

噴射ノズルに関わる研究開発及び技術開発

業務主任者 圓山 重直 東北大学流体科学研究所 教授

研究要旨

先端の噴射ノズルの研究開発および技術開発は、本研究の重要な鍵である。噴射口の形状は、より高密度の扇形のスリット噴射を可能とするフラット型を基本形状とし、スリット噴射を可能とするスリットサイズを流体力学的な計算式から求めた。再委託先の(株)モリタ製作所にて試作を重ね、ラーク除去能試験や、各種数値的解析、流体シミュレーションを行い、さらに改良を重ねた。また飛散したプラーク回収のため、バキューム吸引口を噴射ノズル先端に装備し、併せてエアアシスト孔を具備することで、装置の除去能の効率化を図った。

A. 研究目的

効果的なプラーク除去を可能とするために、より高密度の扇形のスリット噴射を可能とするスリット形状、およびサイズを求め、ノズルの基本形状を確立することを目的とする。また、各種数値的解析や流体シミュレーションにより、プラーク除去の原理を明らかにすることで、除去能の効率化を図ることを目的とする。さらに、飛散したプラーク回収のため、バキューム吸引口およびエアアシスト孔を噴射ノズル先端に装備し、将来の臨床応用を見据える。

B. 研究方法

a) ノズルの形状とサイズの決定

従来の市販されているフルコンタイプではなく、より高密度の扇形のスリット噴射を可能とするフラット型を基本形状とし、サイズは流体力学的な計算式から求めた（図1：再掲）。

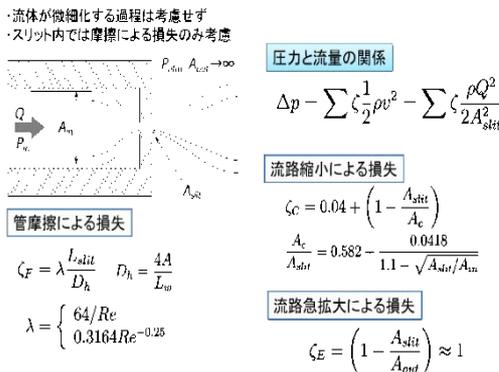


図1：ノズル形状と流体の関係式

b) プラーク除去能試験

人工プラークを付与した顎模型（一筆塗り5分乾燥）に対し、噴射角度、噴射距離を一定として、

ミス噴射条件（流量、吐出圧）を変化させ、除去面積からプラーク除去能を判定した（図2：再掲）。

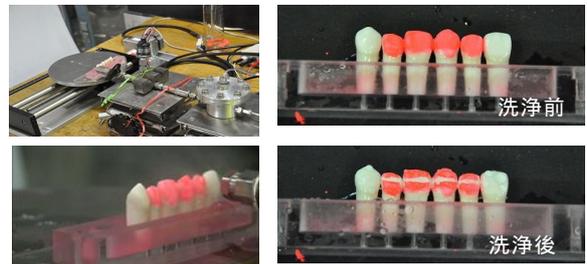


図2：プラーク除去能試験モデル

c) バキュームおよびエアアシスト孔の装備

将来的な臨床応用を見据え、ノズル先端部に並行して、バキューム吸引口およびエアアシスト孔の装備、小型化を図った。すなわち、バキュームは飛散したミスやプラークの回収、エアアシストはプラーク除去能の効率化を期待した。

孔のサイズ、角度は予めシミュレーションを行うことで最適化を図り、試作につなげた。

d) 実験的・理論的解析

歯科ミス洗浄特性シミュレーションシステムを構築した。ミスの物性データ（弾性率、ポアソン比、比重）およびミス噴射条件（角度、速度、滴径）を設定し、歯学研究科から提供される歯、口腔粘膜、プラーク、の物性データを加え、in Vitroにおけるプラーク除去能の最適な条件を検索した。

ミス衝突前後の界面（口腔粘膜、歯）の応力分布および生体反応に関して数値的・実験的解析を重ねるとともに、微小領域にわたる高速運動の流体の可視化を図り、プラーク除去の原理について

て検証した。

f) データの妥当性の検証

実験的・理論的解析から蓄積されたデータと、シミュレート化されたデータの比較を行い、データの妥当性を検証し、プラーク除去効果、プラーク除去の原理の解明を試みた。

C. 研究結果

a) ノズルの形状とサイズの決定

想定される吐出圧の範囲でミスト噴射が可能なのは、 $W:0.05\text{mm} \times H:0.25\text{mm} \times D:1.00\text{mm}$ 、または、 $W:0.03\text{mm} \times H:0.30\text{mm} \times D:1.00\text{mm}$ 付近であった。また、これらのデータから、スリット幅がより小さいほど、より小さい吐出圧で効果的なミスト噴射が可能であった（図3：再掲）。（株）モリタ製作所に再委託を行い、 $W:0.02\text{mm}$ 以下のスリット幅を作成する技術について検討を重ねた結果、 $W:0.02\text{mm} \times H:0.30\text{mm} \times D:0.20\text{mm}$ の微細な縦型スリットおよび、エアアシスト孔（ $\phi 0.8\text{mm} \times 2$ 個）を有する矩形ノズル（T6）の作製に成功した（図4：再掲）。

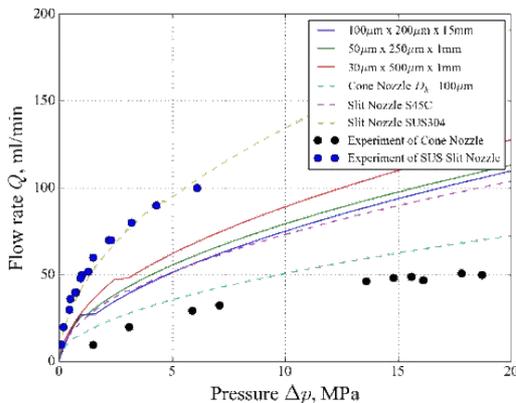


図3：ノズル形状および吐出圧と流量の関係



図4：（株）モリタ製作所による試作ノズル T6

b) プラーク除去能試験

各種ノズルを用いたプラーク除去能試験の結

果を示す(図5：再掲)。市販品1.8V（フルコンタイプ $\phi 0.1\text{mm}$ ）と比較して、試作ノズルT4（スリットタイプ $\phi 0.13\text{mm}$ 、エアアシスト無し）およびT6（スリットタイプ $\phi 0.02\text{mm}$ 、エアアシストあり）は、小さい吐出圧で市販品1.8Vと同等以上の洗浄効果が得られた。またT6において、「エアアシスト有り」のほうが、「エアアシスト無し」よりも著しく良好な結果を得た。

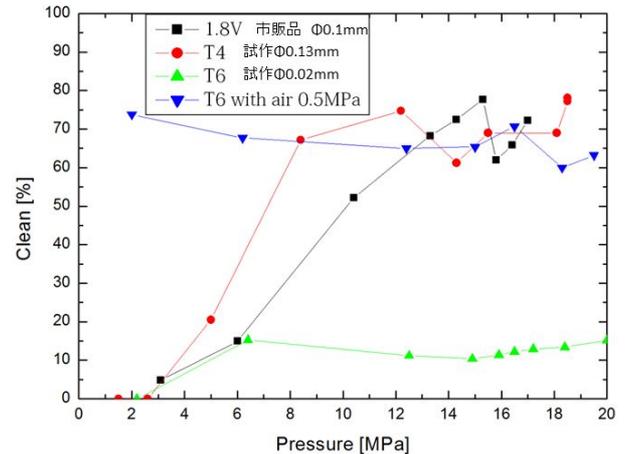


図5：各種ノズルを用いたプラーク除去能試験

c) バキュームおよびエアアシスト孔の装備

現在、バキューム吸引口を装備したノズルによるプラーク除去能、ミストの回収率をシミュレーションし、その効果について検証中である。

d) 実験的・理論的解析

これまでの予備実験の結果から、被噴射体表面の液膜の存在が、洗浄効果の低下に繋がる可能性が示唆されたことから、数値解析を行った結果、厚さ $10\mu\text{m}$ の液膜の存在下で最大圧力、最大相当応力が減少、材料表面の濡れ性による減衰効果が認められた（図6：再掲）。

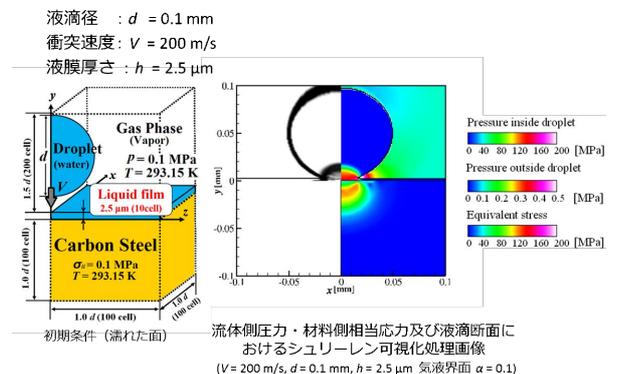


図6：濡れた材料表面への高速衝突現象

e) データの妥当性の検証

T6において、「エアアシスト有り」のほうが、「エアアシスト無し」よりも著しく良好な結果を得たこと、被噴射体表面の厚さ $10\mu\text{m}$ の液

膜の存在下で最大圧力、最大相当応力の減少を招くことは、これらのデータの妥当性を示した。

#### D. 考察

スリット幅がより小さいほど、より小さい吐出圧で効果的なミスト噴射が可能であることが示唆された。今回作製されたφ0.02mmのスリット幅のノズルは、現行ではこれ以上の作製が困難であり、本設計を基本特性として改良を重ねた。将来的な技術革新によりよりスリット幅の小さいノズルの作成が可能となれば、臨床応用を見据え、操作性、安全性の面からも検討していく。現状では他の噴射条件の最適化を図ることが重要であると考えられる。また、液膜の存在が最大圧力、最大相当応力の減少に繋がり、プラーク除去能の低下に繋がっていることが考えられた。これは、試作ノズルT6を用いたプラーク洗浄試験において、「エアアシスト有り」の方が、「エアアシスト無し」に比べて除去効果が高かった結果と一致した。すなわち高運動エネルギー状態のミストが起こす、剪断破壊や披露破壊が、プラーク除去に繋がると考えられるが（図10）、データはこの仮説と一致した。

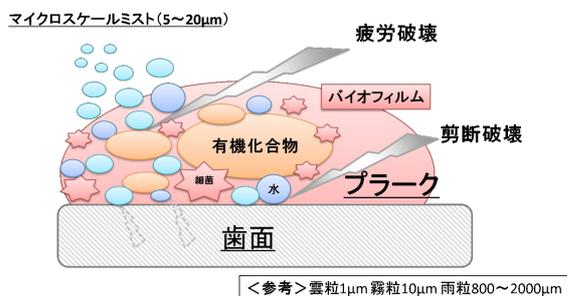


図 10：マイクロスケールミストによる  
プラーク除去の原理

口腔内は基本的には湿潤で、湿度が保たれている環境であり、被噴射体表面に存在する液膜の存在をどうするかが、今後の課題であると考えられる。そのひとつに、エアアシストの存在は有効であると考えられ、今後さらに噴射角度、噴射圧等に関して検討を行っていく必要がある。安全性に関しては、ミスト粒子は極めて低質量であり、衝突圧は0.05MPa以下で測定が困難である。そのため歯や歯周組織、口腔粘膜へ為害作用を及ぼさずに口腔プラーク除去が可能であると考えられるが、今後更に安全性に関して、歯学研究科とともに、生物学的な安全性を含め更に検討を行っていく必要があると考える。

#### E. 結論

従来のウォータージェットに代表される高圧

洗浄とは全く異なる原理で、プラーク除去を可能とする技術を開発し、臨床応用を見据えて研究を重ねた。設定される圧等は工業用ではなく、実際の歯科医療現場で設定されるもの、あるいはそれ以下であり、安全性も高い装置と考えられた。

#### G. 研究発表

特になし

#### H. 知的財産権の出願・登録状況

総括に準じる