

調査・研究報告書の要約

書名	平成16年度空気圧システムの高速度精密制御特性に関する調査研究報告書				
発行機関名	社団法人 日本機械工業連合会・社団法人 日本フルードパワー工業会				
発行年月	平成17年3月	頁数	114頁	判型	A4

[目次]

調査研究の概要	1
1. 事業の背景と目的	1
2. 事業の内容	1
はじめに	3
第1章 ラウンドロビンテスト	4
1.1 基準器試験	4
1.2 各種機器試験	10
第2章 等温化放出試験方法の改良	19
2.1 ラウンドロビンテスト出発点における検証	19
2.2 特性計算の改良	22
2.3 銅線充填率が計測結果に及ぼす影響	27
2.4 ポリエステル繊維の等温化性能	31
2.5 グラスウールの等温化性能	34
2.6 等温化タンク用熱媒体の選定資料	38
第3章 ISO会議および海外対策	41
3.1 ISO フランクフルト会議	41
3.2 パースワークショップ	42
3.3 イギリス工業会 BFPA 訪問	44
3.4 フランス工業会 UNITOP 訪問	44
3.5 ISO パリ会議	46
第4章 代替試験方法規格案の再編成	58
4.1 再編成の必要性	58

4.2 ポリトロープ放出試験	65
4.3 等温化放出試験の補償	73
第5章 海外文献の調査	82
5.1 フランス規格：NF E 49-300	82
5.2 フランス論文：タンクの充填および放出による圧縮空気の流量係数の決定	87
5.3 フランスデータ集	90
5.4 ポーランド ASME 文献	106
第6章 外部発表文献	112
おわりに	114

[要約]

油圧・空気圧などの流体エネルギーを機械仕事に変換するシステムでは、流体の流量や圧力を簡単な機構で制御出来ることを特徴としている。しかし、近年電動制御技術の進歩が目覚ましく、油空圧産業分野の一部では、電動化による浸食を受けるようになってきている。油空圧システムがさらに利用されるためには、従来のレベルより数段高い精密な流量(圧力)の制御を行い、システムの性能を高めることが、根本的かつ喫緊の課題である。又昨今は、IC製造装置に見られるように空気圧システムのユーザーの高速化要求が強くなってきており、今後はこの高速・高頻度化への対応が欠かせない重要課題となっている。したがって、本事業では、これらの課題を解決するために、空気圧システムを構成する要素機器単体の性能改善の基本となる応答性を把握するとともにシステム全体の特性を表示可能とする流量特性の試験方法及び表示方法について調査研究を行うものである。既に一部測定法は規格化され、使用されているものもあるが、このような動向に対応するには問題点が多く残されており、空気圧業種の将来を見込んだ要素機器の流量特性表示法や試験方法に関しては、系統的かつ高いレベルでの調査研究は行われていない。

とくに空気圧機器に関する基本的技術基準となるISOの個別機器の規格においては、「供給者の提出する資料は、使用者の個々の用途に対する最適な機器の選定に役立つものでなければならない」と顧客満足を重視してはいるが、概念的な要求事項を規定しているのみである。そこで、ISO 6358(空気圧機器の流量試験方法)の基本概念に則りながら、電磁弁、速度制御弁、管継手及びシリンダなどの機器により構成される空気圧システムの要求性能に対し、正確で統一された基準に基づく特性表示法により各機器の最適な機種を選定を可能にする技術基準を確立すること及びユーザーに対して”使えるデータベ

ース”を提供するとともに、最終的には J I S 及び I S O の改正・制定時に反映させることができるよう諸データを整備することが本事業の目的である。本事業は、空気圧機器・システムの高度化を図ることにより、それらを利用する産業機械及び製造プロセスの高度化を達成する為のものであり、将来的には、規格化、標準化にかかわる問題である。

2. 事業の内容

まず、昨年度の成果を踏まえ現状の整理と解決すべき課題の抽出し、課題解決のための方策の検討及び追補試験の実施するとともに種々の流量測定法（流量法・充填法・放出法）について、ラウンドロビンテストを実施し、整合性及び誤差のフィールドデータを採取し、規格制定のデータベース化を図る。

さらに、規格普及のための空気圧機器の特性表示方法と試験方法の技術基準の作成及び各要素機器の J I S 改正原案検討及び I S O 6 3 5 8 改正提案のための準備計画を作成する。併せて特性表示方法と試験方法に関する文献資料調査を行う。

平成 1 6 年度は、平成 1 5 年度“空気圧機器の特性表示方法と試験方法の規格化に関する調査研究”事業の成果を基に、下記内容に関する調査研究（試験を含む）を行い、空気圧各要素機器の J I S 及び I S O 規格の改定を推進するとともに、空気圧システムの高速精密制御に適合する技術基準を確立する。

(1) 各流量特性試験方法の整合

ラウンドロビンテスト実施

課題抽出と改善策

(2) 等温化放出法の充実

等温化性能のフィールドテスト

等温化装置の安全・耐久性、低価格化の方策の検討

計測・データ処理のプログラム作成

(3) 高速精密制御への適用基準の確立

特性表示法と試験法の技術基準の作成

システム特性計算のガイダンス

(4) J I S 及び I S O 規格改正の推進

I S O 規定書式の提案書の作成

I S O 国際会議出席、審議対応

日本案の各国 I S O 委員・各国工業会へプレゼン活動

はじめに

平成16年に社団法人日本機械工業連合会から社団法人フルードパワー工業会に「空気圧システムの高速度精密制御特性に関する調査研究」が受託され、これを受けて同工業会では調査研究委員会を設置し、次に示す項目について調査研究を行った。

先ず本報告書第1章においては、ISOに提案する等温化放出法と簡易放出法の代替試験法としての実用性を確認するために行ったラウンドロビンテストの試験結果を報告する。ラウンドロビンテストが基準器と各種機器を供試機器とし国内で4つの大学実験室で行われ、その結果から、等温化放出法と簡易放出法では安定した計測結果が得られることが確認できた。

次いで第2章では、従来に提案した等温化放出法による計測結果のばらつきなどから、等温化放出法の改良必要性を示す一方、その改良方策を検討している。まずは特性計算による不具合を考察しその修正手法を提案して、実測例に適用した後の有効性を示している。その後、充填材のコストや飛び出し、耐久性などの実用上の問題を取り上げ、充填率の引き下げ、ポリエステル繊維やガラスなどの非金属充填材の使用を検討している。

第3章では、ISO会議およびISO規格化事業を推進するための海外対策を述べている。

第4章では代替試験法規格案の再編成についてその方向性を述べている。第5章ではISO規格化事業に関連した資料を紹介している。大口径機器を試験対象とした放出法のフランス規格、可変オリフィスの流量特性を検討しているフランスのデータ、圧力比によってチョーク流れの流量が変化すると主張するASME文献を添付している。

第6章では、本調査研究で発表された文献をリストしている。

以上要するに、圧縮性流体を駆動媒体とする空気圧機器の流量特性表示とその簡便かつより精度の高い計測法についての調査研究が行われ、有益な結果が得られた。

第1章 ラウンドロビンテスト

先ず第1章においては、ISOに提案する等温化放出試験と簡易放出試験の代替試験方法としての実用性を確認するために行ったラウンドロビンテストの試験結果を報告する。ラウンドロビンテストが基準器と各種機器を供試機器とし国内で4つの大学実験室で行われ、その結果から、等温化放出試験と簡易放出試験では安定した計測結果が得られることが確認できた。

1.1 基準器試験

1.1.1 試験状況

(1) 検証対象とする試験方法

ISO 6358rev-1：インライン試験

ISO 6358rev-2：等温化放出試験

ISO 6358rev-4：簡易放出試験

(2) 試験目的

幾つかの実験室で同一試験方法によって得られた試験結果のばらつきを確認する。

基準であるインライン法と試験結果を比較することにより、代替試験方法である等温化放出試験、簡易放出試験の有効性を確認する。

(3) 試験期間

2004年8月～11月

(4) 試験者

沼津高専の黒下研、東工大の香川研、日工大の寺島研、足工大の桜井研

(5) 供試機器

下記の同一の機器が試験者の間に回され試験された。

3ポート直動形電磁弁

固定オリフィス（穴径 4.02mm）



図 1.1.1 電磁弁の試験回路



図 1.1.2 固定オリフィスの試験回路



第2章 等温化放出試験方法の改良

本章では、等温化放出試験による計測結果の偏り・ばらつきの発生について、試験方法の改良必要性を示し、その改良方策を検討している。まずは特性計算による不具合を考察しその修正手法を提案して、実測例に適用した後の有効性を示している。その後、試験装置のコストに関係する充填材の充填率の低減、ポリエステル繊維やグラスウールなどの非金属充填材の試行と選定基準について検討した。

2.1 ラウンドロビンテストの出発点における検証

第1陣ラウンドロビンテスト供試品について、先頭ラボの試験結果が出た時点で、今後の改良点を予測するための予備検証を試みた。個体の異同は不明だが、同一品番の機器について、平成14、15年に実施した流量測定試験結果を基準データに見立てて、比較した。

2.1.1 音速コンダクタンス

図2.1.1に音速コンダクタンスの比較を示す。等温化放出試験による C_{id} は、 C_f が1.5以上では、ほとんどが流量測定試験による C_f より小さい方へ偏りがある。偏差は、ほぼ+10~-20%の範囲であり、回帰直線は-10%程度、すなわち比例係数は1以下の様相である。機器の種類および試験方法(インライン/大気排気)による特異性の有無までは窺えない。

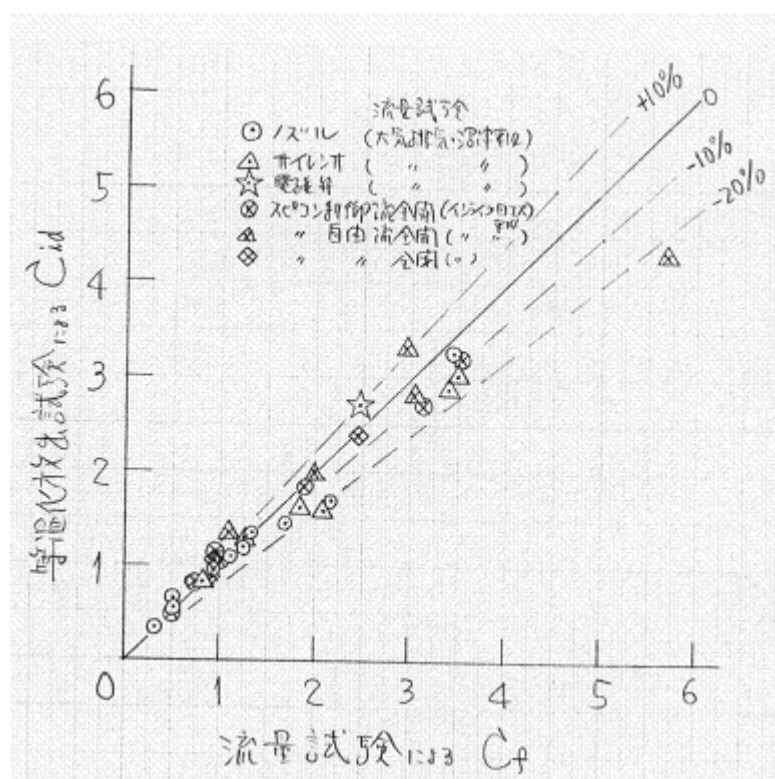


図 2.1.1 音速コンダクタンスの比較

2.1.2 臨界圧力比

図2.1.2に臨界圧力比の比較を示す。等温化放出試験による b_{id} は、ばらつきが非常に大きく、ほとんどが流量測定試験による b_f より小さい方へ偏りがある。偏差は、ほぼ0~-0.2程度で、回帰直線は、-0.1を超える様相である。機器の種類および試験方法(インライン/大気排気)による特異性の有無までは窺えない。

第3章 ISO 会議および海外対策

本章では、ISO における規格化を推進するための海外対応について述べている。ISO フランクフルト会議およびパリ会議、イギリスおよびフランスの工業会訪問、バースワークショップにおける論文発表の状況と結果を記録した。

3.1 ISO フランクフルト会議

日時：2004年5月13日(木)PM、5月14日(金)AM

場所：VDMA 会議室

出席者：米、独ら十数名、日本：高橋浩爾（上智大学）、小根山尚武、蔡茂林

議長：John Berninger（Parker Hannifin、米国）

3.1.1 関係文書

- 1) Pneumatic fluid power-Components using compressible fluids-Determination of flow-rate characteristics Part 1: General rules（改正素案第1部 - 基本通則）
- 2) Part 2: Isothermal discharge method（改正素案第2部 - 代替試験方法 - 等温化放出試験）
- 3) Part 3: Vacuum charge method（改正素案第3部 - 代替試験方法 - 真空充填試験）
- 4) Part 4: Simple discharge method（改正素案第4部 - 代替試験方法 - 簡易放出試験）

3.1.2 経緯

（1）ミルウォーキー会議（2003-10-01）：SC5/WG3において、ISO 6358:1989「空気圧 - 圧縮性流体用機器 - 流量特性の試験方法」の改正を図るべく、2003-08に開催された FLUCOME'03 における発表論文3篇に基づいて、日本提案の趣旨を発表した。基本的な了解が得られ、主要国委員で構成される特命委員会が設けられた。

（2）特命委員会（2003-11～2004-01）：各国委員から寄せられた質問と提供文献に対し、3篇の回答書を提出した。4部からなる規格改正素案を作成し、2004年3月に特命委員会へ提出した。

3.1.2 議事

（1）ISO 6358 規格改正素案の説明（5月13日 PM：ISO/TC131/-/WG4 会議の追加議題）

第1部：基本通則、第2部：代替試験方法 - 等温化放出試験、第3部：代替試験方法 - 真空充填試験、第4部：代替試験方法 - 簡易放出試験からなる改正素案を、43葉のパワーポイントを用いて、小根山と蔡が説明した（添付参照）。強調点は、以下の通りである。

第1部は、ISO 6358:1989の直接的な改正に該当し、まず、すべての機器に高精度に適用できる流量特性表示式を拡張定義した。また、インライン試験と大気排気試験の2つの流量測定試験の結果が良く一致するように試験方法を改良し、かつ各種の機器に適用できるように試験回路を改良した。

第2部から第4部は、空気タンク内の圧力応答を利用する新規な代替試験方法であり、大容量の空気圧源を必要としない、大型の機器にも容易に適用できる、エネルギー消費量が少ない、試験時間が短いなどの長所を有する。第1部の流量測定試験方法に比べて、1

～10%のエネルギー消費量、1/4～1/2の試験時間である。

第4章 代替試験方法規格案の再編

本章では、3つのPartで構成した代替試験方法の規格案について、不整合性を分析して、完成度を向上させるための再編成の方向性を示し、着手した試行について報告している。

第5章 海外文献の調査

本章では、ISO規格化に関して、海外から提供された資料を紹介している。大口径機器を試験対象とする放出試験方法を規定したフランス規格とその根拠論文、可変オリフィスなどの流量特性を収録したフランスのデータ集、圧力比によってチョーク流れの流量が変化すると主張するASME文献を抄録した。

5.1 フランス規格：NF E 49-300

NF E 49-300 : Methode de caracterisation des coefficients de debit pneumatique par vidange de reservoir (Septembre 2000). (タンク放出による空気流量係数の特定方法) .

5.1.1 要約

この規格は、ISO 6358: 1989の見直し所見として、ISO/TC131/SC5/WG3 N 348 (2004-09-15) 文書において、フランスから情報提供されて始めてその存在が明らかになったものである。大きな空気圧源を必要としないで大口径の機器の試験を可能にし、ISO 6358:1989を補完する目的の代替試験方法を規定するものである。これは、圧縮空気を充填したタンクから大気へ放出するときの空気の状態変化を利用する試験方法であり、日本の規格改正提案のPart 2、4と類似する。

NF E 49-300と日本提案とは、試験装置、手順および試験作業に相違点がある。この規格の記述の厳格さ、空気の状態変化をポリトロープ変化として扱うこと、積分法によりデータ処理を行うことなどについて検討し、包含的に日本提案を改良することが必要である。

5.1.2 試験装置

(1) 試験回路

NF E 49-300の試験回路を、図5.1、図5.2に示す。日本提案との主な相違点は、以下のようである。

インライン機器と大気排気機器の2つの試験回路を規定しており、インライン機器の場合の開閉弁Gは供試機器の下流に設置する。日本提案は、開閉弁を、供試機器の上流に設ける回路に統一した。これは、インライン機器と大気排気機器を等価の回路で試験し、試験結果の整合度を高めるため、および開閉弁をタンクと一体の固定設備として試験作業の利便性を高めるためである。なお、開閉弁のポートサイズは圧力測定管の内径の2倍以上としているが、これは日本提案における、供試機器の推定コンダクタンスの5倍以上と同レベルであろう。

ISO 6358:1989 と同様に、圧力測定管を供試機器の上流・下流に接続し、圧力を測定する。日本提案は、供試機器に整流管を接続し、タンク内の圧力を測定する。

非常に低露点（ - 40 ）のエアドライヤを使用する。これは、熱電対への結露・結氷を防ぐためとしている。日本提案は、供給空気の湿度について言及していない。

線径 10 μm 以下の非常に微細な熱電対を用いる。これは、放出途中の温度を測定し、特性計算に使うためである。日本提案は、整定温度を測定するだけなので、温度計の仕様を特定していない。

第6章 外部発表文献

本章では、本調査研究に関して、外部へ発表された文献をリストしている。

本委員会における調査研究に関連して、平成 16 年度に外部へ発表した論文および報告を一覧する。

- (1)小根山：空気圧機器の流量特性に関する規格化事業(第1回) JFPA「フルードパワー」、(2004年7月)、pp. 5/11.
- (2)小根山：空気圧機器の流量特性に関する規格化事業(第2回) JFPA「フルードパワー」、(2004年10月)、pp. 3/10.
- (3)高橋浩爾：ISO/TC131 フランクフルト会議報告、JFPA「フルードパワー」、(2004年7月)、pp. 12/14.
- (4)小根山,高橋,最上,長岐：空気圧機器の流量特性に関する規格提案,平成16年度春季フルードパワーシステム講演会講演論文集,(2004年5月),pp. 121/123.
- (5)張、妹尾、小根山、叶：等温化タンクの開発、平成16年度春季フルードパワーシステム講演会講演論文集,(2004年5月),pp. 115/117.
- (6)妹尾、張、孟、小根山：空気圧機器の流量特性に関する系譜、平成16年度春季フルードパワーシステム講演会講演論文集,(2004年5月),pp. 118/120.
- (7)孟、張、小根山：空気圧機器の合成流量特性に関する研究、平成16年度春季フルードパワーシステム講演会講演論文集,(2004年5月),pp. 124/126.
- (8)寺島、寺田、中島、小根山：空気圧機器の流量特性評価法について(小径接続機器の流量特性)、平成16年度春季フルードパワーシステム講演会講演論文集,(2004年5月),pp. 127/129.
- (9)黒下幸信、黒下清志：空気圧機器のハイブリッド流量特性試験法、平成16年度春季フルードパワーシステム講演会講演論文集,(2004年5月),pp. 130/132.
- (10)T. Kagawa, M. Cai, K. Kawashima, T. Wang, T. Nagaki, T. Hasegawa, N. Oneyama: Extended representation of flow-rate characteristics for pneumatic components and its measurement using isothermal discharge method, Bath Workshop on Power Transmission and Motion Control, 2004

(11)K. Kuroshita, Y. Sekiguchi, K. Oshiki, N. Oneyama: Development of new test method for flow-rate characteristics of pneumatic components, Bath Workshop on Power Transmission and Motion Control, 2004, pp. 243/256.

(12)K. Kuroshita, N. Oneyama: Improvements of Test Method of Flow-rate Characteristics of Pneumatic Components, SICE Annual Conference 2004 in Sapporo, 2004, pp.147/152.

(13)妹尾、張、小根山 尚武：空気圧用配管の流量特性に関する研究(第2報)、平成16年度秋季フルードパワーシステム講演会講演論文集,(2004年11月),pp. 212/2



この事業は、オートレースの補助金を受けて実施したものです。