

# アイトラッキングによるシールドマシン操作者の認知プロセスの推定

## Estimation of Cognitive Processes of Shield Machine Operator Based on Eye Tracking

藤本 奈央<sup>\*1</sup> 森田 順也<sup>\*1</sup> 大久保 泰<sup>\*1</sup> 大林 信彦<sup>\*1</sup> 白井 健泰<sup>\*1</sup>  
 Nao Fujimoto Junya Morita Toru Okubo Nobuhiko Obayashi Takayasu Shirai

<sup>\*1</sup> 鹿島建設株式会社  
 KAJIMA Corporation

In shield construction, it is concerned that the shortage of skilled workers causes serious accident due to oversight of fluctuation and delay in taking action. Therefore, revealing the cognitive processes of experienced shield machine operators is important. In this report, a part of the cognitive processes was revealed by analyzing eye tracking data and control logs of shield machine. Two machine operators were conducted eye tracking test. There were differences in viewpoint between the two operators as a result of comparison of the gaze movements. From Eye tracking and data of control machine, we revealed time lags of recognizing fluctuation and clarified operator's sequences of estimating manipulation. We will develop operating support system and foster advanced operator in the future.

### 1. はじめに

建設業は製造業に比べ生産性が低いと言われているが、シールド工事は1990年代から機械化・自動化・システム化が進み、少人数の作業員による施工体制が確立されているため、生産性の高い工種である。しかしながら、就労者の高齢化による将来的な熟練作業員の不足という建設業全体の課題をシールド工事も抱えている。特に、これまで熟練作業員が予兆に気づき、未然に防いでいたトラブルの顕在化が懸念されている。

シールド工事のマシン操作は図1に示すような中央管理室やシールドマシンの運転席で行う。切羽前面(掘削面)に作用する土水圧、シールドマシンの後続台車および地上に設置している各設備の稼働状況、排土量の計測値、出来形等のデータを操作画面に集約し、そのデータを基に運転操作を行っている。しかし、データの種類の数十項目と多く、またリアルタイムに変化するため、シールドマシンオペレータは必要なデータを選択・監視し、操作を行うことになる。したがって、熟練のマシンオペレータは、データの変動を早期に察知し、経験や勘所による判断で操作を行っている。

そこで筆者らは、状況認識から判断、操作に至るまでの、熟練マシンオペレータの経験や勘所に基づく認知プロセスを明らかにする研究を進めている。

本稿では、大野の研究[大野 02]をもとに、オペレータの操作画面に対するアイトラッキングデータとマシンオペレータのシ



図1 シールドマシンの中央管理室

ールドマシンから取得できるデータ(以下、シールドマシンデータ)を組み合わせた取り組みについて紹介する。

### 2. 分析データ

#### 2.1 シールドマシンデータの概要

マシンオペレータは遠隔操作ソフトウェアを通じ、センサーデータの監視及びシールドマシンの操作を行っている。これらのログは1秒毎に記録され、記録サーバに保存される。このログから取得できるデータとしては、シールドジャッキの速度や選択状況、切羽水圧等のシールドマシンに関するもの、ポンプ圧力や回転数、バルブの開閉状況等の流体設備に関するものが含まれる。

#### 2.2 アイトラッキングの実施

マシンオペレータ2名(表1)に対し、2日間、2回ずつアイトラッキングを実施した。シールド工事では、セグメントと呼ばれるブロックをリング状に組み立てトンネルの外壁としながら掘削を進めるが、1リング分の掘進を1回の計測とし、切羽の安定に重きを置いた運転操作となる直線区間を対象とした。アイトラッカーは眼鏡型で被検者が違和感なく装着できるTobii社製Tobii Pro Glasses2を選択した。計測した視線データは一般に注視状態とされる100deg/s以下の視線移動を視線の停留と定義した、また操作画面に対して表示項目毎に興味関心領域(AOI: Area Of Interest)を定義した。

### 3. 結果と考察

アイトラッキングの結果から、操作画面に対する視線ヒートマップを作成した。13日の例を図3に示す。オペレータA(図3(a))はP2, P7ポンプ, ロータリークラッシャー(以下, RC)を中心にしていることがわかる。一方で、オペレータB(図3(b))はRC, P2ポンプ, 切羽水圧を中心にしていることがわかる。このことから、二人のオペレータは切羽を安定させる運転のために、それぞれ異なる点を重視していることが分かった。

表1 アイトラッキングの実施概要

被検者	年齢 [歳]	勤続年数 [年]	対象リング[No]	
			2017/11/13	2017/11/28
オペレータ A	39	15	452,453	578,579
オペレータ B	56	26	457,458	574,575

連絡先: 藤本奈央, 鹿島建設株式会社, 東京都港区赤坂6-5-11, fujimnao@kajima.com

アイトラッキングデータとシールドマシンデータをマージしたグラフから、特徴的であった部分の例を図4.5に示す。オペレータAはNo.452リングにおいて、P2ポンプの吸込圧力の低下という配管閉塞の兆候の発生時(図4(b)中①)に、P2ポンプの吸込圧力の変動を注視しながら掘進を行っていたが、低下時は何も操作することなく、注視を継続していた。次の大きな低下時(図4(b)中②)に閉塞が発生し、4秒後に状況認識し、認識から5秒後に掘進を停止した。その後流体設備の操作を実施し掘進再開まで190秒かかった。

オペレータBはNo.457リングにおいて、RCの入口圧力の低下という閉塞兆候の発生時(図5(b)中①)にジャッキ速度を遅くする対応を行うことで復旧させていた。RCの入口圧力の安定を確認後、速度を変更前に復旧させたが、RCの電流値の上昇、回転速度の低下という閉塞兆候が再度発生(図5(b)中②)したため掘進を28秒間停止した。しかし、対応が早かったため、流体設備を操作することなく掘進を再開した。また、RCの入口圧力の変動からオペレータが現象を認識するまでに22秒かかった。

このようにアイトラッキングデータとシールドマシンデータを組み合わせた分析を実施したことで、変動発生時の認識、判断、操作という一連の流れを把握する手がかりを得ることができた。

#### 4. 今後の課題

今回の結果からマシンオペレータに早期に異常を認識させ、正確な判断を促すことがトラブルの防止に有効であることが分かった。今後は熟練オペレータの判断基準を集積し、それを基に警報などを発令する掘進サポートシステムの構築、さらに、将来的な自動運転制御を見据えたシミュレータの構築を進め、シールド工場の安全性向上へつなげたい。

#### 参考文献

[大野 02] 大野健彦: 視線からなにがわかるか-視線測定に基づく高次認知処理の解明, 日本認知科学会, 共立出版, Vol.9, No.4, pp.565-576 (2002).

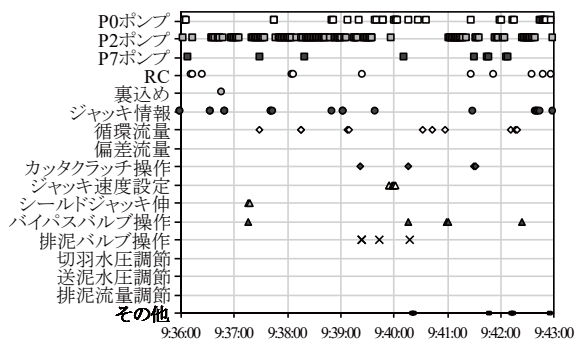


(a)オペレータA

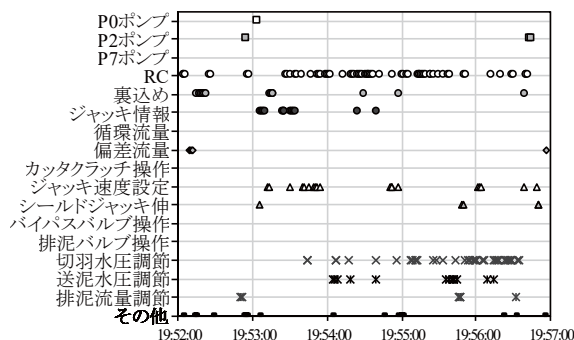


(b)オペレータB

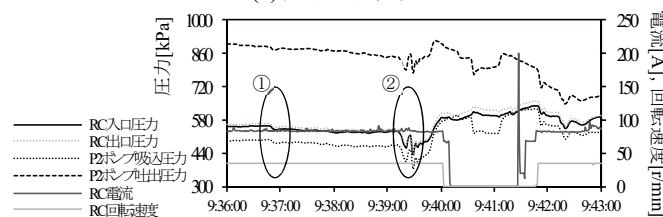
図3 操作画面に対する視線ヒートマップ



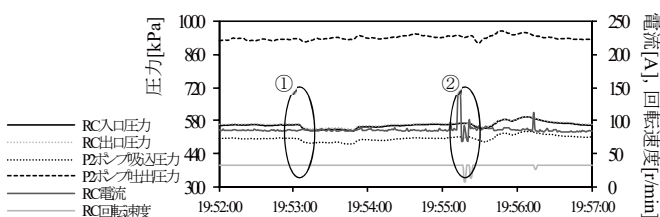
(a)視線停留位置



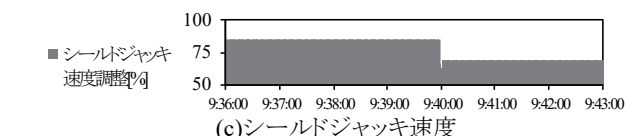
(a)視線停留位置



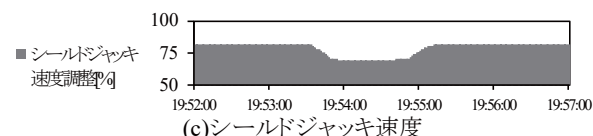
(b)計測データログ



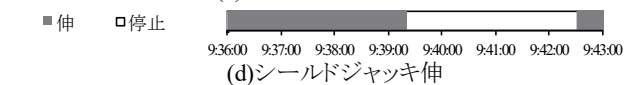
(b)計測データログ



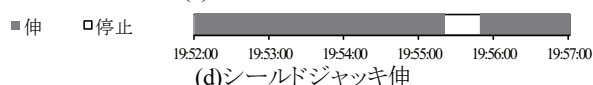
(c)シールドジャッキ速度



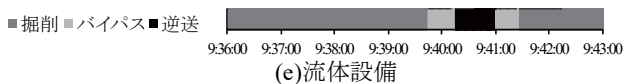
(c)シールドジャッキ速度



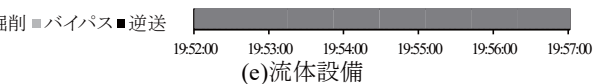
(d)シールドジャッキ伸



(d)シールドジャッキ伸



(e)流体設備



(e)流体設備

図4 No.452リングの操作状況

図5 No.457リングの操作状況