

|         |                         |
|---------|-------------------------|
| 氏 名     | 清 水 顯<br>しみず あきら        |
| 学位の種類   | 工 学 博 士                 |
| 学位記番号   | 論 工 博 第 801 号           |
| 学位授与の日付 | 昭 和 50 年 7 月 23 日       |
| 学位授与の要件 | 学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当 |
| 学位論文題目  | 側壁付着形流体素子に関する基礎的研究      |

論文調査委員 (主 査) 教授 花房秀郎 教授 明石 一 教授 森 美郎

### 論 文 内 容 の 要 旨

純流体素子の中、デジタル素子である側壁付着形素子は、アナログ素子では避けられない SN 比やドリフトなどの問題をもたないため、その実用化が最も進んでいる。しかし、この素子内の流れは剝離渦域を伴う付着噴流で、その厳密な流体力学的取扱いは困難である。また素子設計のための特性解析法についても多くの研究が行われているが、なお検討すべき点が多い。

本論文は、側壁付着形流体素子内の流れを理論的ならびに実験的に検討し、また素子の特性解析および設計について考察した結果をまとめたもので、2部13章からなっている。

第1章では、素子の基本構造、動作原理から素子内流れを検討することの意義を明らかにし、この流れの研究の歴史的考察、問題点などを概説している。

第2章では、制御流がない場合の付着噴流を運動量理論により解析している。ここでは、特に低圧域によってできるノズル出口流速分布の非一様性、付着点上の流速分布、およびノズル縦横比の流れの擬二次元構造に与える影響を考慮している。計算結果は、付着距離、低圧域平均圧力、および近似噴流中心線に関して実験結果と比較され、この解析手法によって噴流挙動が十分把握できることを示している。

第3章では、制御流を加えたときに見られる主噴流と制御流との干渉を、付着側壁がない場合について調べている。干渉領域内の主噴流と制御流、および干渉領域下流の合成噴流の各流速分布を、干渉領域の圧力や主噴流の偏向角などの関数として近似的に与え、運動量理論により解析している。計算結果は、干渉領域内の圧力、噴流の偏向角および流速分布などに与える制御流の影響について、種々の形状に関する実験結果と比較され、解析手法の妥当性を示している。

第4章では、制御流のある場合の付着噴流を、第2章および第3章で示した手法を応用して解析している。計算結果は、付着距離、近似噴流中心線、干渉領域内の圧力および低圧域平均圧力に与える制御流の影響について、種々の形状に関する実験結果と比較考察され、解析手法の妥当性を示している。

第5章では、付着噴流挙動に与えるベントの影響を実験的に検討し、噴流付着点がベント上流近くにあ

ると低圧域が収縮すること、付着点がベントに達すると付着点はベントを飛越し低圧域が急膨張することを明らかにし、これらの現象の解析手法を示している。解析では、収縮に関しては付着点下流における噴流の流れ方向が側壁面に沿わないこと、急膨張に関してはベントより低圧域へ流入する流れを考慮している。

第6章では、付着噴流挙動に与えるスプリッタの影響を実験的に検討し、スプリッタが低圧域を収縮させること、およびこの収縮はスプリッタと付着側壁とからできる流路内の圧力低下が付着噴流の低圧域にまで及ぶときに起こることを明らかにしている。このような効果は素子特性上望ましくないが、ベントの併用によりこの効果がほとんど除かれることを示している。特に、スプリッタ先端がベント近傍に置かれた場合、付着点のベント飛越しによる低圧域の急膨張を考慮すると、スプリッタによる収縮は実質的にはないと見なせることを明らかにしている。

第7章では、以上の結果をまとめるとともに、素子内流れの解析手法を確立したことを述べ、第1部の結論としている。

第8章では、素子特性の定義を述べ、必要な特性を持つ素子形状、寸法を決定することが素子設計であるという立場から、特性解析の意義について述べるとともに、特性解析法の歴史的考察、問題点などを概説している。

第9章では、次元解析により、主噴流レイノズル数が十分大きければ、素子の静的特性が主噴流総圧および流量により無次元化された圧力と流量との関係として与えられることを示し、その間の関数関係を種々の素子形状に関して求めることが特性解析であるという一つの立場を述べている。

第10章では、付着噴流の反対側壁への切換え現象を実験的に詳細に調べている。切換えの際の流動様式から、(i)両壁付着切換え、(ii)スプリッタ切換え、および(iii)壁端切換えがあり、(i)および(ii)は反対側領域の圧力分布の一樣性が損われたとき、(iii)は噴流付着点が付着側壁端から離れたとき発生することを明らかにしている。(i)では噴流の反対側壁への接近が同領域の圧力変化の主因となり、(ii)では反対側流路への分流がその主因となることを示している。通常素子形状では、噴流付着点がベント上流側壁端から離れても、壁端切換えは厳密には生じないが、付着点のベント飛越し後の付着噴流が両壁付着切換えあるいはスプリッタ切換えの発生条件を満たしていれば、静的には壁端切換えとして扱えることを示している。またこのような擬壁端切換えの発生するベントとスプリッタとの相対的位置関係を明らかにしている。

第11章では、通常素子の切換えに関しては両壁付着切換えおよび壁端切換えを検討すれば十分であることを示し、これら二つの切換えの発生条件を定式化し、実用上十分な切換えの解析手法を確立している。特に壁端切換えに関しては、壁端に噴流付着点が近付いた場合の挙動をも考察して解析している。

第12章では、素子の性能評価法を概説し、素子の静的入力および出力特性に基づいて素子設計を行う手法を述べている。まず素子設計の立場から、出力特性の重要な特性量となる回復圧力について実験的に検討し、回復圧力が高くなるという意味で最適なベントとスプリッタの相対的位置関係を与えている。このような相対的位置関係を持つ素子の入力特性に関しては、スプリッタの影響を実質的には考慮する必要のないことを明らかにしている。このとき、素子の側壁のオフセット、側壁傾斜角、ベント距離、ベント幅、および制御ノズル幅など素子形状が噴流挙動に与える影響は上述の方法によって計算できる。従って、必

要な切換え制御圧力，切換え制御流量，および回復圧力を持つ素子が設計できる。各種の実用素子と比較した結果，以上の設計法が実用的にも十分妥当であることを示している。

第13章では，第2部の結果をまとめるとともに，本論文が実験的試行錯誤によらない直接的素子設計，あるいは素子特性改善に十分寄与することを述べ，本論文の結論としている。

### 論文審査の結果の要旨

側壁付着形流体素子は，フルィディクスにおける代表的素子であるが，その特性に関して検討がなお不十分であり，素子設計も試行錯誤でなされているのが現状である。本論文は，側壁付着形流体素子の特性解析と設計に関するもので，素子内の流れを系統的かつ詳細に解析することにより，付着噴流の挙動および素子の特性を明らかにするとともに，素子設計の指針を与えたものである。本論文で得られた主要な成果は次の通りである。

(1) 素子内の主噴流と制御流の干渉領域を検査面として，両噴流の干渉問題を運動量理論を用いて解析し，合成噴流の流速分布と偏向角，干渉領域の圧力などを求め，実験結果とよく一致する結果を得た。従来の解析では，合成噴流の偏向角が，主噴流と制御流の運動量平衡で定まるという立場でのみ噴流の干渉を考慮していたもので，本論文の結果は素子特性の詳細な解析に有用であるのみならず，拘束噴流の干渉問題を解析する手法を提供するものとしても価値がある。

(2) 付着噴流の解析では，流速分布は自由噴流と同様であるとした解析手法が従来用いられてきた。しかるに噴流の付着，あるいは主噴流と制御流の干渉によって，主噴流ノズル出口の圧力分布が変化し，主噴流の噴出速度は一様分布ではない。また付着点は流れの分岐点であり，この点での流速分布は自由噴流と著しく異なったものとなる。これらの影響のほか，主噴流ノズル縦横比の流速分布に与える影響をも考慮して付着噴流の挙動を解析し，実験値ともよく一致する結果を得た。

(3) 素子としての機能上必要なベントおよびスプリッタの付着噴流に与える影響を明らかにした。すなわち，ベントおよびスプリッタは付着渦を収縮させる効果のあること，制御流を与えた場合に，噴流がベントを飛越して再付着する場合のあることを実験によって明らかにし，これを理論的にも説明した。さらに素子の切換え特性，および出力回復圧力に関して，最適なベントとスプリッタの相対的位置関係のあることを示し，従来ほとんど直観的に設計されていたベント，およびスプリッタに関し，理論的ならびに実験的な設計指針を与えた。

(4) 付着噴流の切換えには，両壁付着切換え，スプリッタ切換えおよび壁端切換えの三種の型があり，これらの切換え過程における噴流の挙動および切換え条件を実験によって明らかにした。さらに実際上重要な両壁付着切換えおよび壁端切換え過程における噴流の挙動を定式化し，実験値ともよく一致する解析結果を得た。従来ほとんど定性的な説明に終始した切換え現象を詳細にかつ定量的に解明したことの意義は大きい。

(5) 以上の解析結果を基礎とする素子設計法を示した。すなわち切換えに必要な制御圧力，制御流量，および回復圧力が与えられたとき，従来のような実験的試行錯誤によることなく，素子の主要な形状が理論的に決定されることを示した。現在実用されている素子について，その形状および使用条件をこの方法

による結果と比較することにより、この設計法の妥当性を示している。

以上要するに、本論文はフルイディスクにおける代表的素子である側壁付着形素子について、素子内の流れを詳細に検討して、複雑な噴流の挙動を明らかにするとともに、所要の特性を有する素子の理論的設計手法を確立したもので、学術上、実際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。