
霧のいけうち(ベトナム) 研修報告書

1. ハノイ工場での実習と寸法検査合理化案の検討

2. 半導体ウエハー洗浄ノズルの汚れ除去率低下の要因特定

先進理工系科学研究科 情報科学プログラム 林 悠太郎

1. はじめに

近年、多くの日系企業が生産コストの削減や市場拡大を目的に、海外に生産拠点を展開している。グローバル化が進むこの時代において、IT エンジニアとして活躍するためには、国際的な視野や能力がますます重要になっている。このような環境の中で、私も自身の知識や研究で培ったスキルやコミュニケーション能力がどれほど通用するのかを試したいと思い、ECBO プログラムへの参加を決意した。

本プログラムでは、株式会社いけうちのハノイ工場にて約 2 週間、西脇市堀工場にて 1 週間の研修活動を行った。

2. 研修課題の決定

西脇市堀工場の工場見学の際に、担当者の方々と打ち合わせを行い、約 2 週間のハノイ工場と 1 週間の西脇市堀工場における研修の内容や位置づけを決定した。

具体的には、約 2 週間のハノイ工場での研修は、ノズルの寸法検査や品質管理、噴霧装置の操作等に関する実習を行い、合理化案の模索を通じてノズルの基礎知識を習得するとともに、実習においてベトナム人とのコミュニケーションを図り、国際的な視野を養成することを目的とした。1 週間の西脇市堀工場での研修は、半導体ウエハー洗浄用ノズルの汚れ除去率低下の要因特定に関する課題を用意していただき、ハノイ工場での実習で得たノズルに関する知識を活かしてその課題に取り組むこととなった。

3. 研修スケジュール

8 月 1 日	国内工場見学(西脇市堀工場)
ハノイ	
8 月 19 日	出国(関西国際空港→ノイバイ空港)
8 月 20 日～23 日	実習(2 流体ノズル噴霧装置の操作、ノズル寸法検査)
8 月 24 日	中間報告会
8 月 26 日～29 日	実習(2 流体ノズル噴霧検査、ノズル品質管理)
8 月 30 日	最終報告会、帰国
西脇市	
9 月 9 日	移動(東広島→西脇市)、課題の再確認
9 月 10 日～12 日	実習(課題解決)
9 月 13 日	最終報告会

4. 研修先の概要

会社名：IKEUCHI VIETNAM CO.,LTD.

設立：2005 年

所在地：K-1, Thang Long Industrial Park, Dong Anh District, Hanoi, Vietnam

事業内容：スプレーノズル製造

従業員数：75 名

会社名：株式会社いけうち

設立：1954 年 11 月 8 日

西脇市堀工場 所在地：兵庫県 西脇市 堀町 177

西脇市堀工場の事業内容：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

研修内容(ハノイ工場)

・2 流体ノズル噴霧装置の操作

いけうちのスプレーノズルは独自の精度保証を設けており、ノズルシリーズごとに噴霧幅や噴霧水量、空気消費量等の厳しい性能基準がある。また、ノズルは 1 流体ノズルと 2 流体ノズルに大別でき、1 流体ノズルは液圧のみで液体を微粒化し噴霧する一方、2 流体ノズルは気体の流れを利用して、液体を微粒化し噴霧するため、より繊細で良好な微粒化が可能である。(図 2)

2 流体ノズル噴霧装置(図 3)では、2 流体ノズルの設計圧力下での噴霧幅、噴霧水量、空気消費量を測る装置であり、この装置で基準を満たしたもののだけを出荷している。西脇市堀工場での課題に取り組む際に、同様の装置を使用する可能性があったため、操作について学び、理解を深める目的でマニュアル作成(図 4)まで行った。

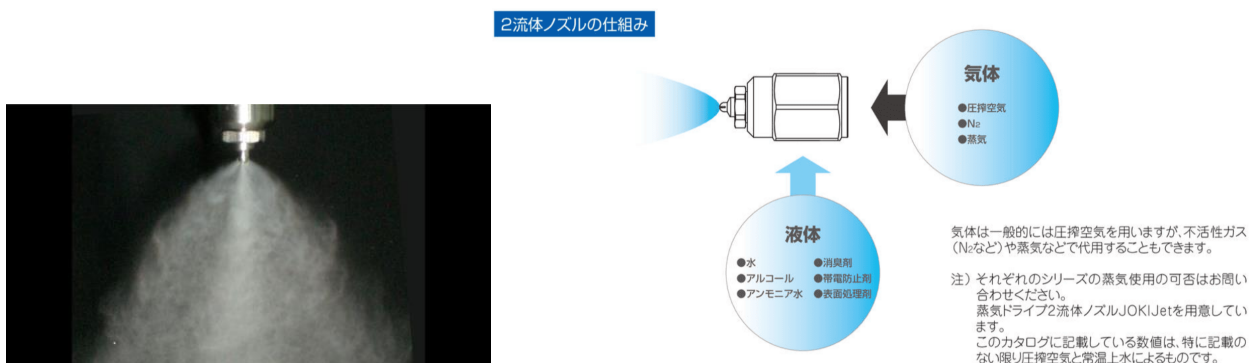


図 1：ノズルの噴霧イメージ

図 2：2 流体ノズルの仕組み



図 3：2 流体ノズル噴霧装置

1-1 2流体小噴量噴霧検査装置の各部分の名称

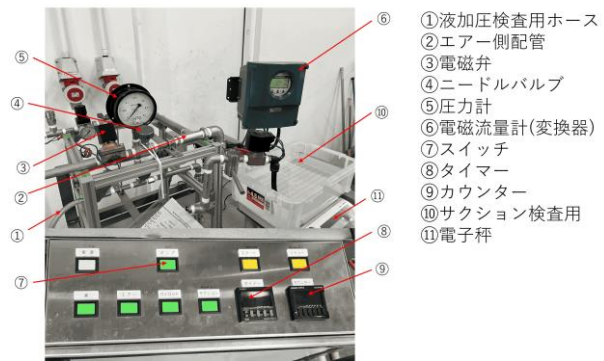


図 4：作成したマニュアルの一部

・ノズルの寸法検査

噴霧幅や噴霧水量、空気消費量等の厳しい性能基準を満たすためには、ノズル各部分の長さや角度、傷の有無が重要で、これらにもノズルシリーズごとに厳しい合格基準がある。
ノギスやマイクロメータ、投影機(図 5)等の様々な計測器具を用いて、ノズル各部の寸法を正確に測定し、記録する寸法検査の実習に取り組んだ。



図 5：投影機で角度を測定

項目	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
Mã dụng cụ đo																			
Góc cạnh k tra																			
Số lượng SP cần đo	10%	Tuần bộ SP	Tuần bộ SP	Tuần bộ SP	25%	Tuần bộ SP	25%	Tuần bộ SP	25%	Tuần bộ SP	Tuần bộ SP	Tuần bộ SP	Tuần bộ SP						
Dùng sai trên	φ10.0	7.35	φ7.95	0.82	φ8.3	φ4.44	1.6	φ6.82	80.3°	φ1.97									
Giá trị chuẩn	φ9.8	7.30	φ7.93	0.80	φ8.2	φ4.42	1.5	φ6.80	80.0°	φ1.965									
Dùng sai dưới	φ9.6	7.25	φ7.91	0.78	φ8.1	φ4.40	1.4	φ6.78	79.7°	φ1.96									
Dùng sai độ																			
Dùng sai																			
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	7.79	7.30	7.965	0.80	8.21	4.42	1.5	6.80	80.0	1.965									
2	7.77	7.30	7.965	0.80	8.21	4.42	1.5	6.80	80.0	1.965									
3	7.77	7.30	7.965	0.80	8.21	4.42	1.5	6.80	80.0	1.965									
4	7.77	7.30	7.965	0.80	8.21	4.42	1.5	6.80	80.0	1.965									
5	7.77	7.30	7.965	0.80	8.21	4.42	1.5	6.80	80.0	1.965									
6	7.77	7.30	7.965	0.80	8.21	4.42	1.5	6.80	80.0	1.965									
7	7.77	7.30	7.965	0.80	8.21	4.42	1.5	6.80	80.0	1.965									
8	7.77	7.30	7.965	0.80	8.21	4.42	1.5	6.80	80.0	1.965									
9	7.77	7.30	7.965	0.80	8.21	4.42	1.5	6.80	80.0	1.965									
10	7.77	7.30	7.965	0.80	8.21	4.42	1.5	6.80	80.0	1.965									

図 6：寸法検査表

合理化案 ”寸法検査表のデジタル化による寸法検査個数の最適化”

寸法検査は、ノズルの各箇所寸法を寸法検査表(図 6)に記録する。各箇所の検査個数は、それぞれ異なり、これは箇所ごとの感覚的な重要度や不良品率を基に決定されている。実習で

寸法検査に取り組んだ際、1つのノズルには多くの測定箇所があり、複数の計測器具を使って手作業で行うため、検査個数を削減することで業務効率が向上する可能性を感じた。

そこで、寸法検査表をデジタル化し、データを蓄積・分析することで、検査個数の削減や最適化が可能ではないかと考えた。例えば、あるノズルシリーズにおいて、項目 A と E の間に不良(合格基準を満たさない)になる相関関係があることが見つかった(項目 A が不良だと、項目 E も不良になる確率が高い)とすると、両方を検査する必要はなく、片方だけの検査で十分とする、もしくは片方の検査個数を減らすことができる。

・ノズルの品質管理

BIM ノズルの 2 つの不良品に対して、不良原因を特定するための品質管理実習に取り組んだ。26 個の良品ノズルと 4 個の不良品ノズルを用いて噴霧データを収集・分析することで、4 個の内 2 個の不良品はいずれもノズルのアダプタ(ノズルの構成部品の 1 つ)内の空気通過箇所の寸法に問題があることが特定できた。

具体的なプロセスは以下に示す。

- ① 噴霧装置で噴霧幅、噴霧水量、空気消費量のデータを収集し、性能に問題がある検査項目を調査した。いずれも噴霧水量が基準を満たさないため、不良品となったことが分かった。また、30 個の収集データから、噴霧水量と空気消費量には強い相関があることが明らかになり、噴霧水量または空気消費量に関係するノズル各部の寸法に原因があるのではないかと仮説を立てた。
- ② 立てた仮説の上で、噴霧水量に関わるノズル各部の寸法を測った。噴霧水量に関わるノズル各部の寸法は 4 個とも良品との違いは見られなかった。
- ③ 次に、空気消費量に関わるノズル各部の寸法を測った。
2 個の不良品で空気消費量に関係するアダプタ内の空気通過箇所の寸法において良品と差が見られ、不良原因であることが特定できた。

研修内容(西脇市堀工場)

課題：半導体ウェハー洗浄用ノズルの汚れ除去率低下の要因特定

客先で半導体ウェハーを洗浄する用途で試験した 8 個のノズルは、いずれも既存の他社製ノズルに比べて低い(汚れ)除去率を示した。この低い除去率の原因を追究することが課題である。

8 個のノズルのうち 5 個は同じ構造を持ち、空気吐出部の開口面積のみが異なっている。吐出する空気量は規定値であるため、面積が小さいノズルは空気圧が高く、面積の大きいノズルは空気圧が低くなる。一般的には、空気圧が高いほど洗浄力(除去率)が高くなると考えられているが、その傾向も確認できていない。

今回の課題では、各ノズルのオフセット(図 7 参照、ノズル直下から何 mm ずらしたポイントで粒径測定をしているかを表し、0、1、2、3、4.5mm がある)ごとの様々な測定実データ(平均流速、平均粒径、粒子数など)を用いて、半導体ウェハー洗浄用ノズルの洗浄率向上の原因特定に取り組んだ。

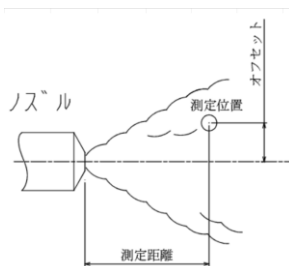


図7：オフセットの概要

アプローチ

・AI(機械学習モデル)による洗浄率の予測

自身がまず取り組んだアプローチは、AI による洗浄率の予測である。様々な変数がオフセットごとにあり、理想としてはそれぞれの変数を特徴量として用いたかったが、ノズルは9個しかないなので、それぞれの変数は9個しかデータがない。そのようなデータが少ない状況では、AIモデルの精度を上げるためには、特徴量の数を少なくせざるを得ない。そこで、特徴量の数を調整しながら、少ないデータ数でも数値予測の精度を上げられる回帰モデルである LASSO 回帰モデルを用いて、予測を行った。

その中で、各オフセットにおける1秒間あたりに放出される粒子数の5個を特徴量としたときに比較的高い予測精度が確認できた。図8は、ノズル5をそれらの特徴量(粒子数_0はオフセット0の粒子数を表す、他の特徴量も同様)を用いてAIで予測するイメージである。除去率(洗浄率の実測値)のデータは、社内秘のため、図8では除去率とノズル5の予測値は実際の値から一定の数を差し引いた値として示している。同構造を持つノズル5-8において高い予測精度が確認できた。

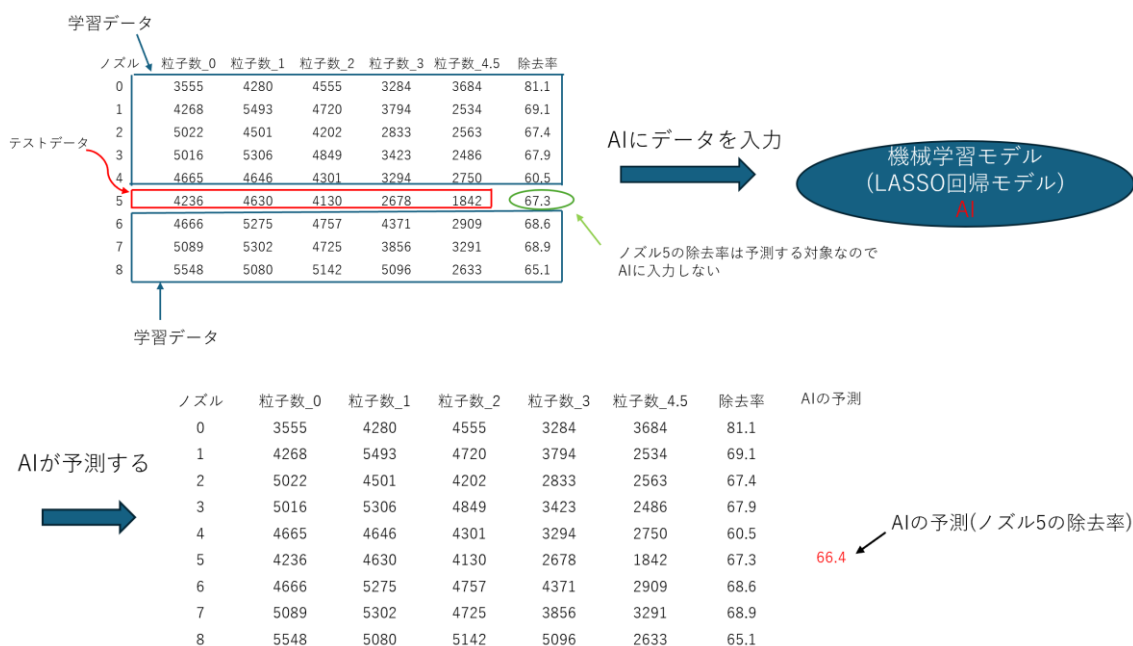
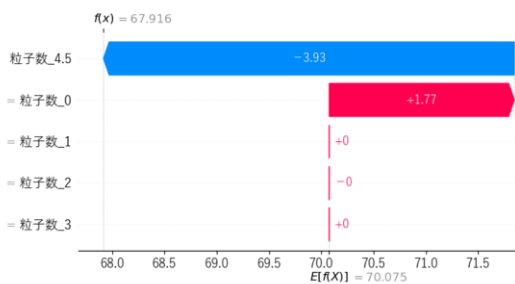


図8：AI による予測イメージ

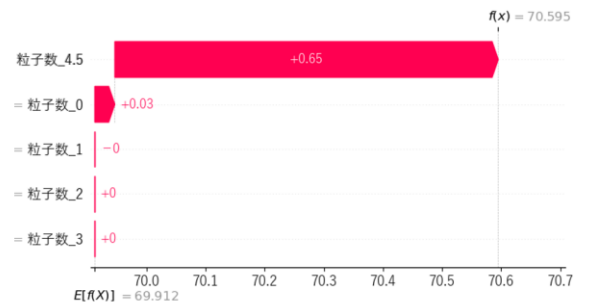
・XAI 技術による AI の予測根拠の提示

XAI (Explainable AI) とは、ブラックボックス化された AI の予測や振る舞いの根拠を人間が理解できる形で示す技術である。AI による予測では各オフセットにおける 1 秒間あたりに放出される粒子数の 5 つを特徴量として使用し、除去率を予測することで、比較的高い予測精度を示した。しかし、AI が出力したのは除去率の予測値のみであり、具体的にどのオフセットの粒子数が予測に寄与したかは不明である。もしこの情報が分かれば、AI が高い予測精度を示した根拠となる変数が特定でき、その変数が除去率に関連している可能性を示唆することができると考えた。具体的には XAI 技術の一つである SHAP を適用し、各予測に対してどの特徴量がどの程度予測に寄与したかを算出した。SHAP を用いた結果(図 6)、ノズル 5-8 どのノズルでも AI はオフセット 0 の粒子数、オフセット 4.5 の粒子数を重視して予測したことが明らかになり、最も内側、最も外側の粒子数が除去率に関係している可能性があることが考察できた。

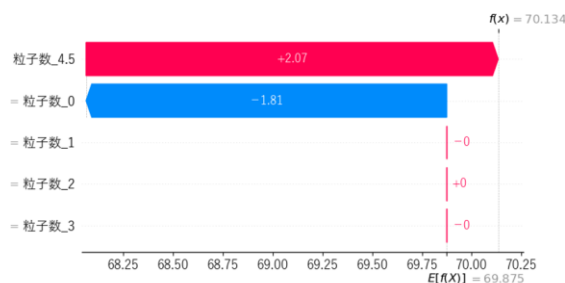
ノズル5のSHAP値



ノズル6のSHAP値



ノズル7のSHAP値



ノズル8のSHAP値

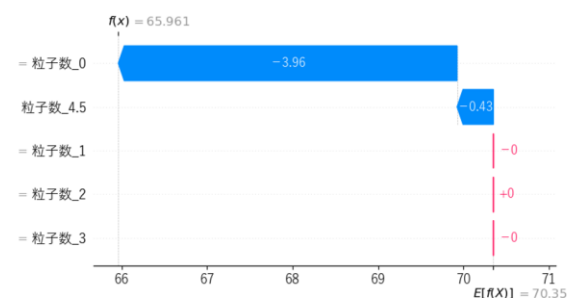


図 6：SHAP を適用した結果

SHAP のプロットの見方としては、各ノズルに対して特徴量が上から影響力の高い順に並んでいる。

例えば、ノズル 5 ではオフセット 4.5 の粒子数(特徴量粒子数_4.5)が最も影響力が大きく、次にオフセット 0 の粒子数(特徴量粒子数_0)が続くといった具合である。

それぞれの棒の長さ、値がその特徴量の貢献度で SHAP 値である。

・AIの限界点

AIによる予測とXAIの適用により、同構造のノズル5-8においてオフセット0と4.5の粒子数が除去率に関係している可能性が高いことがわかった。しかし、この考察の信頼性は慎重に吟味する必要がある。なぜなら、AIは万能ではないからだ。

今回の分析では、各変数に対して9個のデータしか存在せず、データ数が少ないため、十分な予測ができていない可能性がある。データが不足すると、AIモデルの学習に十分な情報が提供されず、予測精度が一般的に低下する。この点について、ノズル0-4の予測結果では精度が高くないことを確認している。さらに、AIが出す予測結果は絶対的に正しいわけではなく、人間の感覚や実際の状況と一致しているかどうかを確認することが重要である。これらの観点から、今回の結果・考察も信頼性をしっかりと吟味する必要がある。

6. まとめ

約2週間のハノイ工場での研修と1週間の西脇市堀工場での研修を通じて、貴重な経験を積むことができ、多くのことを学べる機会となった。ハノイ工場では、ベトナム人の方々とコミュニケーションを取りながら、様々な実習に取り組んだ。コミュニケーションを取るなかで、異なる価値観や文化に驚くことが多く、海外でエンジニアとして活躍するためには技術力だけでなく、異文化に適応する力が重要であると強く感じた。

西脇市堀工場では半導体ウエハー洗浄用ノズルの汚れ除去率低下の要因特定に関する課題に取り組み、ノズルに関する知識と自身の専攻を活かして、原因の考察を行うことができた。自身の専攻を少しは活かせたかなという思いはあるものの、引き出しの少なさや専攻外の知識不足を実感する方が大きかった。この経験を糧に、知らないことを学ぶ姿勢を大切に、今後の研究活動に励みたい。

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下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、工場長の石尾様、副工場長の伊佐様に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。西脇市堀工場では、工場長の小西様をはじめ、皆様に温かく迎えていただき、課題に取り組む際には中野様、由良様から多くのご支援をいただきました。そして、山口様にはこの研修全体を通して多岐にわたりサポートいただきました。皆様のお力添えに深く感謝申し上げます。

また、山本先生をはじめ、ECBO実行委員の皆様や、多くの手続きでお世話になった工学研究科事務の方々、研修をサポートしていただいた谷口先生、3週間の研修を共にした澤本君にも、心より感謝申し上げます。謝辞とさせていただきます。
