霧のいけうち（ベトナム）　研修報告書
VVP ノズルの寸法と噴霧性能の関係性評価による品質改善提案

先進理工系科学研究科　輸送環境システムプログラム　入鹿　颯太

1. はじめに

日系企業はこれまで，人件費の高騰や少子高齢化による労働力不足を背景に，海外展開を進めてきた．かつては，多くの企業が中国に生産拠点を設け，中国が「世界の工場」としての役割を担ってきたが，近年の中国国内の賃金上昇や米中間の貿易摩擦などにより，生産拠点としての優位性は薄れつつある．その結果，新たな生産拠点としてベトナムをはじめとする東南アジア諸国が注目されている． このような背景のもと，私は将来海外で働くことを視野に入れており，本プログラムを通して環境や国柄の違いを考慮した仕事の進め方や，日本人技術者の実際の働き方について理解を深めたいと考え，参加を決意した．本プログラムでは，世界的なスプレーノズルメーカーである株式会社いけうちのベトナム工場にて，主力製品の一つである VVP ノズルの品質改善に関する研修活動を行った．

2. 研修課題の決定

2.1 背景と課題

研修先である IKEUCHI VIETNAM CO.,LTD.（以下，いけうちベトナム）では，多種多様なスプレーノズルを製造している．今回の研修では，その中でも扇形に開き山型の流量分布で液体を噴射する「VVP ノズル」の製造工程を対象とした（Fig.2）．この VVP ノズルは，洗浄，散布，冷却など幅広い用途で利用される主力製品である．



Fig1. IKEUCHI VIETNAM CO.,LTD.

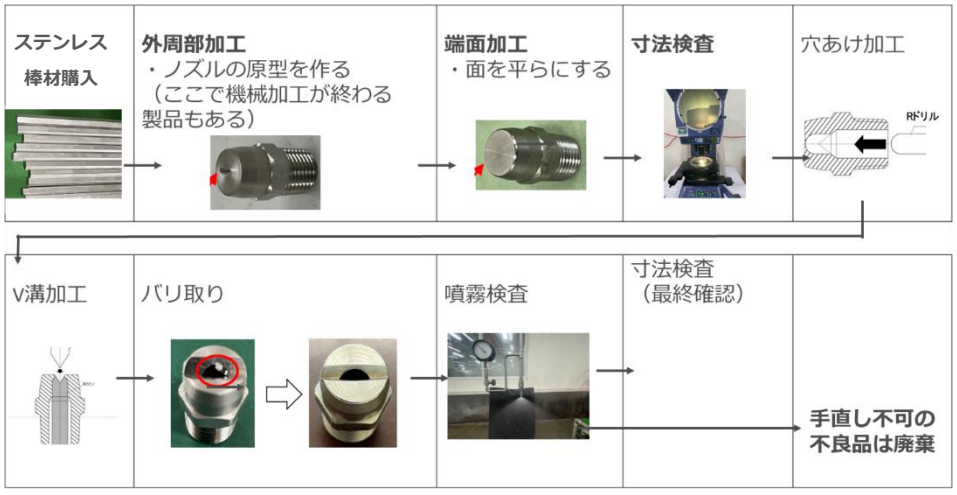


Fig.2 manufacturing processes of VVP nozzles

Fig2 に示すように，

① 材料（ここではステンレス棒材）の購入
② 外周部加工（ネジ部と六角部を作り、ノズルの原型を作る）

③ 端面加工（面を平らにする）
④ 寸法検査
⑤ ドリルで穴あけ加工
⑥ V 形状のカッターで V 溝加工(機械加工はここで終了)
⑦ バリ取り
⑧ 噴霧検査（製品の流量や噴射速度，液漏れがないかなどの確認）
⑨ 寸法検査（最終確認）

という工程を経て製品が完成する．各工程では厳密な品質管理が求められるが，各工程で寸法のばらつきが生じるため，不良品率の高さが課題となっていた．
製品の品質を最終的に保証するため，出荷前に「噴霧検査」が行われている．寸法検査ではノギスや投影機を用いて各部の寸法が規格内かを確認し，噴霧検査では実際に水を噴射させて流量や噴霧角度などの性能を評価する．しかし，これら二つの検査から得られるデータはこれまで個別に管理されており，両者の関係性は明確にされていなかった．そのため，噴霧検査で性能規格外の不良品が発見されても，その原因がどの部分の寸法のばらつきに起因するのかを特定することが困難であり，不良原因の究明や製造工程へのフィードバックが迅速に行えない状況であった．

2.2 研修課題
上記の背景を踏まえ，本研修では「VVP ノズルの幾何学的寸法と噴霧性能の関係性の定量的評価」を課題として設定した．具体的には，これまで関連付けられていなかった寸法検査データと噴霧検査データを統合的に分析し，ノズルの寸法が噴霧性能（特に噴霧流量と噴霧角度）に与える影響を明らかにすることを目的とした．この分析を通じて，噴霧性能を予測可能な重要管理寸法を特定し，将来的には検査工程の効率化や製造工程へのフィードバックによる品質改善に繋げることを目指した．

3. 研修スケジュール
研修は以下のスケジュールで実施した．前半で製造工程の理解と課題点の洗い出しを行い，中盤でデータ測定，後半で分析と報告資料の作成を行った．

Table 1 Overview of this internship

日程	内容
8/24	ノイバイ空港到着
8/25	工場見学，会社紹介，座学（ノズルに必要な基本的な流体力学の知識） 問題点の聞き取り
8/26	寸法検査，噴霧検査，穴あけ加工体験
8/27	噴霧検査，V 溝加工体験，課題の決定
8/28～8/29	改善案の検証に必要なデータ測定（寸法検査，噴霧検査の実施）
9/3～9/4	測定データの統計的分析（相関分析），関係性の評価，報告資料の作成
9/5	最終報告会にて研修成果の発表
9/7	関西空港到着

4. 研修先の概要

株式会社いけうちは，国内でトップシェアを誇るノズル製造会社である．
同社は耐摩耗性に優れたセラミックスプレーノズルを世界で初めて開発、実用化した。
同社の強みは、均質で均一な霧を創り出す精密加工技術にあり、極めて微細な霧「ドライ

フォグ®（濡れない霧）」に代表される先進的な霧化技術は物や空間を濡らさずに加湿や冷却，静電気対策を行うシステムの開発へつながり、半導体や自動車といった精密な品質管理が求められる製造現場から，農畜産業の生産性向上，商業施設の冷房や空間演出まで，極めて幅広い分野の課題を解決している．
さらに，グローバル展開も積極的に進めており，その重要な製造拠点としてベトナムに「IKEUCHI VIETNAM CO., LTD.」を設立している．ここは，経済成長が著しい東南アジア市場含めて世界への供給基地としての役割を担い，現地の多様な産業ニーズに応えることで，同社の国際的な競争力を支える存在となっている．

会社名: IKEUCHI VIETNAM CO.,LTD.

設立: 2005 年
所在地: ベトナム ハノイ ドンアイン県
事業内容: スプレーノズル製造
従業員数: 約 75 名

会社名 ： 株式会社いけうち

西脇市堀工場 所在地 ： 兵庫県 西脇市 堀町
西脇市堀工場 設立 ： 1954 年
業務内容： スプレーノズルの研究開発・設計・製造
日本国内従業員数： 約 390 名

5. 研修の内容

5.1.1 ノズルの概要
　ノズルに水圧を与え噴霧する 1 流体ノズルは，大きく 4 種類に分類される．
本研修では，噴射角度と流量が異なる以下の 2 種類の VVP ノズルを分析対象とした．
VVP ノズルは扇形に霧が広がるのが特徴のノズルであり，「洗浄」「散布」「冷却」などの用途で使用される．また，鉄鋼，機械，エレクトロニクス，農林水産など幅広い業界で使用されているという特徴を持っている．

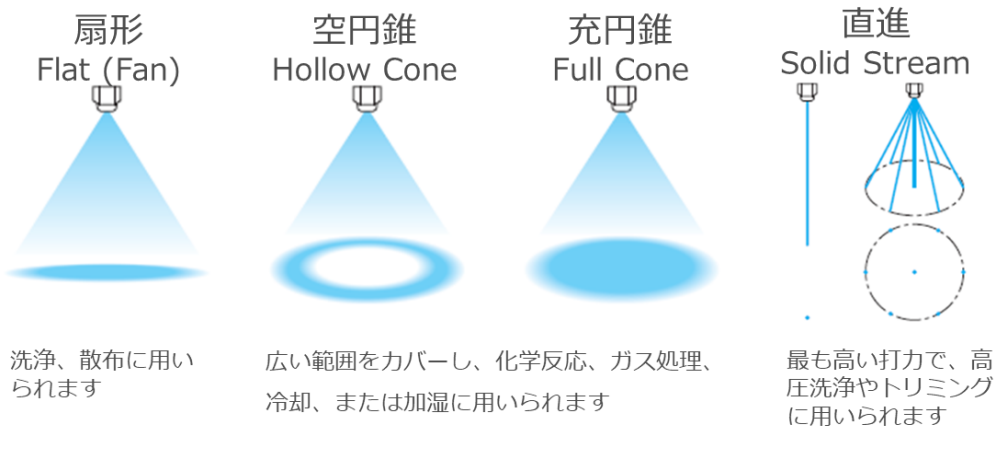


Fig.3　Spray pattern

今回計測で使用したノズルは以下の通りである．

- VVP11550: 基準圧力下(0.3MPa)で噴射角度 115°，流量 5 L/min
- VVP2507: 基準圧力下(0.3MPa)で噴射角度 25°，流量 0.7 L/min



Fig.4 VVP nozzle

5.1.2 検査方法

各ノズル 20 個, 合計 40 個のサンプルに対して, 以下の検査を実施し, データを取得した.

- 寸法検査:

(1)測定変数

ノズルの性能に影響を与えると推測される先端部分の主要寸法，すなわち「溝角度(θ)」「穴幅(B)」「穴長(l)」を測定した（Fig.5）.

(2)測定方法

投影機を用いて測定した（Fig.6）

- 噴霧検査:

(1)測定変数

基準圧力 0.3MPa における「噴霧流量(L/min)」と「噴霧角度(°)」を測定した.

(2)測定方法

ある圧力下での流量を測定できる専用の噴霧検査機を用いて噴霧流量を測定した. また，噴霧角度は分度器を用いて目視で測定した.（Fig.7）

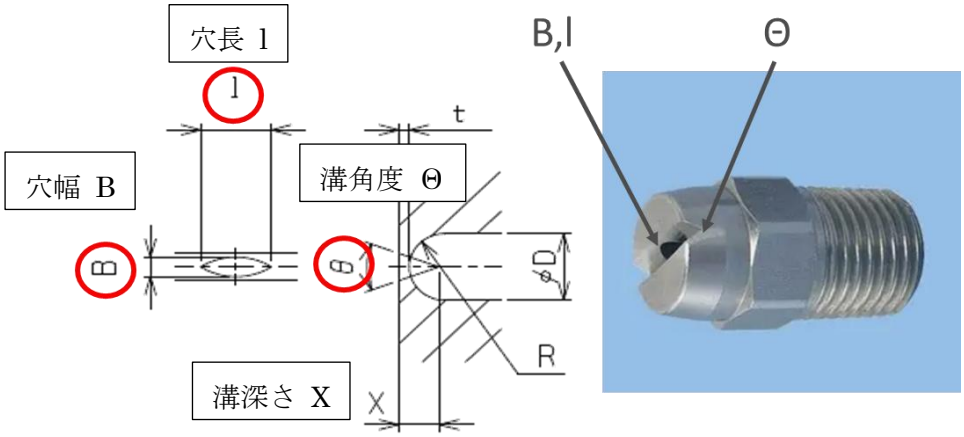


Fig.5 Measured points



Fig.6 Profile projector



Fig.7 Spray Performance test

5.2 結果と考察

5.2.1 分析結果①：噴霧性能と寸法の関係性

取得した寸法データと噴霧性能データを用いて，各変数間の相関関係を分析した．Fig.8 に VVP2507 の分析結果（相関ヒートマップ），Fig.9 に 11550 の分析結果を示す．この図は各変数同士の相関の強さを示している．例えば 1 番左上の部分は溝角度 θ どうしの相関のため相関係数は 1 となる．今回調べたい項目は寸法と噴霧試験の関係であるため右上の黒い枠で囲った部分に注目する．

分析の結果，VVP11550 と VVP2507 の両ノズルにおいて，噴霧流量は，噴射口の断面積に相当する「穴幅(B) × 穴長(l)」と非常に強い正の相関（相関係数 ≈ 0.8）があることが明らかになった．この結果は，流体力学におけるベルヌーイの定理から導かれる流量の基本式とも一致する．

$$Q = A\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$$

ここで，Q は流量，A は断面積，ΔP はノズル前後の圧力差，ρ は流体密度を示す．この

式が示すように，流量 Q はノズルの開口断面積 A に比例する．今回の分析で得られた結果は，この物理法則を実験データとして裏付けるものであり，ノズルの噴霧流量は主に開口部の断面積によって決定されると結論付けられる．

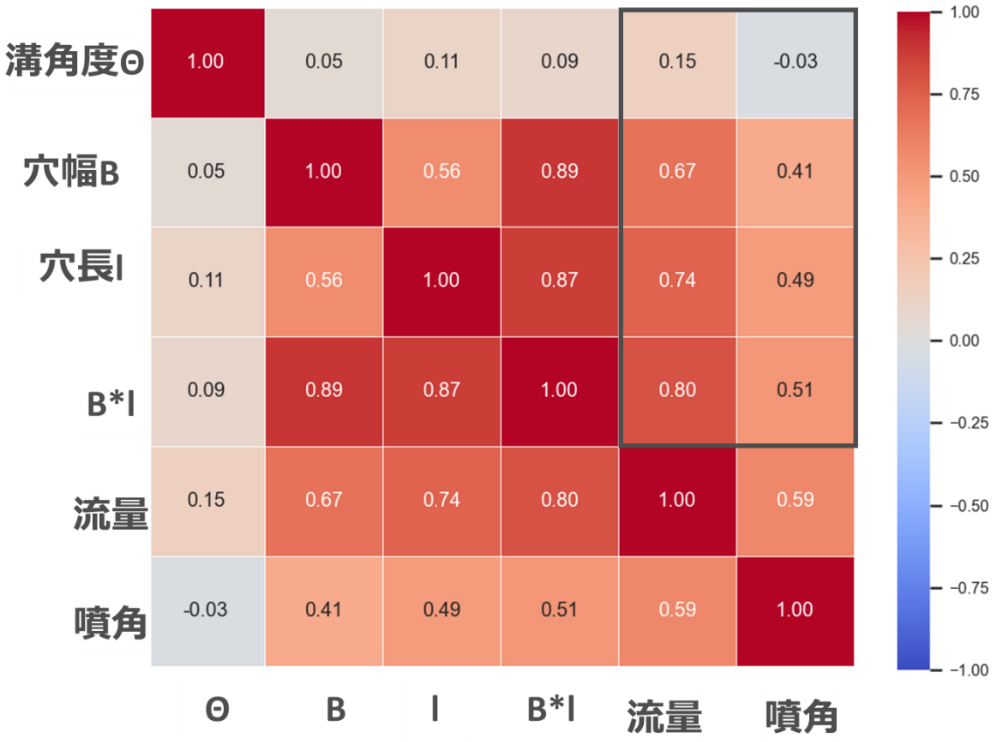


Fig.8 Correlation heatmap of variables in VVP2507
(Red: positive correlation, Blue: negative correlation,
deeper color indicates stronger correlation)

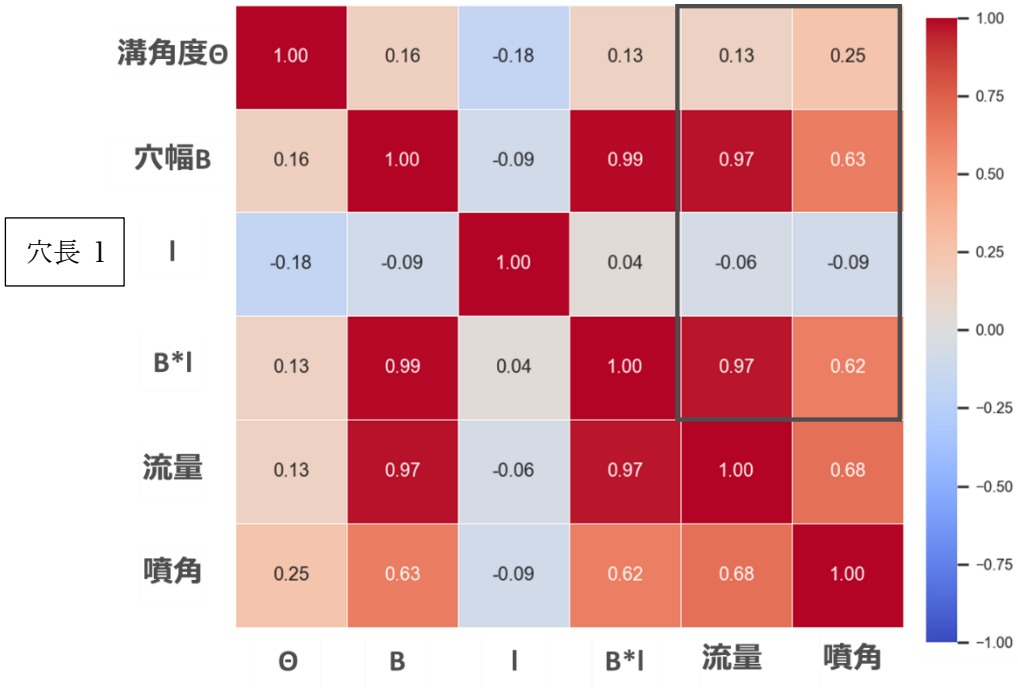


Fig.9 Correlation heatmap of variables in VVP11550
(Red: positive correlation, Blue: negative correlation,
deeper color indicates stronger correlation)

一方で，今回の調査では，溝角度Θとスプレーの性能との間に，はっきりとした相関関係は見られなかった．これは，調査対象の製品がすべて同じカッター寸法で加工されており，溝の角度にほとんど差（ばらつき）が生じていなかったためと考えられる．そのため，もし今後，寸法の異なるカッターで製造された他の型番製品も比較対象に含め，より多様な溝角度で検証を行えば，性能との間に明確な相関関係が見られる可能性は高いと推測される．

5.2.2 改善提案①：寸法検査による流量の事前予測

上記の結果から，寸法検査の段階で「穴幅(B)」と「穴長(l)」の値を測定し，その積 (B×l) を算出することで，最終的な噴霧流量を高い精度で予測できると考えられる．例えば，VVP11550 のデータから得られた近似式を用いると，流量の規格上限である 5.25 L/min に対応する B×l の値（閾値）を算出できる．寸法検査の時点でこの閾値を超える製品を不良候補として特定することで，後工程の噴霧検査を行う前に流量規格外の不良品をあらかじめスクリーニングすることが可能となる．これにより，手戻りの削減や検査工程全体の効率化が期待できる．

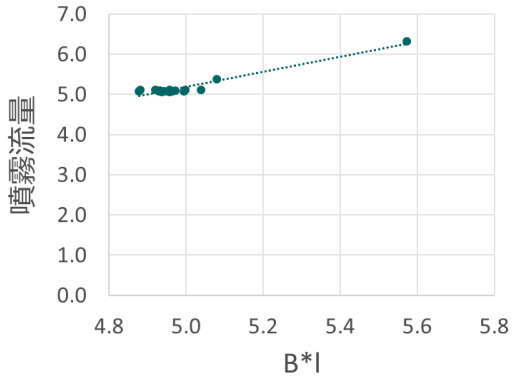


Fig.10 Relationship between spray flow rate and orifice area

5.2.3 分析結果②：不良原因の特定

研修中に，流量が規格値を大幅に超えたため不良品と判定された VVP11550 が 1 点発生した．この不良品に対して寸法検査を行った結果，他の良品と比較して「穴幅(B)」の値が明らかに大きいことが判明した（Table2 参照）．

Table2 Dimensional comparison between defective and non-defective products

	不良品の寸法	良品の平均寸法
穴幅(B) [mm]	1.5	1.3
溝高さ(X)[mm]	2.54	2.95

さらに調査を進めたところ，この不良品は V 溝の深さを示す「溝高さ(X)」(Fig.5 参照)も良品（2.54mm）に比べて大きい値（2.95mm）となっていた．このことから，不良原因は V 溝を加工するフライス盤工程において，工具の設置位置のずれなどにより，溝を通常より深く加工してしまったためであると推察できる．



Fig.11　　V-groove machining process"

5.2.4 改善提案②：不良品分析による品質改善

噴霧検査で不良品が検出された際に，その製品の寸法を詳細に測定・分析する体制を構築することを提案する．これにより，どの寸法が規格外であったかを特定し，その寸法を加工している製造工程（今回の場合はフライス盤工程）が不良の発生源であることを突き止めることが可能となる．このように不良原因をデータに基づいて特定し，製造工程へ具体的な改善指示としてフィードバックすることで，根本的な原因の解消と再発防止に繋がり，製品全体の品質向上が期待できる．

6. まとめ

本研修では，これまで個別管理されていたノズルの寸法データと噴霧性能データの関連性を分析することに取り組んだ．その結果，以下の 2 点を明らかにすることができた．

1. 開口部の断面積（穴幅×穴長）が噴霧流量を決定する主要因であり，この値を測定することで流量のおおよその予測が可能であること．
2. 不良品の寸法を測定・分析することで，不良原因となった製造工程を特定し，品質改善に繋げるための具体的なフィードバックが可能であること．

これらの結果は，勘や経験に頼るだけでなく，データに基づいた品質管理アプローチへの第一歩となるものであり，今後の品質管理や検査効率の改善に貢献できるものと考える．

今後の展望として，今回の研修成果をさらに発展させるため，以下の取り組みが有効であると考える．

- データ数の増加: より多くのデータを継続的に収集・分析することで, 寸法と性能の関係式の精度を高め，より正確な予測モデルを構築することが期待できる．
- 他の寸法との関連性調査: 今回は測定できなかったノズル内部の形状（内径や曲率）など, 他の寸法と性能との関連性を調査することで, 噴霧角度や流量分布といった, より複雑な性能を制御するための新たな知見が得られる可能性がある．
- 不良品データの蓄積と傾向分析: 不良品のデータを継続的に蓄積し, その傾向（特定の寸法で不良が多発するなど）を統計的に分析することで，製造工程における潜在的な問題を早期に発見し，予防的な品質管理活動へと繋げることができる．

7. 謝辞

本プログラムにご協力いただき，素晴らしい機会を提供してくださった株式会社いけうちの皆様に，心より感謝申し上げます．

ハノイ工場では，伊佐様，アイン様，ホア様をはじめとするハノイ工場の方々には大変お世話になりました．特に伊佐様には研修面だけでなく生活面においても多大なるサポートをしていただきました．伊佐様のおかげで公私ともに充実した 2 週間を過ごすことができました．改めてお礼申し上げます．

中島様には，オンラインで研修をサポートしていただきスムーズに研修を進めることができました．山口様には，研修を通して多岐にわたりサポートしていただき充実した研修を行うことができました．

皆様のお力添えがあったからこそ，今回の研修を無事に終えることができました．重ねて感謝申し上げます．

また，本研修を行うに当たり運営並びに研修の支援をして下さった陸田先生，山本先生を始めとする ECBO 実行委員の先生方，プログラム全般をご支援くださいました工学研究科事務スタッフの皆様にもこの場をお借りして厚くお礼申し上げます．

最後になりましたが, 本研修を通して私たちを大きく成長させてくださった ECBO プログラムが，来年度以降も益々発展していくことを願い，謝辞とさせていただきます．