

発電プラントの熟練者の暗黙知記録

Recording of undescribed knowledge on expert in power plant operations

ベテランの技を追体験する

発電プラントの運転操作など長期の実務経験を要する業務においては若年層への技能継承が課題となっている。本研究では、ベテランの行動に表出する「暗黙知」として注視点や発話内容に着目し、技能継承に活用するための教育支援技術の検討を行った。

執筆者

先端技術応用研究所 情報通信G

瀬川 修

原子力安全技術研究所 プラントG

田中 一平

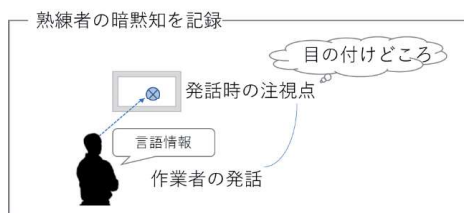


1 背景と目的

電力分野では、熟練者（ベテラン）から若年層への技能継承が課題となっている。原子力発電所の運転操作や設備の巡視点検においても業務への習熟には長期の実務経験が必要であり、ベテランの暗黙知は体系的なドキュメント化が困難である。このため、ベテランの技をデジタル記録する要素技術が実現できれば大変有用性が高い。何らかの目的を持った機器操作においては、作業者の注視点や発話などの情報が重要と考えられる。これらマルチモーダル (Multi-modal) 情報の統合によって、従来は困難であったベテランの暗黙知の記録を実現し、技能継承に活用する手段を提供できる可能性がある。このような背景の下、本研究では、作業者の注視点と、これに同期した音声発話に着目し、マルチモーダル情報を統合した教育コンテンツ技術について検討を行った。

2 暗黙知記録のコンセプト

「ベテランは目の付けどころが違う」などよく言われるが、我々はまず暗黙知は目線の動き（注視点）に表出するのではないかと考えた。また、作業時の注視と同期した発話内容にも何らかのノウハウが含まれており、これらの情報を紐付けることによって、ベテランの行動に現れる非明示的なノウハウをデジタル記録するという着想を得た（第1図）。また、マルチモーダル情報を統合したコンテンツを提示することにより、ベテランの技を追体験する「VR的な効果」も期待できる。



第1図 提案手法のコンセプト

3 提案手法の概要

前述のとおり、ある時間断面での注視点情報と、そ

れに同期した言語情報は互いに関連性が深いと考えられる。マルチモーダル情報統合のイメージを第2図に示す。提案手法では、作業者が視線計測デバイスを装着し、オペレーション中の視野内の注視点と、これに同期した音声発話を記録する。発話については音声認識を行い、言語情報と発話の時間情報を取得する。そして、注視点の空間座標と言語情報の時間的な同期を解析することによって、ベテランの行動に現れる暗黙知をデジタルコンテンツとして記録する。以下、提案手法で用いた各要素技術について概要を述べる。

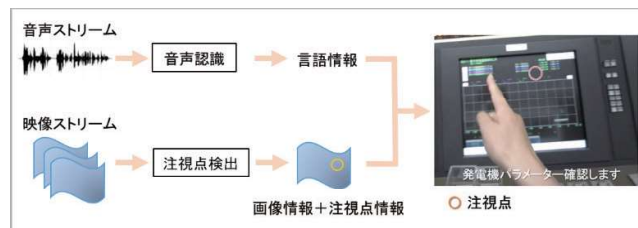
(1) 注視点計測

これまで注視点計測の実現手段として、赤外線センサにより眼球の瞳孔位置を推定し、幾何学的射影により主観画像上の相対座標として注視点位置を同定する手法（角膜反射法、暗瞳孔法、ステレオ画像法など）が提案されている。今回はこれらの手法を実装した眼鏡型の商用デバイスを用いた（Tobii Glass2, Glass3）。

(2) 音声認識

2010年頃から音声認識においてもニューラルネットワークに基づく手法の検討が始まり、2015年頃から系列変換モデルに基づくEnd-to-End音声認識手法の検討が盛んに行われるようになった。現在ではAttention/Transformerに基づく手法が主流となっている。本研究では、TransformerとCTCを併用したEncoder-Decoder方式を用いた。

End-to-End音声認識手法では、モデル学習に音声と書き起こしテキストのペアが必要であり、データ整備にコストを要していた。そこで、我々はニューラル音声合成を用いて、テキストデータのみから学習データを自動生成する「データ拡張」の枠組みを検討した。



第2図 マルチモーダル情報統合

(3) 動画検索

前述の手法で生成したコンテンツを対象とし、音声認

識結果の文字列をインデックスにした任意キーワードによるシーン検索機能を検討した。検索インターフェースの画面例を第3図に示す。

filename	start_time	caption
20211117T041321Z	151.2	長報告ミ ーの警報
20211117T041321Z	456.5	長報告ミ ターがこ
20211117T041321Z	1010.8	長報告水 信号入ッ 出てませ
20211117T041321Z	1080.9	副長報告
20211117T041321Z	1157.9	報告



第3図 動画検索の画面例 (検索キーワード「報告」)

4 評価

(1) 注視点計測

訓練シミュレータを用いた20分～50分程度の操作訓練20セッションで試行を行い、注視点座標(50fps)が適切に記録できることを確認した。

(2) 音声認識

音声認識モデルの学習においては、日本語話し言葉コーパスCSJ(約580時間の講演音声)を用いて初期モデル(Baseline)の学習を行った。そして、視線計測デバイスの内蔵マイクで収録した11セッション(約3時間)の音声を用いて前記初期モデルの転移学習モデル(Fine-tuning)を作成した。さらに、音声合成によってタスクの書き起こしテキストからデータ拡張を行い(ランダムに約5,000文の音声を生成)、転移学習モデルの再学習を行った(TTS)。評価データとして、視線計測デバイスで収録した学習に用いていない1セッション(23分)の音声を用いた。性能評価結果を第1表に示す。

第1表のFine-tuningの結果より、転移学習による誤り低減効果を確認した。また、TTSの結果より、ゲインは小さいが音声合成によるデータ拡張の効果を確認することができた。

第1表 音声認識の性能評価(文字誤り率 CER %)

Baseline	Fine-tuning	TTS
37.6	21.5	20.1

(3) 動画検索

生成したコンテンツを用い、教育関係者に当該機能のレビューを行ったところ、キーワード検索によるシーンの頭出しは、訓練後の振り返りなどに有用であるとの意見が得られた。

(4) アンケート評価

提案手法の有効性評価の一つとして、アンケートによる定性評価を行った。被験者は発電所運転員及び研修関係者の合計7名である。評価では、被験者に研究概要を説明し、生成したコンテンツを視聴後(約30分程度)、

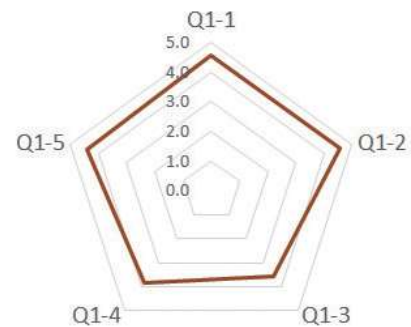
第2表及び第3表に示す5段階評価の質問に回答していただいた。結果を第4図及び第5図に示す。いずれの項目も被験者平均で概ね4以上と高い評価値が得られ、提案手法のコンセプトと教育効果に関し有効性が示唆される結果が得られた。

第2表 コンセプトに関する質問

- Q1-1 提案方式はベテランの暗黙知の記録手段として有効であると思う。
Q1-2 運転操作時の注視点に暗黙知が含まれていると思う。
Q1-3 運転操作時の発話に暗黙知が含まれていると思う。
Q1-4 運転操作時の身体動作に暗黙知が含まれていると思う。
Q1-5 提案方式はベテランの技の継承に有用であると思う。

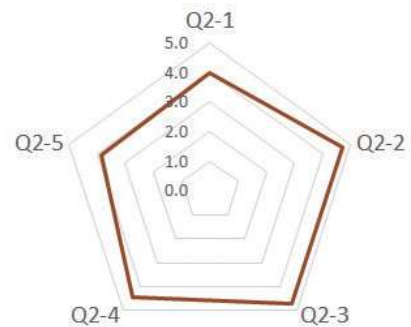
第3表 教育効果に関する質問

- Q2-1 提案方式は自律的な学習に効果的であると思う。
Q2-2 提案方式を用いることによりベテランの技を「追体験」する効果が期待できる。
Q2-3 提案方式を視聴することにより普段では意識しない「気づき」が得られると思う。
Q2-4 注視点と発話を同時に視聴することにより技能習得における理解が深まる。
Q2-5 提案方式を用いることにより自主的に学習する意欲がわく。



そう思わない ← [1・2・3・4・5] → そう思う

第4図 コンセプトに関する質問 (被験者平均)



そう思わない ← [1・2・3・4・5] → そう思う

第5図 教育効果に関する質問 (被験者平均)

5 まとめ

本研究では、ベテランの暗黙知の記録手段として、作業者の注視点と発話に着目しマルチモーダル情報を統合した教育コンテンツ技術について検討を行った。そして、シミュレータ訓練における初期評価により、提案手法の実現性及び教育研修での有効性をある程度確認することができた。今後は、提案手法を応用した教育支援機能について検討していく予定である。