの80%位をポンプや流体機器が消費します。高圧ポンプというのは設備全体の6割位の電力を消費しますので、このポンプの性能、あるいはエネルギー回収が安価に水を作るためには非常に重要であるということになるわけです。そういうインパクトのあるものですから、私どももこういうところに、なるべく良いものを入れていこうと日々努力をしています。

海水淡水化というのは生水を処理するわけで、生水は塩分濃度も海水温度も場所によって違いますし、バクテリアも違うということで、前処理が非常に難しいと長年言われてきました。RO法でもしっかりと前処理された水を送るところの技術が非常に難しいと言われてきましたが、実はここ数年、急激に市場の関心はエネルギーコストの方に移ってきております。

## 容積型エネルギー回収装置

こちらは、高圧ポンプから膜を通して淡水、濃縮海水に分離されるプロセス周りの変遷を示したものです。何もしないで高圧水を捨てれば、エネルギーが無駄になるということで、かつては逆転ポンプであったり、ペルトン水車を回して動力を取り出し、ポンプを少し助けてあげるようなことでエネルギーを結果的に回収するというシステムがありました。ここ数年間でこのタイプのものはほとんど採用されなくなっています。

何が採用されてきているかと言いますと、容積型のエネルギー回収装置が2000年位から登場し、今、主流になってきています。信頼性、プラントの規模などでどうセレクションするかになりますが、エネルギーコストをとことん追求していくのであれば、容積型が主流になってきています。何で容積型の効率が良いのかと言いますと、極めて単純な話です。従来のターボ式は、高圧水で水車を動かし軸を回転させることで、ポンプの動力を助けています。水のエネルギーを一旦は軸のエネルギーに変換して、軸のエネルギーでポンプを動かし、もう一度水のエネルギーに変えています。水、軸動力、水ということで水から軸動力に変換するときに水車の効率、軸動力で統一してポンプで水のエネルギーに変えるときはポンプの効率ということで、かけ算になりますから、どうしても効率が低くなる。典型的に65から80%と言われています。水車の効率が90%、ポンプが90%と仮に仮定しても、そういう効率になってしまいます。

ところが容積型のエネルギー回収装置というのは、水のエネルギーで直接水を昇圧しますので高効率で、効率は93%から97%と言われており、20ポイントから30ポイント高いです。濃縮海水の圧力水でピストンポンプを動かしているイメージです。ピストンポンプと一番違うのはピストンの両側の圧力がほとんど同じ圧力になる点で、ピストンのように片側が高く片側が低いと、漏れがあったり、パースの寿命がかなり落ちますが、それはありません。

## エネルギーコスト

具体的なエネルギーコストですが、1日に20万トンの水をつくるプラントを例にします。トレイン周りの機器では、高圧ポンプのイニシャルコスト、それからポンプの駆動用のモータ、エネルギー回収装置となります。ペルトン水車をつけるとモーターは容量を減らせますので、モータは少し安くなりますが、その分ペルトンポンプの初期投資がかかります。

容積型エネルギー回収装置は結構高い装置でありまして、ポンプの方は容量が半分になるのできなり安くなりますが、トータルのイニシャルコストは高くなります。ところがランニングコストで見ますと、10年間の累積コストではイニシャルから始まり電気代をずっと積算したものをアメリカで計算しましたが1年から3年くらいでイニシャルは全部回収されます。例えばエネルギー回収装置を付けないと、10年間累積でペルトンを付けた場合が13億円、1トレインで9億円位、10トレインだと90億円位電気代が違ってしまいます。ペルトンタービンと容積型エネルギー回収装置の差は少ないのでですが、それでも1トレインあたり1億6000万円位の電気代の差がでます。10年間やれば10トレインで16億円も電気代が違ってきます。容積型エ

エネルギー回収装置というのが非常に重要になってきているという理由がご理解いただけると思います。

このようなエネルギー回収装置は世の中にたくさん出てきております。今もどんどん新しい発明がなされている状態です。プラント市場は急激に造水キャパシティが増えておりまして、20万m<sup>3</sup>/日以上の大きな海水淡水化プラントが主流になっています。北谷が4万トン、福岡が5万トンですから福岡の4倍位のプラントが主流になり、ポンプ、容積型エネルギー回収装置も大型化しています。

### イスラエルのアシュケロン

2005年当時、世界最大と言われたイスラエルのアシュケロンという海水淡水化プラントは、3センター方式と呼ばれる非常に特徴的なセンター方式をとっています。全体は35万m<sup>3</sup>/日の造水量のプラントなのですが全く同じものが二つあります。中にはRO膜のカートリッジを詰め込んだバンクが16あり、それにエネルギー回収装置が付けられています。従来は、1つのRO膜のトレインに対して、1台の高圧ポンプと1台のエネルギー回収装置が付いていたのですが、この方式は3センターということで3つに分割することで流量を束ねてポンプを大容量化し、コストを下げつつポンプの効率を上げることを狙ったプラントになっています。この形にすると造水の運用も非常に良くなると言われています。こういうところに使われるポンプはかなり大きなキャパシティのものが必要なので、チャレンジングな領域になってきます。

## 技術開発について

### メガトンウォーターシステム

最後に、先端研究開発支援プログラムというもので、メガトンウォーターシステムが採用されましたということを簡単にご紹介いたします。これは、世界のトップを目指した先端的研究を推進することにより、我が國の中長期的な国際的競争力、底力の強化を図るとともに、研究開発成果の国民及び社会への確かな還元を図ることを目的としており、内閣府のプログラムとして作られたものです。

中心研究者は東レの栗原さんでして、そのもとでこれだけのプロジェクトが走っております。いわゆる海淡のエレメント、膜モジュールの技術、取水の技術、それから浸透圧発電といって、逆に浸透圧を使って発電しましようというものです。荏原がやっているのは、エネルギー回収の部分です。それから配管については高圧なのですが金属配管ではなく、樹脂製の配管でいかないかと研究しています。そういう技術を組み合わせてメガトン、100万m<sup>3</sup>/日のプラントを建設するような形で全部の技術を統合していこうとしています。

海水淡水化の市場には特徴がありまして、膜の圧力は大体決まっておりませんので、あと流量はトレインの形式ですね、プラントの大きさによって大体の上限と下限が決まります。横軸流量・縦軸圧力でマップを書きますと世の中のニーズが大体決まってきて、特に大型の場合はそうなります。したがいまして、この領域だけで標準化をしてしまおうというのが我々のコンセプトで、そういうところで大型の高圧ポンプを標準化していくということです。これとエネルギー回収装置を組み合わせて、海水淡水化のコアの部分で強い製品を展開し、メガトンのプロジェクトに貢献していくことを考えています。

### ポンプの技術開発

以上、水の市場の流れとか、その中で我々が戦っていけるニッチな海水淡水化の部分で起きていたり話をしましたが、最後にこれらの技術がどうなっていくのかという話を簡単にご紹介したいと思います。

ポンプの構造は非常に簡単で、軸があつて回転しているのですが羽根車が付いており、羽根の回転により入ってきた水の圧力を上げて、吐き出すという構造になります。当然、軸を支えるための軸受であつたり、高圧の水をシールする機構、流路を構成する構造物のケーシングというものがあります。技術としては、羽根とか流路の形を良くして性能を上げてく流体性能の話があり、これは私の専門分野になりますが、そこでいろいろな新しい技術を開発してきました。

それから、海水を扱う場合だと腐食の問題があり、砂などが入りますと砂による摩耗の問題

も出でてきます。大きなポンプをゆっくり回すとお金の高いポンプになりますので、ある程度のスピードで動かしますが、そうなると流速が大きくなりキャビテーションが起こる。キャビテーションがつぶれるときに、エロージョンが起こる。そういう壊食の問題があります。当然、回転体を安全に信頼性高くサポートするためには、シールや軸受に作用する流体の力の評価、安定解析が非常に重要になります。最後は当然高圧水を扱うのであれば、構造的にもしっかりしたものが必要になるので、このような分野で技術を開発していきます。

### デジタルエンジニアリングの進歩

最近、私の分野で何が一番ドラスティックに変わってきたかというと、いわゆるデジタルエンジニアリングとなるコンピュータシミュレーションの世界で、とんでもないことが起きています。

1993年からつい最近までのコンピューターの処理速度ですが、3年で10倍にスピードアップしています。3年で10倍であれば、6年で100倍、10年で1000倍もスピードが速くなります。6年で100倍がどういうことかといいますと、3カ月かかって解析していたシミュレーションが1日でできてしまう、そういう世界です。あるいは1日に1個しか解析できなかったものが、1日に100個も解析できてしまう。そういうといったとんでもないことが、エンジニアリングの世界で起こってきているということです。ここは、ものづくりメーカーとして絶対に譲れないところです。スペコンの国プロで予算削減の議論があり、幸い予算が戻りましたが、そういう世界が起こっています。

スペコンの話は、大学だけの話ではありません。確かに15年前は大学がスーパーコンピューティングをやっていましたが、今は60%以上が産業界で使われています。産業界はみんな自分の計算機を持っており、その機能を公開しているわけではないのですが、公開しているものだけでも相当数あります。一方、大学はすべて公開していますので、当然60%以上は産業界が使っているということになります。

最近はこの中に技術継承の問題が出てくるのですが、やはり従来の技術継承ではとても間に合わない。当然、従来の経験、現場力、あと実績を見るのは大切なのですが、そこにこのデジタルエンジニアリングを組み合わせなくてはいけないと思います。

例えば流れ解析の世界では、大規模なポンプでも丸ごとシミュレーションできるようになっています。軸流型でも実験値と計算値が比較でき、設計点だけでなく締切運転までシミュレーションできるようになっています。羽根が回転すると当然圧力変動が起きて応力の問題が出てきますが、圧力変動を構造解析の方に引き渡して応力評価することもできる世界になってきています。もちろんこうした解析は、ものによって3日から1週間かかりますが、3年後には1日に何ケースもできるようになってくると思います。

### 逆解法

羽根の流体設計は、普通は羽根の形を変えながら実験なりシミュレーションで良い形を試行錯誤してきたのですが、ロンドン大学と一緒に一番理想的な流れの状態を実現する羽根形状をシミュレーションで求めてしまう、そういう理論を作りました。

これは逆解法設計といいまして、私どもの流体設計の基幹ソフトになっています。従来の試行錯誤的な実験から、シミュレーションを使った性能の最適化を図ったものが、今の逆解法というものになります。

### 多目的最適化

シミュレーションによる最適化は、次に紹介する多目的最適化というようにどんどん進化してきています。多目的最適化とはどういうものかといいますと、ポンプの性能カーブにおいて締切の動力を小さくして小型のモータで運用したいとか、不安定なストール特性があるとポンプ機場の運転がうまくできないことがあるが効率は高くしたい、キャビテーションに対するマージンはたくさんとりたいなど、いろいろなニーズに対して最適化を図るものです。

ニーズがいろいろあると実はトレードオフの関係になっていまして、全部を良くすることはできないわけです。ある程度の設計であれば、経験とバランス感覚で設計できるわけですが、究極のところまで追求したいとなると、これはパラメータの数が多くて、なかなか経験ではできない。そこで、多目的最適化という技術を先駆けて構築しました。

どういうものかといいますと、いろいろな設計を網羅的にします。網羅的にしたときに、ここから外には出られないという限界線が見えてきます。値段と性能の限界のところをやろうとすると、新しい手法を使わないといけないということになるわけです。例えば安定な性能が確保されていて、効率が一番よいところを狙いたい訳ですが、この辺りのポンプは極めて安定なのですが性能が悪い。性能が良くて安定しているぎりぎりの所をねらうと、トレードオフができるということです。

最適化ではポンプだけの話ではなく、吸い込み水槽、ポンプを据え付ける取水のレイアウトも非常に大事になってきます。これがうまくいっていないと、水面から空気を吸い込んでポンプが振動するなど問題が起こります。従来、モデル試験を行っていたわけですが、最近はこれらを考慮した解析ができるようになっています。精度の問題はありますが、これから3年後、6年後にはこういう技術がどんどん実用化されていくと思います。

### 隙間腐食

流体の話の次は腐食です。海水腐食これはどうしてもフィールドでやっていかねばならないということで、サウジアラビアの海水淡水化の会社とコラボレーションをして、アラビア湾と紅海で海水腐食の実験をやりました。

フランジの合わせ面のところに狭い隙間で発生する隙間腐食なのですが、ボロボロになっていきます。ステンレス鋼というのは腐食には強いのですが、隙間腐食にやられていくというのが、知られています。こちらの横軸は、いろいろなステンレスの腐食に対する耐力を表しており、高級素材を使えば腐食にもある程度耐えることがわかります。東京湾の水では錆びるのが遅いですが、それに比べると中東の水は温かくバクテリアの作用もあると言われており、非常に腐食性が高いです。こういったところで、材料をリエンジニアリングして価格競争力のあるポンプに仕上げることが大事なことです。その中には、どこで腐食が起こるかシミュレーションする技術なども含まれます。

### キャビテーション・エロージョンの解析

キャビテーションに関しては、様々な研究インフラを構築してきました。東北大、福井大、東京工大の先生方とコラボレーションして、非常にベーシックな翼周りのキャビテーションの研究から実際に回転している羽根車、あるいはフィールド試験のデータなども取り込んでやりました。キャビテーションのシミュレーションでは、性能低下の予測ができる状況になってきています。

また、砂が入るとエロージョンが起こります。黄河の水をくみ上げるポンプを作った時に、黄河の水というのは尖った珪砂が入っているため、デイリーポンプといって一日でポンプの羽根が無くなってしまうと言われていました。向こうの人は、また買えば良いではないかという感覚なのですが、我々は技術でどう対処するのかということでコーティング技術で対応し、大きなポンプを納めたという事例です。

この場合もシミュレーションを使って、ポンプの羽根の入口、出口のこの部分がやられるということを予測して、それを実験と比べると確かに相関がとれるということで、その部分をコーティングしました。この砂に対して強いコーティングをすることと、キャビテーションに強いコーティングとは必ずしも同じではありませんので、キャビテーションの起こるところには、こういうコーティング、砂摩耗が起こりそうな所にはこういうコーティングということで、使い分けるエンジニアリングのため、こうした解析を使っています。

### ローター系の技術

それからローターです。ローターが安定して回るということは極めて大事な訳ですが、実はローターが振動したときに、それを押さえる力がどれだけあるのかというのが、なかなか予測することが難しい。どんなモードで軸が振れるかというのも様々です。軸が横方向に振れる、すりこぎ状に振れるなど、振れ方によって羽根にかかる力が変わってきます。ローターを不安定にする力も変わってきます。そういうことを詳細に検討するため、我々は特殊な装置を作りました。

軸は軸受でサポートしているのですが、二つの半径方向の磁気軸受と一つのスラスト方向の磁気軸受で軸を浮上させてこれを好きなモードで軸を振らす、その時の力を計る設備です。この設備はほとんど世の中にはありませんので、JAXAさんとの共同研究でも使ってています。ロケッ

トのポンプですね。ロケットの信頼性にもこの辺が絡んでいるということで、協力しています。こういう形でローター系の信頼性を担保していく技術があります。

### 構造解析

最後に構造についてお話をします。圧力による変形を評価したり、構造の信頼性を担保しながらコストダウンしていくところで、解析を非常に駆使しております。

それからポンプを機場に据え付けた時に、構造系との関係で振動問題が起こります。これはポンプ自身の振動もありますが、構造側の影響で決まる固有値とポンプの回転数が共振して振動が大きくなることがあります。最近は、この辺もかなりシミュレーションできるようになってきています。もちろん基礎の材質であったり、施工状態がどれだけ設計どおりか、解析で入力する条件自体の精度などの問題はありますが、振動の伝達関数と呼ばれている加振側の周波数を変えていった時に、どこで振動が大きくなるか、こういう評価もできるようになってきています。

最近は、ポンプ機場の上を市民ホールとして使いたい、下でポンプが動いているが上に振動が伝わっては困る、下のポンプが動いていろいろな振動が加振されても上は揺れない、こうした設計にして欲しいという要望があり、こういう建物全体のシミュレーションを行ったりしています。

したがって、どんどん構造解析のニーズは複雑化・複合化していく方向にあります。

### まとめ

そういうわけで、話が細かいところに行ってしまい申し訳ないと思っているのですが、要は私が話したかったことは、ポンプというのは市民生活を支えており経済の発展とともに着実に成長拡大を続けていく、そういう中でしっかりとしたものを作り出していきたいということです。

それから、海水淡水化のように非常に成長率が高い市場というのは、コスト競争が熾烈で納期も短納期なので、世界のへき地にいる日本企業が地球の裏側の中東で勝とうとすると、かなりいろいろなハードルがあるということです。

先程のシミュレーションの話にありました、ものづくり技術を変革していくことに対して、ようやく国の方でお金を投入してくれるようになってきました。いわゆる環境であったり、ライフサイエンス、ナノテクといった一般受けするところだけでなく、ものづくりにかなり投資するようになってきたところがありますので、そういうところで、是非、産学官の連携、この辺を使ってくだんの技術もしっかりと構築しながら、やっていきたいと思っております。

時間をかけて築きあげていくと同時に、やはり短期的にマーケットに良いものを送り出すことをやりながら進んでいかねばならないということです。

最後に市場の声をきちんと捉えて、市場にマッチしたポンプを開発・生産することで、エネルギーや水問題などの地球規模の課題に貢献できれば良いと思いながら、開発を進めています。少し細かいお話になり恐縮ですが、私の方からの話題提供ということでまとめさせていただきます。

ご静聴ありがとうございました。

## 質疑

司会 (中村事務局長)

後藤先生ありがとうございました。せっかくの機会でございますので、ご質問をどうぞ

Q (お茶の水女子大学 海賀氏)

ポンプの先生のお話があるということで参加いたしました。アルキメデスポンプというのをスペインに行ったときに見たのですが、これが日本とか他国で使われていないのか、あるいはそういうものが何故使われるのか、教えていただきたいと思います。

オゾン処理装置の前段でスクリューポンプのように送っているのですが、その特徴、日本にもそうしたものがあるのか、教えてください。

A (後藤先生)

私も観光で行ったときにアルキメデスポンプを見たことがあります、人力で回したり、エネルギーインフラが無いところでも、とにかく水をあっちからこっちへ、低落差、ほんの少しだけ上げたりする目的には、ああしたポンプもあるのかなと思います。ただ、あれを大流量化して高速化してとなりますと、たぶんコスト的に見合わない、市場ニーズにマッチしないようなものになってしまうと思います。

非常に興味ある動きをするポンプなので、なんで水が上がるのか思ったこともあります、いろいろな形態のポンプがありますのでそんなことかなと思っています。

Q (眞柄会長)

今日は大変有意義なお話ありがとうございました。そんなに深刻ではないのですが、三つ質問したいと思います。一つは今いろいろな形でスパコンが進んで、シミュレーションができるようになりました。でも普通の場合、相変わらず試験の水槽を用いて、上がってきたものは必ずテストして出していますね。いつになったら試験水槽が無くなるのか、

A (後藤先生)

確実に試験しなくてはいけない数は減らせると思います。もちろんお客様が立ち会い試験で、その目で見ることも大切だと思います。

例えばポンプの水の圧力であるとか、流量であるとか、仮にシミュレーションで出せると言いましたが、そうであっても、振動はどうなのか、音はどうなのかとなりますと、実際のものを触って、近くで聞いて、そういう立ち会いをして、確認するというプロセスはどうしても必要だらうと思います。

もちろんその分野もチャレンジもありまして、次世代スパコンのターゲットは、振動とか音までも予測しようという話もあります。キャビテーションが起こったらどうか、キャビテーションは相変化なので、音の周波数もずっと高いところにありますハードルが高い。

もちろん10年後、20年後ですね、今の私が会社に入った30年前とはそんなに極端な差はないのですが、今これから30年後は、ものすごい違いがあると思います。そういうものも、シミュレーションできる世界になっていくのではないかと思っています。

Q (眞柄会長)

二つ目の質問ですが、ポンプを回すにはモータがいります。いろいろとお話を伺うと、ポンプ自体は技術の進歩があるのですが、モーターの技術進歩というのは、必ずしもそんなに進んでいないように思います。日本ではのポンプの部分とモータの部分が一体とならないと進まないとと思うのですが、その辺はどんなレベルにあるのでしょうか。

A (後藤先生)

まさにおっしゃるとおりだと思っています。実は汎用ポンプの世界では、モーターの規格に高効率モータ、永久磁石で可変速のハイスピードモータなど、モータ効率が非常に高いものがありまして、アメリカなどでは規格で使用を義務づけているという世の中の流れがあります。

日本もそういう領域が広がっていくかなと思っていますが、大型のカスタムポンプの領域ではまだそれほどドラスティックなことが起こっていないのだと思います。当然、可変速化であり、電気側の技術革新は非常に大事なエリアだと思っています。

Q (眞柄会長)

最後の質問ですが、北谷の時も福岡の時もそうですが、結局はタービン型のエネルギー回収装置を日本のコンサルタントが選んでその中に入っています。北九州の段階で外国のポンプ屋さんは、容積型のエネルギー回収装置を実験施設に入れておられて、その時に私が伺った印象は、容積型はいわゆるタービンや日本の羽根車では対応できないから、もうやらないのだと聞きました。

今日の話を聞くと、荏原さんも容積型を一生懸命にやろうとされています。ということは回るものばかりではなく、ピストンのような押し込みのようなものも荏原さんの新しい技術で展開しようと方向転換をされたという理解でよろしいのでしょうか。

A (後藤先生)

変なことをいうと、営業側がタービンとか、ペルトン水車とか逆転ポンプを売り込もうとしていますので、何だということになってしまいますが、実は両方の意見があります。

エネルギーコスト重視で効率追求、電力コストの高い国などではエネルギーコスト最優先という話になるのでやっぱり効率を追求していくと容積型ポンプという流れになります。

ただ、容積型の機械というのは、一般的な機械のイメージからすると、信頼性、メンテナンス性に問題があります。したがって、どういうニーズかによります。まだ実はターボ型もそういう意味ではもちろん需要がありますし、ポンプとタービンをインテグレートして、一体型にした格好の新しいコンセプトも世の中には出てきています。

我々からすると、ターボ型の世界というのはちょっと変化球ぐらいのイメージですので、いつでも対応できる。ただ、この容積型というのはコンセプトが違いますので、そういうところで研究開発と捉えています。

Q (日本水道工業団体連合会 坂本専務理事)

世の中がCO<sub>2</sub>対策ということで、なるべくエネルギーを使わない装置ができるないかということで、中国はエネルギーを使わない下水処理をやろうといって、中身はお前らが考えろということです。日本でも水のエネルギーのほとんどはポンプ代ですから、それから言いますと今まで神奈川県内でやってきた小田原で取水して上にあげる。大阪でやっている階層浄水場などは今から考えると随分と大変なことだったと思います。水團連も水循環を去年、一昨年やったのですが、ポンプの面では今あるポンプの効率が悪いというので、日立の早稲田さんと相談しながら変えなくてはいかんと言っていました。

お話を聞いていますと、3年経ったらまた良いのができるとなると、どの辺で手を打ったらいののか、ポンプはこれからどうやったら良いのか水道にとって根幹に関わるところですので、その辺を教えて欲しいと思います。

A (後藤先生)

開発系の人間なので心配しながら話さないといけないのですが、例えばエネルギーコストということで効率がどんどん良くなりますと仮にそうであっても、今大型のポンプですと90%くらいの効率で、将来100%になるのかと言えばそうはなりません。ただ、90が91になると、とちょっとしか増えなかったと思うのですが、ロスという面で見ると10%捨てていたものが9%になれば1割のCO<sub>2</sub>削減になります。今は2割削減と大騒ぎしていますが、2ポイント良くすることは可能だと思います。

ある意味で技術の戦いのようなところがありますが、CO<sub>2</sub>削減の面からみると大事なことだと思います。ポンプというのはとにかく水だけでなく化学プラント、発電所など、いろいろなエネルギーを作るところと消費するところのほとんど全部にありますから、1ポイント、2ポイント数えていくことは永遠に続けていかなくてはならないと思います。そのために技術開発も継続しています。永遠に続けていきますので、販売と購入していただければと思います。

あと、こうしたシミュレーションの世界は性能もありますが、信頼性というのもあります。

例えば予算が厳しい中で、今のポンプを延命させるとなれば、今度は補修技術とかそういう話になります。ポンプ機場は今まで容量アップするという話もあります。そういうところで決められた狭いスペースのなかに、大容量のものをどう入れていくか、そういうところで、こうした技術が使われていくと思います。ニーズに合わせて、我々はポンプを提供する能力をどんどん高めているとご理解いただければと思います。

Q (白濱副会長)

いろいろな分野、海外のライバル会社と戦っていると思うのですが、その中で日本が優れている分野、優れている点、あるいは劣っている点、分野はどんなところでしょうか。

A (後藤先生)

私のイメージですと、良い品質のものを出していくのは日本のメーカーは優れていると思います。ただし、良い品質のものが売り先での市場にマッチしているかといいますと、それはなかなか難しくて、いわゆる過剰品質となりますと、ローカルサプライヤーとは戦っていけないということが一番大きいかなと思います。

それからやはり、今もっと大事になっているのは、納めた時はそこそこの値段でそれなりの性能なので良いわけです。ところがやっぱり、当然メンテナンスしないと悪くなってしまいますから、足繁くそこに通わないといけない。でも我々は日本を拠点にしているので、ビジネスをグローバルにやっていると言っても、国内に比べると海外拠点は少ないわけで、なかなかお客様のところに行けない。それに比べると、ローカルの会社なりレトロフィットといいますか、そこだけをビジネスにする会社もありますから、そういうところは足繁く通うことができる。私どもはそういうところとどうやって戦っていくのか。その辺が、結構大変なところかなと思っています。

司会 (中村事務局長)

今日は貴重なお話ありがとうございました。