いのくちポンプ

—近代遠心ポンプのさきがけ—

“Inokuty-Pump” a Pioneer of a Modern Centrifugal Pumps

執筆者プロフィール

石堂 徹
Toru ISHIDO

- 1973年東北大学工学部機械工学第二学科卒業、
(株)荏原製作所入社、現在に至る
- 主として行っている業務・研究
 - ・大型渦巻きポンプの設計・開発
 - ・品質改善活動の維持・促進
- 所属学会および主な活動
 - 日本機械学会、ターボ機械協会、ポンプ国際規格審議会 委員長 (日本産業機械工業会)
- 勤務先
 - 正員、(株)荏原製作所 QA 統括部
(〒144-8510 東京都大田区羽田旭町 11-1 /
E-mail : ishido.toru@ebara.com)

1. はじめに

水を汲むという行為は太古の時代から行われてきた普遍的な作業であった。この作業が人力のみの作業から離れ、少しでも効率のよい道具や装置に変わってきたのもまた、かなり古い時代からであった。

「はねつるべ」はB.C.1500年頃にはエジプトの家庭用井戸に使用されていたし、現在でも下水揚水に使用されているアルキメデスのスクリュウポンプはB.C.200年頃には船底の水の汲み上げに使われていた。こうした長い歴史の中で、16世紀から19世紀までの間に現在使用されている各種のポンプ（ロータリポンプ、歯車ポンプ、遠心ポンプ、タービンポンプ、ネジポンプ等）の原理が発明され、利用されるようになってきた。本稿では、その中で日本から世界に発信した遠心ポンプ（いのくちポンプ）の誕生について紹介する。

図1 実験用に試作された強制渦遠心ポンプ⁽¹⁾

2. いのくちポンプの誕生

いのくちポンプは、1905年に東京帝国大学工学部教授の井口在屋教授が著した遠心ポンプの理論をもとに、その愛弟子の畠山一清（荏原製作所創業者）がこれを製品化したものである。これについては（株）荏原製作所（以下、当社）の社史といってもよい『水と空気』に次のように述べられている。1970年当時の文章なので、いまから43年前に書かれていることを念頭に読んでいただきたい。

遠心ポンプについては、今から二百年以上も前からフランスやドイツで研究されていたが、実用化されたのは、ぐっとくだって十九世紀の中頃、アメリカで造船所のドックで使われたのが最初である。日本では十九世紀の終わりのころから、ボツボツ作られ始めた。しかし、当時はこのポンプの理論が十分に解明されておらず、したがって遠心ポンプの効率は内外品とも非常に悪く、水が揚がれば上等だというような考えに支配されていた。そういうときに、日本の井口博士の研究が発表されたのである。

博士は安政三年の金沢の生まれで、当時、東京帝国大学教授である。つとに水力学の権威として国の内外からその業績を認められていたが、明治三十八年（1905年）、永年の研究を基礎として「遠心ポンプの理論」という大部の論文を発表した。当時のことだから、もちろん英文で

書かれている。遠心ポンプに関するまとまった論文としては、これが実に世界で最初のものである。

そればかりではない。博士はその理論に基づいて、実験用の口径百八十三ミリの遠心ポンプを当時の芝浦製作所で試作し、その実験結果として揚程三十九・五メートル、平均効率六十九パーセントを得た。これは当時としては前代未聞のすばらしい成績である。この実験結果も論文で発表された（図1⁽¹⁾）。

博士の論文は欧米の学者を驚嘆させた。当時の英国の工業雑誌「エンジニアリング」は誌上で博士の論文を紹介し、次のような絶大な讃辞をおくった。

「過去十数年間における学術上の記録は、東京帝国大学の井口教授の研究せられた理論ならびに実験によりて、いかにその祖国を益せしめしかを証するものなり。

千九百五年（明治三十八年）、この明快なる数学家にして機械家たる同教授は遠心ポンプにつきて論述するところあり。これは三百ページにわたる長論文にして、その応用理論きわめて詳悉（しょうしつ）なり。けだし欧米におけるこの種の理論の標準たるべきものなり。（中略）要するに全論文は遠心ポンプの新設計を論じ最も有効なるものなり。ことに、芝浦製作所においてこれをつくり、その試験結果を与うるに至りては、さらにその苦心の惨憺たるを知るに足れり。しかしてその試験の結果、その良好なること欧米において製せるものと同日の談にあらざるを示せり。」

この引用文は、わが国の「機械学

図2 初期のみのくちポンプの断面⁽²⁾ 図3 研究・教材用として井口博士に寄贈されたみのくちポンプ(大正2年)と寄贈者の(株)荏原製作所創業者の畠山一清氏⁽³⁾

会誌」に掲載された訳文を転載したものである。

この井口理論が、わが国はもちろん、外国においても今日まで利用され、遠心ポンプの発達に大きく寄与したのである。

いまから見ればすでに100年以上が経過した理論と実験の見事なコラボレーションであったわけである。(図2⁽²⁾) その後もみのくちポンプの改良・実験は進められた(図3⁽³⁾)。

3. みのくちポンプの理論

井口在屋教授の遠心ポンプの理論に関する論文の概要をここに紹介する。先生の工学関係の論文40篇の内22篇目の論文“Theory of ordinary centrifugal pumps and of a new centrifugal pumps having divergent vortex chamber provided with guide vanes for producing forced vortex”(図4⁽¹⁾)がそれで

- (1) Radiating Current.
- (2) Free Circular Vortex.
- (3) Free Spiral Vortex.
- (4) Divergent Radiating Current.
- (5) Divergent Free Circular Vortex.
- (6) Divergent Free Spiral Vortex.
- (7) Forced Vortex.
- (8) Gain of Pressure Head in Vortex.
- (9) Loss of Head due to Sudden Enlargement of Section.
- (10) Sudden Change of Velocity both in Magnitude and Direction.
- (11) General Theory of Centrifugal Pumps.
- (12) Speed at which Delivery Commences.
- (13) Efficiency and Delivery at a Speed Differing from That of Maximum Efficiency.
- (14) Comparison and Discussion.
- (15) Efficiency and Velocity of Forced Vortex Pump.
- (16) Centrifugal Pumps having Divergent Vortex Chamber without Guide Vanes.
- (17) General Equations for Centrifugal Pumps, Friction being taken into Account.
- (18) Friction in Non-divergent Vortex Chamber.
- (19) Friction in Divergent Vortex Chamber.
- (20) Friction over the Fixed Surfaces of the Pump Casing next the Vanes of the Impeller.
- (21) Frictional and other Hydraulic Resistances offered to the Entrance and Passage of Water into and through the Impeller.
- (22) Frictional and Other Hydraulic Resistances in the Spiral Casing.
- (23) Best Velocity in the Spiral Casing.
- (24) Motion of a Water Particle in a Vortex Chamber without Guide Vanes, Hydraulic Friction being taken into Account.
- (25) The Angle α for a Vortex Chamber of Constant Axial Width provided with no Guide Vanes.
- (26) The Angle α for a Divergent Vortex Chamber, without Guide Vanes.
- (27) Friction in a Vortex Chamber without Guide Vanes.
- (28) Centrifugal Pumps having Divergent Vortex Chamber without Guide Vanes, Hydraulic Friction being taken into Account.
- (29) Impeller Vanes and Guide Vanes made Straight.

図4 遠心ポンプの理論(井口)の項目⁽¹⁾

ある。この論文は章・節などの区切りがなく太字活字の見出しによって29の項目に整理されている。便宜上(1)～(29)という番号を付して説明する。

項目(1)～(16)までがポンプ内の水力摩擦を考えない場合の理論であり、項目(17)～(29)までが水力摩擦およびその他の水力抵抗を考慮に入れた場合の理論である。たとえば(11)では水力摩擦なしとして、羽根車の外周が平行壁によって構成された案内羽根を有しない渦室によって囲まれ、さらにそれがスパイラル・ケーシングに接続されている場合のポンプの理論を説明している。また、(17)以降では水力摩擦を考慮に入れてポンプ性能検討のための理論式が展開されている。そして最終的には案内羽根付き末広がり渦室およびそれに接続する適正に設計されたスパイラル・ケーシングを備えた遠心ポンプについて検討がなされている。こうして、この論文は当時の諸外国の研究を統一的にまとめ、遠心ポンプの損失を体系的に分析

し、理論的に効率を求め、いくつかの場合について設計の良否を検討したのは画期的なことで、その点が外国で高く評価されたものと考えられる。

4. 国産技術の発展

それにしても当時の国内工業生産品はまだ海外の水準から数段遅れていると一般に考えられており、水道のような公共施設ではなかなか国産品の採用には至らなかった。こうした中で日本の遠心ポンプの製造技術は徐々にその優秀性を伸ばしていく。『水と空気』および『荏原』からその抜粋を紹介する。

その頃東京市(当時)の水道は淀橋浄水場の1か所しかなかった。水は多摩川上流から四十キロの長い道中を、開渠で浄水場まで引かれていた。わずか一本の水路に頼っていたのである。そこで大正10年、旧神田上水の水路を利用して新宿まで通水し、ここからポンプで揚水するため、みのくちポンプ8台が応急設備として設置された。

それから二年後の九月一日、あの忌まわしい関東大震災が起こった⁽²⁾。

開渠はいたるところで決壊し、給水は完全にストップしてしまったが、直ちに運転を開始した応急設備は昼夜兼行で揚水し翌二日の午後には東京の水道は蘇ったのである。未曾有の大災害でありながら、わずか一日で水道が復旧し、火災の拡大や悪疫の発生を防ぐことができたのだ。このみのくちポンプの活躍が日本のポンプ技術の優秀性を物語る証左として世界中に報道された⁽⁴⁾。

こうした先人の努力によって、日本の遠心ポンプ事業が国内の隅々まで根を下ろすことができたのである。

20世紀初頭に生まれた近代的な遠心ポンプは、その後種類や形態の多様化、また時代の要請でもある大型化、高圧化、高効率化の要請に応えるべく発達して現在に至っている。

5. おわりに

長い人と水との関わりの歴史の中で、とくに日本が誇る近代の遠心ポンプ理論の誕生とその後の、世界に通用する工業製品として成長する様を紹介した。若い技術者の方々が先人の業績を胸に抱きつつ、さらにその先に一歩踏み出す一助になれば幸いである。

文 献

- (1) 白倉昌明, 井口在屋先生を偲んで, エバラ時報, 186(2000), 3-12.
- (2) 栗林岩雄, 水と空気, (1970), 13-15, 64-72, 日本工業新聞社.
- (3) 畠山一清, 熱と誠, (1965), 64, ダイヤモンド社.
- (4) 経済界「ポケット社史」編集委員会, 荏原, (1996), 55. (株)経済界.