

解 説

JFPS 学術功績賞を受賞して*

香川 利春**

* 平成 28 年 7 月 19 日原稿受付

** 東京工業大学総合理工学研究科, 〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259

1. まえがき

この度、図らずも日本フルードパワーシステム学会学術貢献賞を戴いた。身に余る光栄と感じる。空気圧に関して圧縮性の扱いによる仕事に対してと考えられるが、その技術に関する単なる解説、自慢話ではなく、その技術に至った経緯を研究途中で話しを含め、紹介する。

著者の圧縮性流体研究は偶然の産物である。プロセス制御を志し、東工大制御工学科を卒業し、計装メーカーのソフトウェア技術部に配属された。仕事の内容はその頃実用に用いられ始めた計算機によるプラントの制御である。制御対象は鉄鉱石の供給量の制御や、脱硫のための水素製造である。いわゆる DDC のカスケード制御系が 5, 6 つに及ぶ制御系のプログラム制御や、チューニングを経験した。北海道のプロジェクトに合わせて、自分が必要であるとの要望を出させ、スキーを持参して、出張を行った事もあった。卒業後 2 年を経過した時点で、研究室からお呼びがかかった。当時の助手は吉田松陰のお兄さんの孫である吉田さんであったが、不幸にして病に倒れてしまった。お葬式は世田谷区若林の松陰神社で行われた。夏の大変暑い時期で、大汗をかいた記憶がある。もっと驚いたのは中曽根康弘氏や三木武夫氏が参列していた。

その吉田さんは同じ制御工学科の 7 年先輩で、流体論理素子、フルイディックスを研究テーマとしていて、著者にも多くの影響を与えた。

1976.5 に東工大制御工学科に助手に採用されたものの、弱小研究室でろくな実験設備もなく、翌年には研究室が無くなってしまった。学生実験で担当するプロセス制御、圧力計測の実験装置のみが利用できる機器であった。

2. 空気の圧縮性

圧力センサのみが実験装置として利用可能で、圧力容器はウイスキーの空瓶を用いて、ひたすらに充填と放出の実験を行った。従来では空気の質量流量を入力として圧力を出力とする場合、質量の連続の式のみの利用で、空気の状態変化はポリトロープとして 1 から 1.4 の不確定性を持っていた。充填の場合は放出に比べてポリトロープ数は明らかに小さく実験データとして現れた。この原因を考えて行くうちに、容器内の流動と熱移動が圧力応答に関係する事が分かり、つぎの等温化圧力容器の考案につながった。

空気は圧縮すると、空気の体積は容易に変化する。水の部分はその体積は殆ど変化しない。これが圧縮性流体の空気と非圧縮性流体の水の性質である。また、ゆっくり押した場合は定常状態であるため、温度の変化は無く、小学生の教科書の問題である。しかしながら、ある程度の速度で押した場合は空気の部分の温度が上昇し、周囲の水面やシリンダ内壁との熱移動が発生する。また水の一部は蒸気となってシリンダの内圧に影響を及ぼす。

圧縮もしくは膨張した空気の非定常状態での平均温度の計測にも大きな研究の山が存在した。温度を計測するには熱電対を用いれば良いが、熱電対の非定常性は明確にはなっておらず、現在ではストップ法と呼ばれる弁を急閉鎖して室温まで待って、平衡状態となる圧力から容器内空気の平均温度を求める方法を新たに提案した。この手法はクレマンゼルメ法として有名な方法で、圧力センサのみで空気の比熱の比を求めるもので、当時東工大 1 年生の基礎物理学の実験テーマであった。空気の比熱比を求めるのではなく、比熱比は既知として、空気の非定常状態の平均温度を求める方法で、次章の等温化圧力容器と通常の容器の温度変化の比較はこのストップ法によっている (図 1)。

3. 等温化圧力容器の提案

等温化圧力容器とは、空気の状態変化を銅などの細線を容器に封入して、圧力変化時の温度変化を抑制するものである。

図2に等温化圧力容器と右図に温度変化を示す。温度変化では空の容器と等温化圧力容器では大きな相違が確認できる。空気の状態変化を等温とする事で、圧力変化のみの計測で容器内空気の質量変化を求めることが出来るため、さまざまな応用が期待できる。

4. 空気圧機器の流量特性の測定

JFPA 日本フルードパワー工業会がまとめ役となり、なり、JFPS 日本フルードパワーシステム学会が協力して ISOTC131 の空気圧委員会において空気圧機器の表示方法と測定方法を提案して、多くの活動の結果、認められた。産学連携の良い例と言える。従来米国では主に空気圧機器の流量特性は非圧縮性流体の C_v 値を使っていた。それに対して、英国バース大学の研究結果を参考にして、空気圧機器に良く合致する表示法を作成した (図3)。

5. 等温化圧力容器を用いた新しい試験方法

4.で示した流量特性の表示にはソニックコンダクタンスと臨界圧力比が必要である。どれだけの流量が流れるかであるので、基本的には流量計が必要である。しかしながら、一点一点計測するのは膨大な時間と労力とエネルギーが必要となる。従来の ISO6358 の測定法と代換測定法を示す (図4)。

6. 流量発生装置の開発

等温化圧力容器を用いて圧縮性流体の非定常流量発生装置が構成できる。上流側を閉塞状態として、下流側に空気圧サーボ弁を設置すると東温タンクの圧力変化より出入りする空気の質量が分かるため、サーボ弁を制御すれば任意の非定常流量の発生が可能となる。図5に試作した非定常流量発生装置を示す。

7. 高応答性を有する流量計の開発

空気圧システムでは非定常な流量の計測の必要性な場合が多々ある。これらの必要性に対して、微細パイプを用いた層流型非定常流量計を提案した。その動特性は非定常流量発生器を用いた。直線性は極めて良く、50 ヘルツまで追従している様子が示されている (図6)。

8. エアパワーメータの開発

空気圧の省エネが求められて久しいが、エネルギーの評価方法が確定していなかった。そこで熱力学法則を用いて、エアパワーメータを提案した。初期型のモデルをしめす。流量、圧力、エネルギー値の表示が可能で積算機能も有している (図7)。

9. 旋回流を用いた非接触搬送装置

旋回流を発生させると中心部に負圧が発生し、物体の非接触搬送が可能となる。これをボルテックス浮揚と呼ぶ。安定平衡点が存在する。回転した流体の中心部で遠心力によって低い圧力が発生する (図8,9)。

10. まとめ

空気圧容器の充填、放出時の圧力応答の差異から空気の状態変化の考察を行い、単なる計算法のみならず、等温化圧力容器の提案、ISO化、JIS化に立ち合わせていただいた。さらに社会のエネルギー評価に対する取り組みから、ISOにおいても同様の動きがあり、10年前に留学生との共同研究が幸運にもそのベースとなった。考えてみれば、空気圧の研究の半分以上は留学生とのともに考え、実験してきた結果であり、今回の受賞は留学生と共同研究者の皆さんのお陰であると考えられる。また学会の先輩方々、フルードパワー工業会の皆様に一方ならないお世話になったことを記して感謝する。

下記に当時の学生、留学生の名前を記して感謝する (敬称略)。

藩護民 (中国)、藤田壽憲、渡嘉敷ルイスロベルト (ペルー)、川嶋健嗣、韓保軍 (中国)、張亜林 (中国)、

船木達也，蔡茂林（中国），ハルスラクサナグントル（インドネシア），王寿（中国），浦田昌裕，黎シン（中国），温井一光，川東孝，竹内智朗，吉田真，藤野健司，荒川正裕，加藤友規（川嶋先生），郭華（中国:南京理工大学李教授）鐘偉（中国:浙江大学陶教授），テチャカセンチャラレマツト（タイ），浅野誠一郎，アリアクペク（トルコ），大川陽一，中尾陽一（川嶋先生），阪本大介，彭傑（中国:只野先生予定）。

著者紹介



かがわ としはる

香川 利春君

1974 年東京工業大学制御工学科卒業。精密工学研究所およびメカノマイクロ工学専攻教授として自動制御・流体計測制御・生体計測の研究に従事。また本学会会長，計測自動制御学会理事，（社）日本機械学会フェロー。

E-mail: tkagawa0256@gmail.com

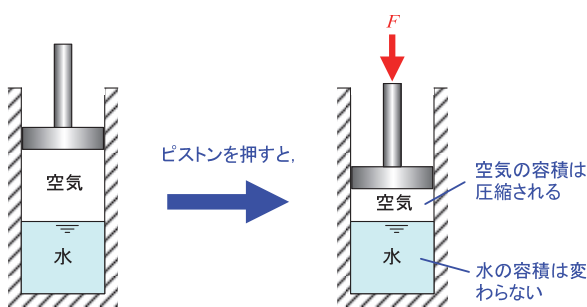
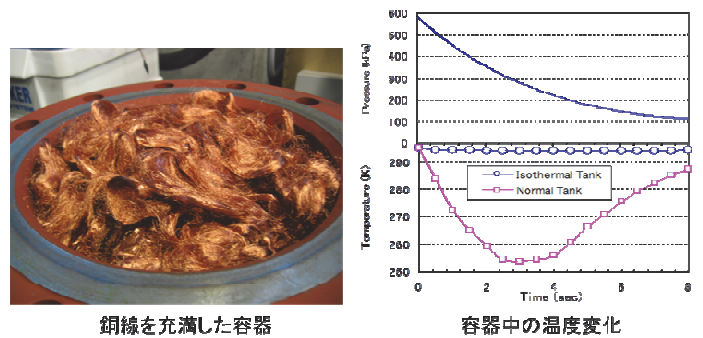


図 1 空気の圧縮性



$$\text{流量の計算: } PV = W R \theta \Rightarrow G = \frac{dW}{dt} = \frac{V}{R \theta_a} \frac{dP}{dt} \propto \frac{dP}{dt}$$

図 2 等温化压力容器



ソレノイドバルブ

チョークの場合

$$G = C \rho_0 P_s \sqrt{\frac{\theta_0}{\theta}}$$

亜音速の場合

$$G = C \rho_0 P_s \sqrt{\frac{\theta_0}{\theta}} \sqrt{1 - \left(\frac{P}{P_s} - b \right)^2}$$

b : 臨界圧力比 (Critical Pressure Ratio)

この値より小さいとチョーク流れになる圧力比 (下流圧力 / 上流圧力)。

C : 音速コンダクタンス (Sonic Conductance)

チョーク流れ状態の機器の通過質量流量，上流絶対圧力と標準状態の密度の積で割った値。

図 3 電磁弁の流量特性の C、B を用いた表示

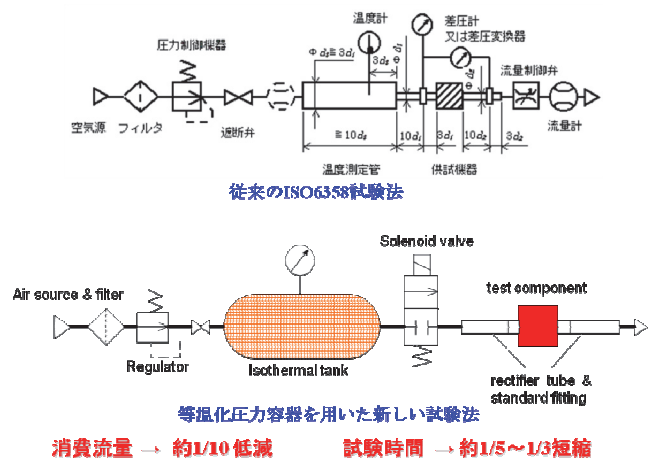
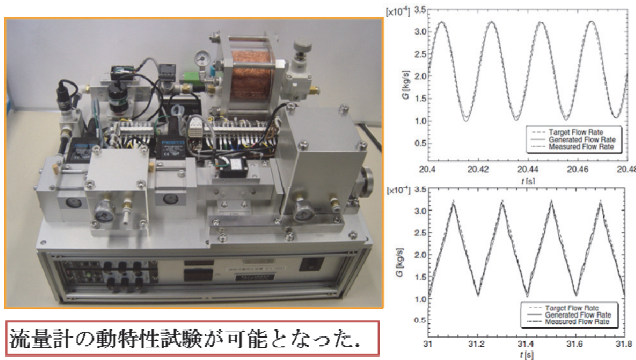


図 4 ISO6358 測定法



流量計の動特性試験が可能となった。

図 5 非正常流量発生器

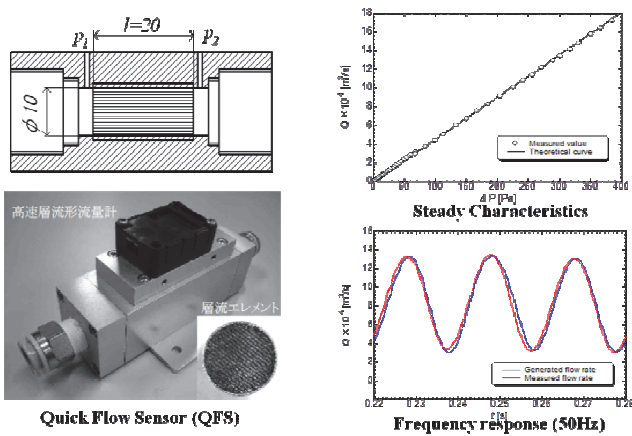
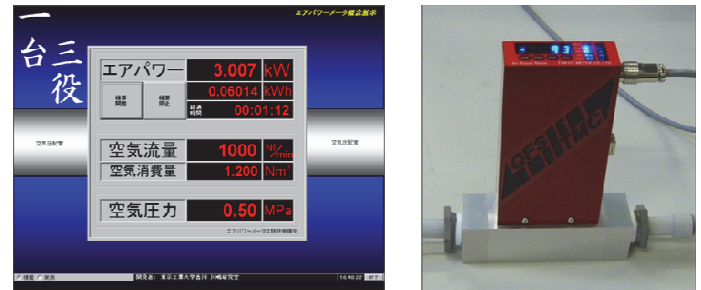


図 6 非正常流量センサ：QFS



1. エアパワー 2. 流量 3. 圧力を同時に計測することが可能。

図 7 エアパワーメーター

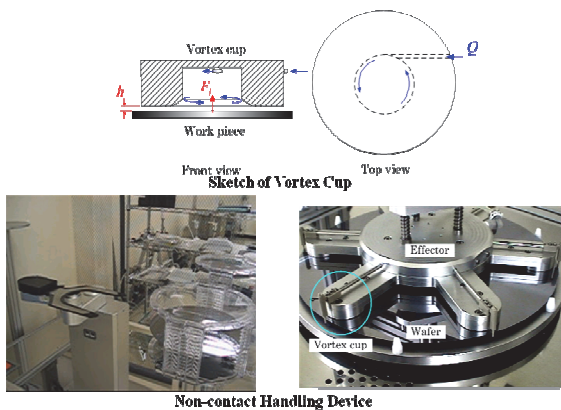


図 8 ボルティックスカップ

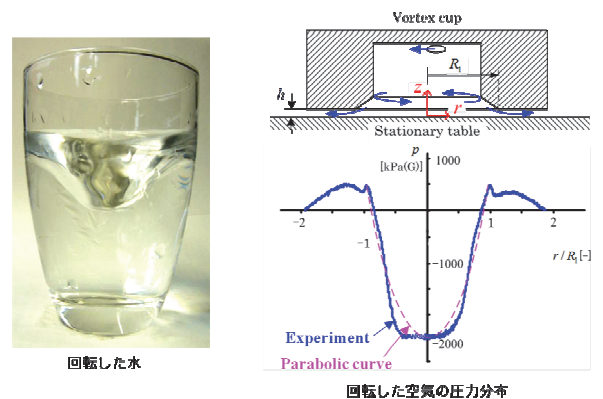


図 9 回転する容器内流体の圧力分布