

講演3. 事業用自動車のドライバを対象とする AI を用いたマイクロスリープ注意喚起システムの開発のための基礎的調査

環境研究部

※田中 信壽 新国 哲也

1. はじめに

運転中に発生するマイクロスリープ（3～15秒間の睡眠状態、極短時間の居眠り）は、注意と覚醒が一時的に断絶される状態であり、車線逸脱や追突など深刻な事故に直結する¹⁾。特に事業用自動車では、乗客や物流に対する安全性を確保する上で重大な問題となりうる。こうした事故を抑止するため、旅客・貨物を問わず、事業用自動車を運行する事業者には、運行管理者による点呼が法令で義務付けられている。点呼では、健康状態や疲労・飲酒の有無などを確認し、乗務の可否を判断する。しかし、点呼を行ったドライバが運行中にマイクロスリープを生じ、事故に至る事例は少なくない。点呼は主観的な申告や短時間の観察に依存しており、眠気の兆候が表出していない段階では見逃される可能性がある。

マイクロスリープは睡眠障害（SAS等）を有する者だけでなく、健常者にも発生し得る。昼食後、長時間運転、深夜の業務、単調な道路環境など、覚醒水準が低下する要因は日常的に存在する。現行のドライバモニタリングシステムは視線やまぶたの動きを指標とするが、眠気の関連行動が身体に表出するまで反応せず、発生直前の検知にとどまり、予兆の把握には不向きである。マイクロスリープを事前に完全に予見することは難しいが、それでも兆候の検出と注意喚起によってリスクを軽減できる可能性があると考えている。

本研究は、乗務前の点呼を通過したドライバに対し、運行管理の一環として、適切なタイミング（業務中の再乗車のタイミング等）で覚醒水準の低下を評価し、マイクロスリープの発生を注意喚起する AI を用いた対話型システムの開発を最終的に目指している。

ここでは、これらを実現するために行った基礎的調査（事故事例、運行管理に関する法規、眠気評価実験の結果など）について報告する。

2. 居眠り運転が原因とされる事故事例

国土交通省物流・自動車局では、平成26年6月、「交通事故総合分析センター」を事務局として、同省道路局及び警察庁とも協力し、各分野の専門家から構成される「事業用自動車事故調査委員会」を設置し、事業用自動車の重大事故について事故要因の調査分析を行っている。事業用自動車事故調査委員会では、発生した重大事故の調査を特別重要調査（社会的影響が大きく、事故調査委員会による特別な調査、要因分析及び再発防止策の提言が必要なもの）及び重要調査（特別重要調査対象事故以外の事故であって、事故調査委員会による要因分析及び再発防止策の提言が必要なもの）に分け分析し、報告している。事業用自動車事故調査委員会設置後5年間で、最も多く調査対象とされた事故が、過労運転による居眠り事故であった（11件）²⁾。なお、Kumagaiら³⁾はトラックドライバによる居眠り運転事故のドライブレコーダー映像を分析し、衝突直前の居眠りの実態はマイクロスリープであるとしている。以下に具体的な事例を示す。

特別重要調査の対象とされている平成28年3月に広島県の山陽自動車道下り線八本松トンネルにおいて発生した事故では、中型トラックが片側2車線の第1通行帯を走行中、渋滞で停止中の車列に追突し、合計12台の車両が関係する多重追突事故が発生するとともに、この中型トラックを含む5台の車両に火災が発生した。この事故により、相手車両の運転者2名が亡くなり、他の運転者3名及び同乗者1名の計4名が軽傷を負った。この事故の調査報告では、原因は運転者が事故発生日までの連続する乗務疲れからきた居眠り運転とされている。また、同様に特別重要調査の対象とされている平成29年8月に徳島県で発生した大型トラックの事故では、大型トラックが走行中、路側帯に車両故障のため駐車していたマイクロバス

に衝突し、その衝撃でマイクロバスは道路左側のガードレールを乗り越え、約6 m下の法面に転落した。この事故により、マイクロバスの乗客1名と運転者が亡くなり、乗客2名が重傷を負い、12名が軽傷を負った。この事故の調査報告では、この原因もまた、運転者の疲労蓄積による居眠り運転とされている。

3. 運行管理の関連法規

一般旅客自動車運送事業者には道路運送法第27条、また一般貨物自動車運送事業者には貨物自動車運送事業法第15条により、運行の安全を確保するための措置を講じる義務が課せられている。この措置の一環として、点呼の実施が位置づけられている。点呼には、乗務前及び乗務後点呼、並びに乗務途中に実施する中間点呼の3種類が存在する。これらの点呼は、旅客自動車運送事業運輸規則第24条及び貨物自動車運送事業輸送安全規則第7条により、事業者を実施が義務付けられている。

乗務前点呼では、運転者が乗務を開始する前に、健康状態や酒気帯びの有無などを確認し、安全な運行が可能かをチェックする。次に、業務終了時には乗務後点呼を行い、車両、道路及び運行の状況を把握する。加えて、長距離運行などで乗務前後の点呼が困難な場合は、運行途中に電話などで行う中間点呼が求められる。これらの点呼の義務は、ドライバの健康状態や車両の安全性を確認し、事故を未然に防止することを目的としている。

一般旅客自動車運送事業者及び一般貨物自動車運送事業者が法令違反などを犯した場合には、それぞれ道路運送法第四十条及び貨物自動車運送事業法第三十三条によって、国土交通大臣が事業の停止や許可の取消しなどの行政処分を行うことができることが定められている。行政処分の詳細に関しては、「一般貸切旅客自動車運送事業者に対する行政処分等の基準について」や「貨物自動車運送事業者に対する行政処分等の基準について」等の通達に基づいて行われる。

4. 乗務前点呼の概要

乗務前点呼は、事業用自動車のドライバが乗務を開始する前に、運行管理者が実施しなければならない点呼である(表1)。これは、ドライバの健康状態や安全運転の可否を確認し、必要な指示を与えることを目的としている。この点呼は、原則として運行

管理者が対面で実施しなければならない。ただし、遠隔地での運行ややむを得ない事情がある場合の電話による点呼、対面と同等の効果を有するものとして国土交通大臣が定める遠隔点呼や自動点呼も認められる。点呼の際には、まずアルコール検知器を用いて酒気帯びの有無を確認し、ドライバが飲酒の影響を受けていないことを確実にする必要がある。また、ドライバの疲労や睡眠不足、疾病の有無を確認し、安全運転が可能な状態であるかを判断することが求められる。加えて、運転免許証の有効期限や種類の確認を行い、無資格運転が発生しないよう管理することも重要である。車両の日常点検が適切に実施されたかをドライバに確認し、車両に異常がないことを確認した上で、安全な運行が可能であると判断された場合にのみ、乗務を許可する。さらに、運行経路や目的地、休憩地点、天候や道路状況に応じた運転上の注意点など、具体的な指示をドライバに伝達することも必要とされる。このように、乗務前点呼は、ドライバの健康状態や車両の安全性を確認し、事故の未然防止を図るために極めて重要な業務である。そのため、運行管理者は適切な点呼を確実に実施し、安全運行の確保に努めなければならない。

一方、ここまでの確認を徹底してもなお居眠り運転事故を起こす一定数のドライバが、この“ふるい”をすり抜け、交通参加者となってしまっている現状がある。そこで、著者らは、このようなドライバに対して業務中のマイクロスリープの発生を注意喚起するシステムの開発を想定した。

表1 乗務前点呼の主な確認項目

確認項目	内容
酒気帯びの有無	アルコール検知器を使用し、飲酒の影響がないことを確認する。
疲労・睡眠不足・疾病の有無	ドライバの体調を確認し、安全運転が可能な状態であるかを判断する。
運転免許証の有効期限・適性	運転免許証を確認し、有効期限切れや適性違反がないことを確認する。
車両の日常点検の実施状況	ドライバが日常点検を実施したかを確認し、車両に異常がないことを確認する。
運行経路・目的地の確認	運行経路、目的地、休憩地点などを明確にし、安全な運行計画を確認する。
天候・道路状況の確認	当日の天候や道路状況に応じた注意喚起を行い、安全運行を指示する。
運行に関する指示の伝達	安全運転の留意点、休憩指示、速度管理などをドライバに指示する。

5. 生成 AI を用いた音声 User Interface (UI)

昨今、AI の急速な技術革新により、AI と人との間で自然言語による会話が可能になりつつある。これにより近年車載された音声 UI は、単なる音声コマンドの実行を超え、生成 AI (特に Multimodal LLM) の活用により、高度で自由な対話を実現している。メルセデス・ベンツの「MBUX」は、ChatGPT を統合することで従来の音声操作機能を拡張し、自然な対話形式による情報検索や車内操作を可能としている。フォルクスワーゲンの「IDA」は、Cerence 社の「Cerence Chat Pro」を基盤に ChatGPT を統合。ナビ設定や空調調整に加え、一般的な知識に関する質問にも自然な対話で応じる。プジョー、オペル及びボックスホールは、「SoundHound Chat AI」を採用し、天気予報やエンターテインメント情報など、幅広いトピックに対応している。このような現状を踏まえ、著者らが開発を目指すシステムでは、AI エージェントが優秀な運行管理者となり、ドライバとの会話の中からドライバの眠気を見抜き、マイクロスリープの発生を予測して注意喚起できるようなものをユースケースとして実現できるのではないかと考えている。

6. 眠気の評価方法

人が人と話す時、その受け答えから相手の眠気に何となく気づくことは多々ある。著者らは、これを AI を用いて具現化し、マイクロスリープの発生を注意喚起するシステムの実現を目指しているわけだが、そのためには実際、人が会話中のどのような特徴を捉えて、相手の眠気を感じているかを明らかにする必要がある。そこで、本研究では、眠気による会話中の発話に関する能力 (以下、発話能力) の変化に注目し、これを評価するための実験を行うこととした。

6. 1. 眠気と発話能力との関係

会話能力のうち、特に言語処理能力、流暢性、応答速度、感情表現、ワーキングメモリ (作業記憶) の容量などが、眠気によって顕著な影響を受けるとされる。眠気が増すことで脳の前頭前野の活動が低下し、適切な語彙選択が困難になることで、言い間違いの増加、言語構造の乱れの発生、話の論理性の低下が生じる³⁾。また、言語想起の遅延が顕著であり、適切な単語を思い出すのに時間を要することが確認されている³⁾。さらに、眠気はワーキングメモリの低下を引き起こし、会話中の情報を適切に処理する能力が減退す

ることが指摘されている⁴⁾。眠気が強い状態では応答速度が低下し、相手の発言に対する反応が遅くなる。これは注意資源の減少に起因し、睡眠不足時には認知負荷の高いタスク (例: 即時の適切な返答) が困難になることが示されている⁵⁾。眠気の影響は発話内容のみならず音声的特徴にも及び、睡眠不足の状態では発話速度が減少し、声の抑揚が少なくなることが報告されている⁶⁾。その結果、会話が単調になり、感情表現が乏しくなる傾向がある。

一方、会話には眠気を軽減する効果があることが示唆されている。会話は脳の複数領域を活性化させ、注意を喚起することで覚醒水準を一時的に向上させる可能性がある。特にインタラクティブな会話 (例: 質疑応答を含む会話) においては、前頭前野の活動が促進されることが報告されており⁷⁾、これにより眠気の進行を抑制する可能性がある。

以上のことから、眠気は発話能力低下を引き起こす原因となる一方で、会話は覚醒レベルを上昇させるといった密接な関係が眠気と発話能力との間にはある。

6. 2. 被験者実験

ここでは、本研究の一部として行った眠気に対するワーキングメモリの容量の変化を評価した簡易的な被験者実験について報告する。ワーキングメモリの容量の変化の評価は以下の方法で行った。なお、本実験は、当研究所の「人間を対象とする実験に関する倫理規定」に基づいて事前に審査が行われ、その承認のもとに実施した。被験者には、実験内容を説明し、実験参加への同意 (インフォームド・コンセント) を得た。

【数字記憶テスト】

被験者と試験官との間で互いに 0~9 までの任意の数字を言い合う。但し、数字を言う前には、それまでにお互いが言い合った数字を順番にすべて復唱する。被験者が復唱を間違ったところでテストを終了する (試験官はメモを取りながら実施。被験者は連続して同じ数字を言うことが禁じられている)。

【被験者】

人数: 4 名 (男性: 2 名、女性: 2 名)、年齢: 平均 37.25 歳 標準偏差 7.85、属性: 運転免許保持者

試験は以下の時間帯に実施した。各試験では、まず始めにカロリンスカ眠気尺度を用いた眠気の主観評価を実施する。その後、数字記憶テストを 3 回実施した。各試験の間の時間帯は、トラックの運転ゲームを行わせた。

16:30 試験 1 回目 | 19:30 試験 2 回目 |
 23:00 試験 3 回目 | 01:30 試験 4 回目 |
 03:30 試験 5 回目 | 05:00 試験 6 回目 |
 05:30 仮眠開始 | 07:00 仮眠終了、試験 7 回目
 (休憩時間：20:00～21:00、02:00～02:30 及び運転
 ゲーム実施時間帯の 10 分間以下 (取得は任意))

6. 3. 実験結果

図 1 にカロリンスカ眠気尺度による被験者の眠気の時間変化を示す。No. 1、2、及び 4 の被験者は、時間経過に伴って眠気が高まり、その後、低下する傾向が確認された。一方、No. 3 の被験者は、ほとんど眠気を生じず、仮眠後に最も眠気が高まった。

表 2 に各試験における数字記憶テストの復唱文字数の平均を示す。No. 1、2 及び 4 の被験者は、概ね眠気が高まると復唱文字数が減少する、想定通りの傾向を示した。一方、No. 3 の被験者は、眠気と復唱文字数の間に関連性がみられなかった。但し、この被験者は、明け方 3:30 に復唱文字数が最も低かったことを考えると、眠気の自覚が無い状態でワーキングメモリの容量が低下していた可能性がある。

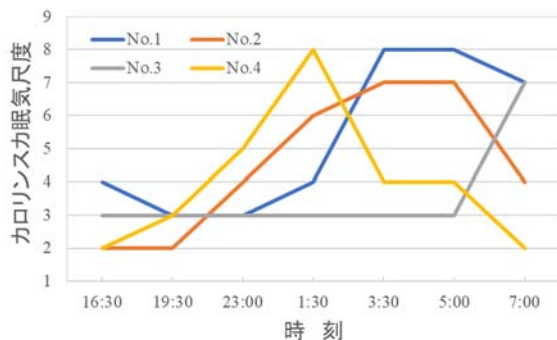


図 1 眠気の時間変化

表 2 復唱文字数の時間変化

試験回	被験者No.							
	1		2		3		4	
	カロリンスカ眠気尺度	復唱文字数の平均	カロリンスカ眠気尺度	復唱文字数の平均	カロリンスカ眠気尺度	復唱文字数の平均	カロリンスカ眠気尺度	復唱文字数の平均
1	4	8.00	2	7.33	3	7.33	2	9.33
2	3	6.67	2	6.67	3	6.67	3	10.67
3	3	7.33	4	7.33	3	7.33	5	10.67
4	4	6.00	6	7.33	3	8.00	8	8.00
5	8	6.00	7	6.67	3	6.00	4	8.67
6	8	6.67	7	6.67	3	6.67	4	10.00
7	7	8.00	4	7.33	7	6.67	2	14.67

赤字：眠気尺度の最高値 青字：復唱文字数の平均の最小値

カロリンスカ眠気尺度：1 (非常にはっきり目覚めている) ～9 (とても眠い、起きているために大変な努力をして眠気と戦っている) までの 9 段階の眠気尺度

7. まとめ

本報告では、事業用自動車の事故実態、ドライバの点呼の現状を関連法規と合わせて総括しつつ、マイクロスリープの発生を注意喚起するシステムの開発の一部について示した。現状、本システムで眠気を検出する上で評価すべき会話中の発話能力としては、ワーキングメモリの容量変化が有力である可能性が被験者実験の結果から得られた。

8. 今後の課題

眠気を検出する上で評価すべき会話中の発話能力としては、ワーキングメモリの容量変化の他にも、流暢性、反応速度、言語想起の遅延などが考えられる。今後は、眠気が生まれるメカニズムや神経機序も考慮し、マイクロスリープの発生の予見において有効な指標の選定に注力していく必要があると考えている。

参考文献

- 1) H. Kumagai et al., "Dashcam video footage-based analysis of microsleep-related behaviors in truck collisions attributed to falling asleep at the wheel," Accident Analysis & Prevention, vol. 187, Article 107070, 2023.
- 2) 事業用自動車事故調査委員会, 事業用自動車事故調査委員会 5 年総括, 国土交通省, 令和 2 年 8 月
- 3) Y. Harrison et al., "The impact of sleep deprivation on decision making: A review," Journal of Experimental Psychology: Applied, vol. 6, no. 3, pp. 236–249, 2000.
- 4) W. D. S. Killgore et al., "Sleep deprivation and cognitive performance," in Sleep Deprivation and Disease: Effects on the Body, Brain and Behavior, M. T. Bianchi, Ed., New York, NY: Springer, pp. 209–236, 2014.
- 5) J. S. Durmer et al., "Neurocognitive consequences of sleep deprivation," Seminars in Neurology, vol. 25, no. 1, pp. 117–129, 2005.
- 6) Y. Harrison et al., "Sleep deprivation affects speech," Sleep, vol. 20, no. 10, pp. 871–877, 1997.
- 7) E. Redcay et al., "Live face-to-face interaction during fMRI: A new tool for social cognitive neuroscience," NeuroImage, vol. 50, no. 4, pp. 1639–1647, 2010.