

解説

オーバル社の流量計の歴史*

小澤 貴浩**

History of flowmeters produced by OVAL Corporation

Takahiro OZAWA

キーワード：流量計、オーバル、オーバル歯車、カルマン渦、コリオリ

1. はじめに

(1) 会社概要

当社はオーバル歯車の企業化を目指した加島淳により、1949（昭和 24）年 5 月 10 日に設立され、今年で創立 62 周年を迎える。企業の寿命は 30 年と言われる中、既に還暦を過ぎ、流体計測機器の専業としては古株の企業となった。

現在の会社概要は表 1 に示すとおり、創業時から比べると、企業規模、従業員数共に大きくなり、国際的な企業へと変化してきている。

表 1 会社概要

社名	株式会社オーバル
英文社名	OVAL Corporation
創立日	1949（昭和 24）年 5 月 10 日
資本金	22 億円（東証 2 部上場）
従業員数	632 人（2011 年 3 月現在）
年間売上	110 億円（2010 年度連結）
国内拠点	東京本社、横浜事業所
子会社	11 社（国内 4 社、海外 7 社）

(2) 事業概要

現在、当社は工業用流量計を主力とした流体計測機器の製造販売を主力事業としている。基本的には三つのセグメントに事業を分類しており、①流量計をはじめとする計量計測機器及び関連諸機器の製造販売を行うセンサ事業、②製造、出荷、

検査、分析等のシステム装置の設計、開発、販売、施工及び校正事業（JCSS）を行うシステム事業、③自社製品の修理、メンテナンスを行うサービス事業の 3 本柱があり、主力のセンサ事業が売上の約 6 割を占める。

2. 当社製品の歴史とその仕組み

2.1 オーバル流量計

(1) オーバル流量計の歴史

当社の歴史はこのオーバル流量計と共に始まった。オーバル流量計は、オーバル歯車という楕円歯車を用いた容積流量計であるが、その完成までには幾多の困難があった。

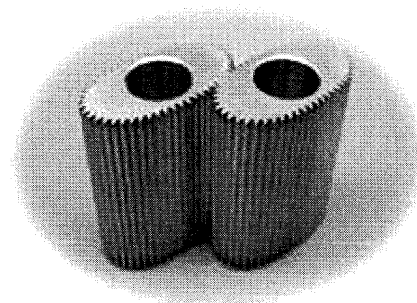


図1 オーバル歯車

元々、オーバル歯車は元日産自動車株式会社社長の村上正輔氏の発明によるもので、ロータリーエンジンのような回転運動によるエンジンへの応

* 受付 2011 年 12 月 26 日

** 〒 236-8645 横浜市金沢区福浦 1-9-5 (株)オーバル 技術部

E-mail: takahiro-ozawa@yk.oval.co.jp

用として考え出された技術である。しかし、高速で回転するエンジンへの適用は日産自動車の優秀な技術者をもってしても実現は難しく、結局実用化には至らなかった。1946（昭和21）年に、当社創業者の加島淳は懇意にしていた村上正輔宅を訪ねた際、「僕のオーバル・ギアを世に出してもらえないだろうか」と言われた。その後、同士と共にオーバル歯車の企業化を真剣に検討し始め、高速回転のエンジンに代わり比較的低速で自転する製品に応用することとなった。当時、村上氏との打ち合わせの中で「ドイツでオーバル歯車を使って流量計を作っている会社があると聞いたことがある」というヒントを得た。早速、特許や使用者を調査してみたが、日本では特許になっていないことが判明した。それなら自主的にオーバル歯車を使用した流量計の国産化をやってみようということになった。初期的試作品から実用性があることを確かめるとともに、研究を進めていたオーバル歯車の歯切り装置の見込みがついたことから、いよいよ会社を正式に立ち上げてオーバル流量計の製作に取り組むこととなり、ついに1949（昭和24）年5月に10名の同士と共にオーバル機器工業株式会社を設立した。今で言うベンチャー企業の走りであり、当時はカタカナの社名は非常に珍しかったようである。

1949（昭和24）年7月には試作品の性能確認に成功すると共に、10台の試作品の性能を中央度量衡検定所（現在の独立行政法人 産業技術総合研究所 計量標準総合センター）の試験により確認し、全て $\pm 0.5\%$ 以内の精度であることが確認され、世界的水準の画期的な流量計として中央度量衡検定所からも折紙が付けられ、計量器業界へのデビューを果たした。そして、1949（昭和24）年12月には商品価値を有する製品として2社に製品が納入され創業以来初の売上を計上した。その後、順調に業績を伸ばし、創業2年を待たずに全国規模でその名を広めることが出来た。その当時の製品を図2に示す。

それ以来62年間、当社の流量計として今でも主力の座を占めている。

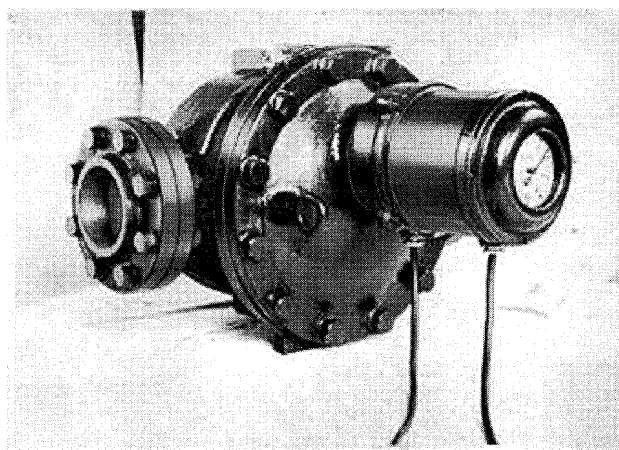


図2 初期のオーバル流量計外観

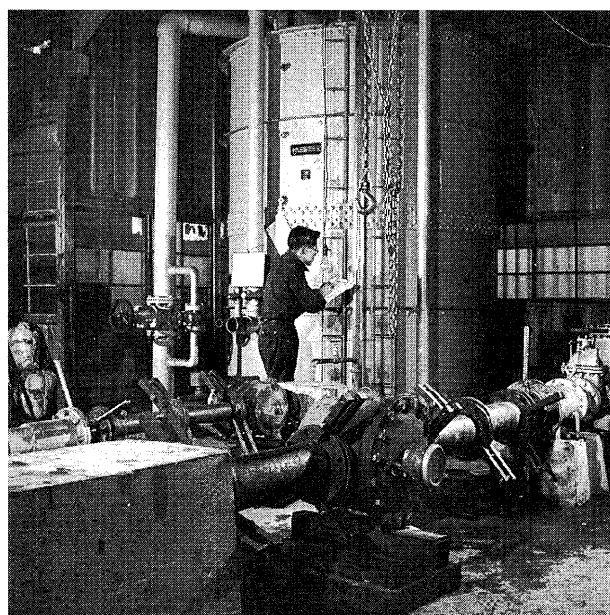


図3 1953（昭和28）年頃の精度検査の様子

(2) オーバル流量計の原理・特長

オーバル流量計は、計量室内に納められた2個の楕円形のオーバル歯車が、流体のエネルギーを受けて回転する（歯車の流入側、流出側の圧力差によって自転する）。

計量室とオーバル歯車に囲まれた三日月形の空間の体積はあらかじめ分っており（図4参照）、オーバル歯車が1回転するときに三日月形容積の4倍の流量を吐出するので、歯車の回転数を計測すれば流量計を通過した流体の流量が計測できる。これがオーバル流量計の計測原理である。オーバル流量計は三日月形の「升」を使って直接

流量を計測することから、実測式と呼ばれ非常に精度がよいことが特長である。

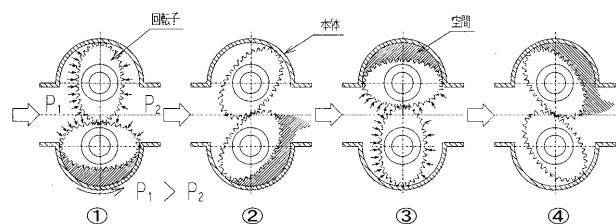


図4 オーバル歯車回転原理

歯車の流入側、流出側の圧力差さえあれば、そのエネルギーで自転して流量を計測することができるため、計測原理としては非常に単純であるが、この流量計を実用化するには、オーバル歯車と計量室のクリアランス（隙間）を極小に保つ高度な設計・加工・組立技術に加え、非円形歯車で安定した回転を持続するための歯形設計及び高度な歯切り加工が求められる。今でこそ、コンピュータを用いた設計や機械加工が可能となり設計や製造の負担は軽減されているが、約60年前の創業時にこれを成し得た当時の技術者や職人達の技術力の高さには感服する。

2.2 渦流量計

(1) 渦流量計の歴史

渦流量計は、渦発生体と呼ばれる物体の下流に交互に発生するカルマン渦を用いた流量計である。図5にカルマン渦発生の様子を示す。

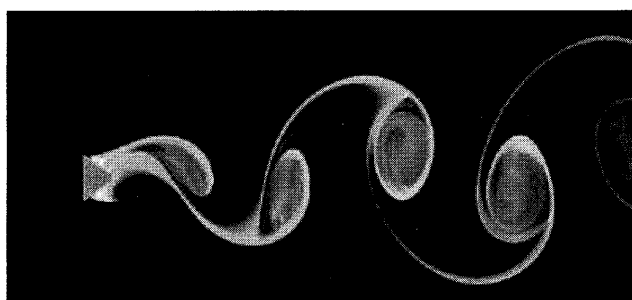


図5 カルマン渦

流体の流れの中に置かれた物体の下流に交互に並んだ規則正しい渦列が発生することを1911年にハンガリーの航空工学者テオドル・フォン・

カルマンが初めて理論的に解明し、この渦列は彼の名にちなみ、カルマン渦列と呼ばれている。

工業用流量計としてカルマン渦の活用は比較的新しく、1968（昭和43）年に、アメリカのアラン・ローデリーにより開発された。

オーバル流量計のような容積流量計は内部に可動部を持つことから、経年変化による定期的な精度確認やメンテナンスが必要であるのに対し、1960年代後半以降、その必要がない流量計の需要が拡大する傾向にあった。そこで当社でも1960年代末から技術導入を活発化させ、アラン・ローデリーが設立したイーステック社から1970（昭和45）年に渦流量計に関する技術を導入し、実用レベルの工業用渦流量計を開発した。導入当時の製品を図6に示す。

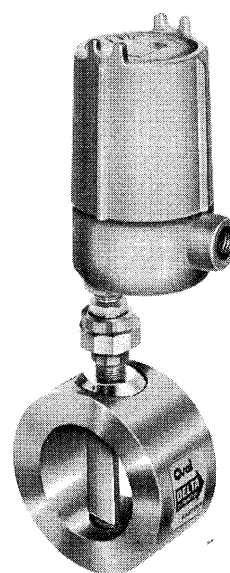


図6 VF形渦流量計

その後、1977（昭和52）年には歪みゲージ式、1982（昭和57）年には圧電素子式など多様な検出方式の渦流量計を完成させている。

当社の渦流量計は、1970年代の環境対策、オイルショックによる省エネルギー対策や石油燃料から天然ガスへのエネルギー転換にも支えられ、1974（昭和49）年にはガス業界で最も権威のある日本ガス協会「太田賞」を受賞することが出来た。図7に当時の表彰状とメダルを示す。

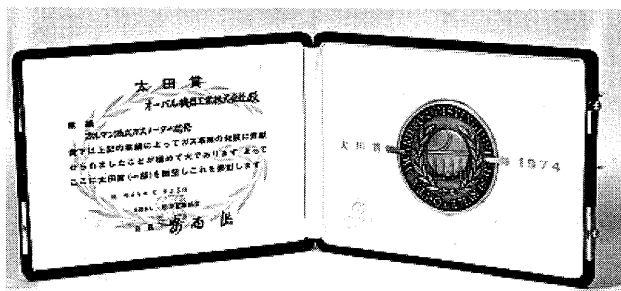


図7 太田賞表彰状・メダル

また渦流量計の応用事例として自動車エンジン用の吸入空気量測定装置（エアフローセンサ）としても実績があり、1979（昭和 54）年～1996（平成 8）年までの 17 年間で 561 万 4 千台の生産実績があり、恐らく渦流量計としては世界一の生産台数と考えられる。図 8 に代表的なエアフローセンサの外観を示す。

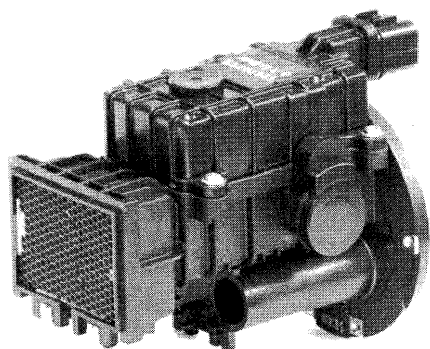


図8 エアフローセンサ

(2) 渦流量計の原理・特長

流体の流れの中に直角に置かれた渦発生体の下流には、前述の通りカルマン渦列が発生する。このカルマン渦の発生周波数と、流速の間には次の関係式が成立する。

$$f = St \cdot \frac{v}{d}$$

ここで、 f ：渦発生周波数

v ：渦発生体通過時の平均流速

d ：渦発生体の幅

St ：定数（ストローハル数）

この関係式から、渦周波数と流速の間に比例関

係があることが分かる。流量＝流速×断面積であることから、渦周波数から流量を求めることが出来る。

渦流量計は、渦周波数のみから流量を求めることが出来るため、流体の物性影響を受けない。このことから、多種多様な流体の計測が可能である。また、可動部がないため耐久性が優れており、長期間安定した計測が出来る特長を有している。

しかし、流量計として使用するためには、流速に比例したカルマン渦が安定して発生しなければならない。したがって、如何にカルマン渦を安定して発生させるかが渦流量計では重要であり、渦流量計の黎明期には安定したカルマン渦を発生させる渦発生体の形状に関する研究が活発になされた。前出のアラン・ローデリーは、カルマン渦をサーミスタセンサの抵抗変化で検出する方法を考案すると共に、センサからの信号（波形）の安定度や良し悪しにより理想的な渦発生体を研究していた。

1989（平成 1）年に日本でも計量研究所（現産業技術総合研究所）や流量計メーカーが協力して理想的な渦発生体の研究が行われ、その結果「標準渦発生体」として理想的な形状が発表されている。驚くことにアラン・ローデリーが設計した渦発生体の形状はこの標準渦発生体に非常に近い形状をしている。標準渦発生体の研究が始まる 20 年前に既にこの形状を完成させていたことを思うと、驚くばかりである。

2.3 コリオリ流量計

(1) コリオリ流量計の歴史

コリオリ流量計は、工業用流量計の中でも最も新しい計測原理の流量計である。この流量計は、フランスの物理学者ガスパール＝ギュスターブ・コリオリにより 1835 年に発見され数学的に証明されたコリオリの力に基づいている。

コリオリ流量計は、アメリカの J・E・スミスが 1974（昭和 49）年に設立したマイクロモーション社により、1977（昭和 52）年頃発売を始めた

マイクロモーション流量計に端を発する。

かねてから、体積流量から質量流量への転換の流れがあったことから、質量流量が直接計測できるコリオリ流量計は注目を集めたが、初期の製品は外乱振動などのノイズに弱く、非常に不安定な製品であった。しかし、1982（昭和 57）年にマイクロモーション社が発売した 2 本の平行 U チューブを使用したマイクロモーション流量計の登場により、性能や安定性が格段に向上し、市場に受け入れられる流量計として認知度が一気に高まった。

その後、各社から同様の流量計が発売されていくが、当社は 1985（昭和 60）年 6 月にマイクロモーション社より技術を導入し、翌年 3 月には全シリーズの国産化を完了した。導入初期の製品外観を図 9 に示す。

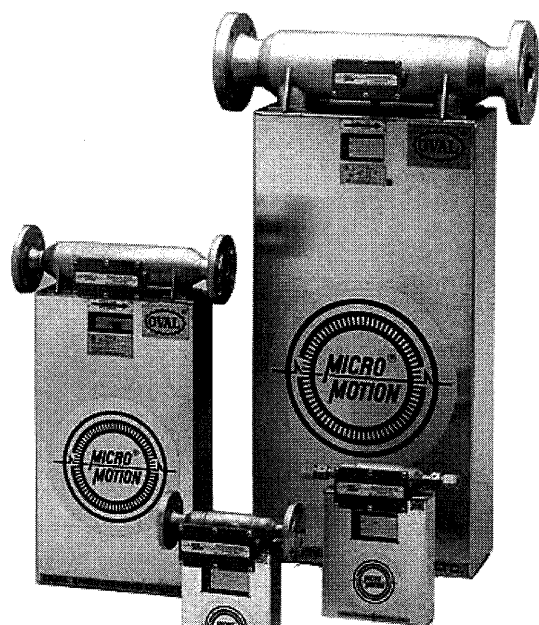


図9 日本への導入初期のコリオリ流量計

その後、1998（平成 10）年には初の完全自社技術による独自のコリオリ流量計 ULTRAmass を開発するまでに至り、現在ではコリオリ流量計に関する高度な技術を有する数少ない国内メーカーとなった。

コリオリ流量計はその登場からまだ 40 年も経っていないが、急速な技術革新、特にエレクト

ロニクス技術の進歩により大幅な性能向上を果たしており、他原理の流量計に取って代わる存在になろうとしている。

(2) コリオリ流量計の原理・特長

コリオリ流量計は、電磁オシレータにて振動させているフローチューブ内に流体が流れることにより、フローチューブにコリオリの力によるねじれが発生し、それを左右の電磁ピックアップで検出する構造になっている。内部の構造図を図 10 に示す。

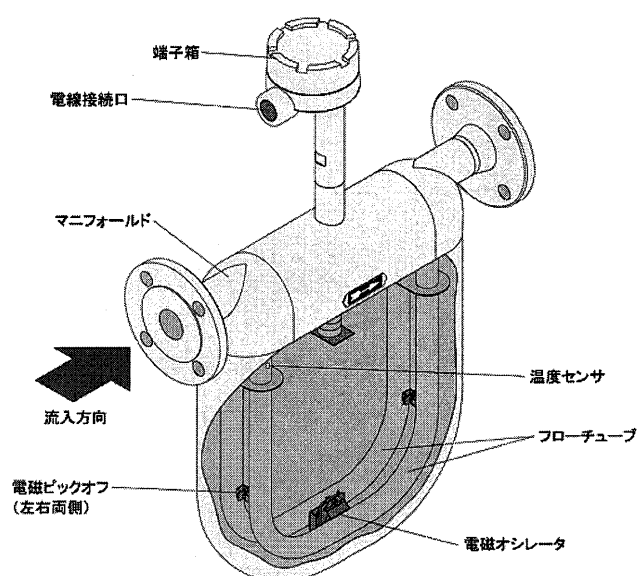


図10 内部構造図

フローチューブのねじれによる左右の電磁ピックアップから検出される位相差が、質量流量と相関があることから、質量流量を検出するという原理に基づいている。

位相差から質量流量が求められると言葉で説明しても、理解が難しくピンと来ないと思われるので、分かりやすく説明するために、図 11 のように流体をバスに見立て、フローチューブ内を流体が流れる様子をバスが走っているものと仮定する。図 10 の内部構造図からも分かるようにフローチューブは U 字型をしているので、流入側と流出側の流れは逆になる。つまり、図 11 の通り、バスの走る方向も反対になる。

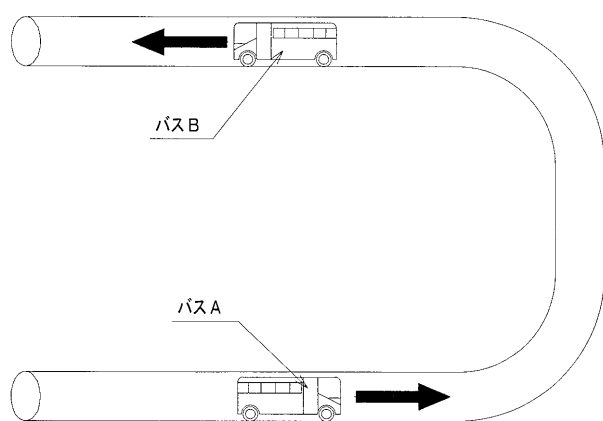


図11 流れの模式図1

フローチューブが何も振動していなければバスはスムーズに走り抜けていくが、電磁オシレータによりフローチューブに振動を加えると、図12-1及び図12-2のように流入側と流出側で逆向きにコリオリの力が生じる。

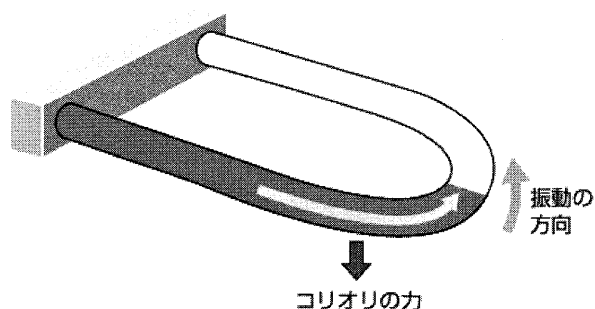


図12-1 流入時の状態

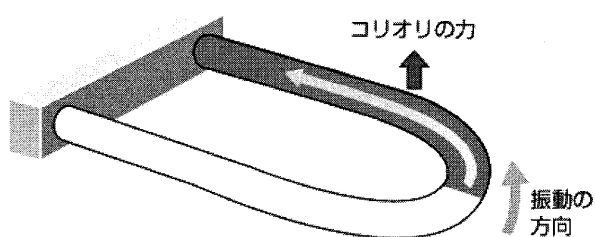


図12-2 流出時の状態

このように逆向きにコリオリの力が生じる理由をバスの例えで説明すると、図13に示すとおり、フローチューブに振動（回転）の力が加わると、走っているバスは慣性力で真っ直ぐ進もうとするので、流入側ではフローチューブに対して下向きの衝突力を生じ、逆に流出側では上向きの衝

突力が生じる。この衝突力がコリオリの力である。これによりフローチューブにはねじれが生じ、図10の左右の電磁ピックアップで、ねじれによる位相差が検出される。バスの衝突力＝コリオリの力は、バスの質量に比例するので、より大きな質量流量が流れるほど大きなコリオリ力が生じ、フローチューブのねじれが大きくなる。したがって、フローチューブのねじれによる左右の電磁ピックアップから検出される位相差から質量流量を検出できるのである。

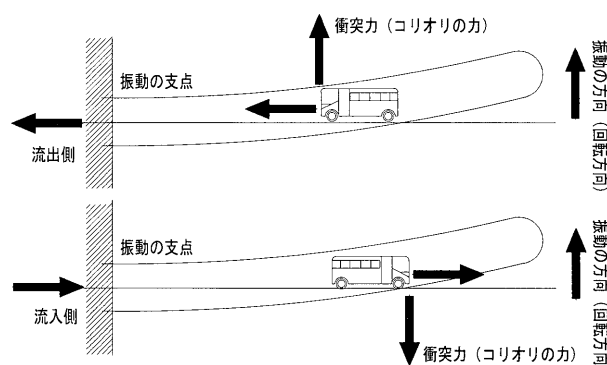


図13 コリオリの力が生じる説明図

また、コリオリ流量計は、フローチューブを共振周波数で振動させているため、振動周波数を計測することによりフローチューブ内流体の密度も計測することが可能というユニークな特長も有する。これは、バネに吊した重りの振動周波数が重りの質量に比例することからお分かりのように、フローチューブの振動周波数は流体の密度に依存するためである。

3. おわりに

ここまで、当社製品の簡単な歴史とその原理・特長について紹介してきたが、最後に将来の展望について簡単に述べたい。

まず一つ目に、石油用流量計から天然ガス流量計への転換があげられる。天然ガスはCO₂排出量が少ないことや資源の偏在がない（国内でも採れる）こと、可採年数が長いことなどから石油から天然ガスへの燃料転換が進むと思われ、それに伴い使用される流量計も変化し、渦流量計、超音波

流量計が拡大していくものと考えられる。

次に、微少流量を高精度で計測できる流量計の需要の拡大である。近年のナノテクノロジーの進歩、拡大は目覚ましいものがあり、それに伴い、計測する流量も微少化しながらも、要求される精度は高精度化しており、これらの要望に応えられるオーバル流量計やコリオリ流量計が伸びていくと考えられる。

最後に、人類最大の課題である温室効果ガスの削減に対し、日本国内では省エネ法の改正に伴うエネルギー使用量管理の強化が行われており、あらゆるエネルギー流体の流量計測が必要不可欠となっている。このような課題に対応できる流量計の開発も急務である。

流量計は、圧力計や温度計と並んで重要な計測器の一つであるが、今後、その重要性は更に増していくと思われる。当社も惜しみない努力を積み重ね、技術革新により省エネ、温暖化防止など持

続可能な人類の発展に貢献できるような流量計を供給していくことが責務と考えている。

謝辞

流量計の歴史については、諸先輩方の文献を参考にさせて頂いた。また、計量史を語る会における基調講演や本寄稿等、非常に貴重な機会を与えて頂いた、日本計量史学会の関係者の方々に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) オーバル五十年誌、株式会社オーバル、1999 年
- 2) 小川胖：流れわざのシルクロード ―流量計測の歴史―、日本工業出版、2006 年
- 3) 白石泰一：コリオリ質量流量計とは コリオリフォースと計測原理、計装増刊 in フィールド、2000 年夏号、16 ～ 21 頁、工業技術社