

< 修 士 論 文 >

ガラス流量を制御するための  
因果関係の分析  
(要 旨)

滋 賀 大 学 大 学 院  
デ ー タ サ イ エ ン ス 研 究 科  
デ ー タ サ イ エ ン ス 専 攻

修了年度：2024年度

学籍番号：6023142

氏 名：馬 渕 美奈

指導教員：清水 昌平

提出年月日：2025年1月13日

## 背景

ガラス製造業においては、24 時間 365 日、高温でガラスを連続的に溶融することにより大量のガラス製品を生産している。高品質なガラス製品を生産するためには工程を流れるガラス融液の量（以下、ガラス流量）の安定性が極めて重要な要素となる。例えば、スマートフォンやタブレットのディスプレイとして使われるディスプレイガラスでは、製造工程に関わる 9 種類の品質項目のうち、ガラス流量の安定性は 6 種類に影響している。そのため、ガラス流量の安定性は高品質なガラス製品を生産するための必要条件といえる。ガラス流量を安定させるために、生産設備で常時作動している設定温度に維持するための調整機構に加えて、流量調整槽と呼ばれる設備の設定温度をオペレータが手動で細かく調整している。しかし、このオペレータによる流量調整槽の設定温度調整がガラス流量にどれだけ影響を与えているかについて、これまで定量的に評価されたことはない。

そこで本研究では、因果推論の枠組みに基づき、統計的手法を用いて流量調整槽の設定温度がガラス流量に与える因果効果を推定した。すなわち、オペレータの介入によるガラス流量への影響を推定し、その評価を試みた。

## 分析

本研究では、因果推論の構造方程式モデルを適用し、オペレータが介入している流量調整槽の設定温度調整がガラス流量に与えている影響を評価することを試みた。まずオペレータにヒアリングを行い、流量調整槽の設定温度の親変数を洗い出した。流量調整槽の設定温度を変更してからガラス流量へその効果が反映されるまでに、設備構造の関係上発生するタイムラグも考慮しながら、ARX(p)モデルを使用し、流量調整槽の設定温度からガラス流量への因果効果の推定を行った。データはすべて連続値として扱ったため、最小二乗法を用いて重回帰分析により偏回帰変数を推定した。

## 結果と考察

分析の結果、流量調整槽の設定温度調整からガラス流量への因果効果は統計的に有意であることが確認できた。しかし、オペレータが期待しているガラス流量への効果（以下、オペレータ感覚）よりも、統計的手法によって推定された因果効果は小さかった。この原因はいくつか考えられる。まず、オペレータの調整技量の差が影響したことが挙げられる。オペレータ感覚を調べるためにヒアリングを行った際、オペレータの中には、ガラス流量に与えている効果の大きさについて意識していない人もいた。そのため、流量調整槽の設定温度調整をする時にガラス流量にどれだけ効果を与えているか意識しているオペレータは、オペレータの中でも調整技量が高いと考えられる。そのように仮定した場合、オペレータ感覚の結果は、高い調整技量を持ったオペレータのみの結果と考えられる。その一方で、本分析で使用了データセットの期間内において、流量調整槽の設定温度調整をしたオペレータの調整技量は全員同じと仮定されている。このことから、オペレータ感覚のほうが、調整技量

が高いオペレータを有意に抽出していたため、統計的手法による推定結果よりも効果が大きくなったことが考えられる。また、オペレータが因果効果を誤認している可能性が挙げられる。オペレータは安定している期間において、 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 単位で流量調整槽の設定温度を調整している。その一方で、大きくガラス流量が変動してしまった、いわゆるトラブル発生時において、 $1\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 単位で温度調整を実施する場合がある。その経験から、トラブル発生時の効果を安定して生産されている期間での介入と同一視し、効果を誤認した可能性が考えられる。最後に、人的介入が効果的であるという認識バイアスによる効果の過大評価が可能性として挙げられる。

## 結論と今後の課題

分析の結果、安定して生産されている期間において、オペレータ感覚よりも統計的手法によって推定された因果効果は小さかった。この結果から、安定して生産されている期間において、ガラス流量の変動の大きさを考慮すると、オペレータが介入している流量調整槽の設定温度調整は、ガラス流量へほとんど影響を与えられていない可能性が示唆された。

今後の課題は、本研究の推定結果を用い実証実験を行うことである。具体的には、推定結果として得られた値から、オペレータが期待している効果の大きさだけガラス流量を調整するためには、オペレータが普段実施している  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 単位の調整から、 $1\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 単位へ変更する必要があることが推定された。または、オペレータの調整はガラス流量へほとんど影響を与えられていないことが示唆されたため、流量調整槽の設定温度を全く変更せずにガラス流量がどの程度変動するのか記録することも実験案として考えられる。