

13. 発話音声による疲労評価実験の手法と結果

機上等技術領域 塩見格一

1. はじめに

当所では、2004年より国土交通省総合政策局技術安全課殿、及び科学技術振興機構殿からの受託を受け、発話音声による心身状態等評価システムの実用化を目的とする研究開発を行っている。

研究内容は、1998年以来当所で開発を進めて来た発話音声分析技術の信頼性の評価を第1の目的としており、鉄道総合技術研究所殿及び東北大学殿と様々な疲労環境における発話音声を収集し、その分析を行ってきた。

平成17年度には、鉄道総合技術研究所殿と共同で、本件に係る研究開発開始以来最大規模の疲労検出実験を行い、目覚ましい成果を上げることができたので、以下にこれを報告する。

2. 実験概要

鉄道総合技術研究所殿の鉄道車輛運転シミュレータを用いて、被験者が運転業務模擬作業中に居眠りを起こすほどに疲労させ、健常状態から疲労状態に至る間の発話音声を収録し、発話音声から算出される脳活性化指数値の変化を計測した。

実験は5日間で構成され、始めの3日間はシミュレータの訓練に充て、残り2日間は疲労計測実験の

本番とした。

図1は、実験の経時的な流れを示したものであり、本番では、被験者に対して、5駅間の片道運転を1系列と呼ぶ運転業務模擬作業を、1試行8系列（約100分）として、運動前に1試行、運動後に5試行、睡眠後に1試行行わせる方法で実施した。

なお、被験者に負荷した運動は、連続的な運転業務模擬作業中に強い疲労感や眠気を発現させることを目的として課したものであり、最高心拍数の70～80%の心拍数における運動を、30分置きに生理データの計測を行いながら約4時間負荷した。

この運動は、20kg程度の荷物を背負って階段を昇り降りする程度の強度の運動であり、常人にはかなりきつい運動である。被験者としては、体育系の大学生を採用したが、彼らにおいても4時間の運動後にはかなりグッタリする程のものであり、医師の指示に従い心電図を監視しながら不測の事故が起きない様に注意して行った。

なお、本実験を始めるにあたっては、実験計画を東北大学の倫理委員会に提出し、その内容の妥当性と実施体制について、十分に適正なものであるとの判定を得た。

本実験では発話音声の他に脳波、フリッカ値、心

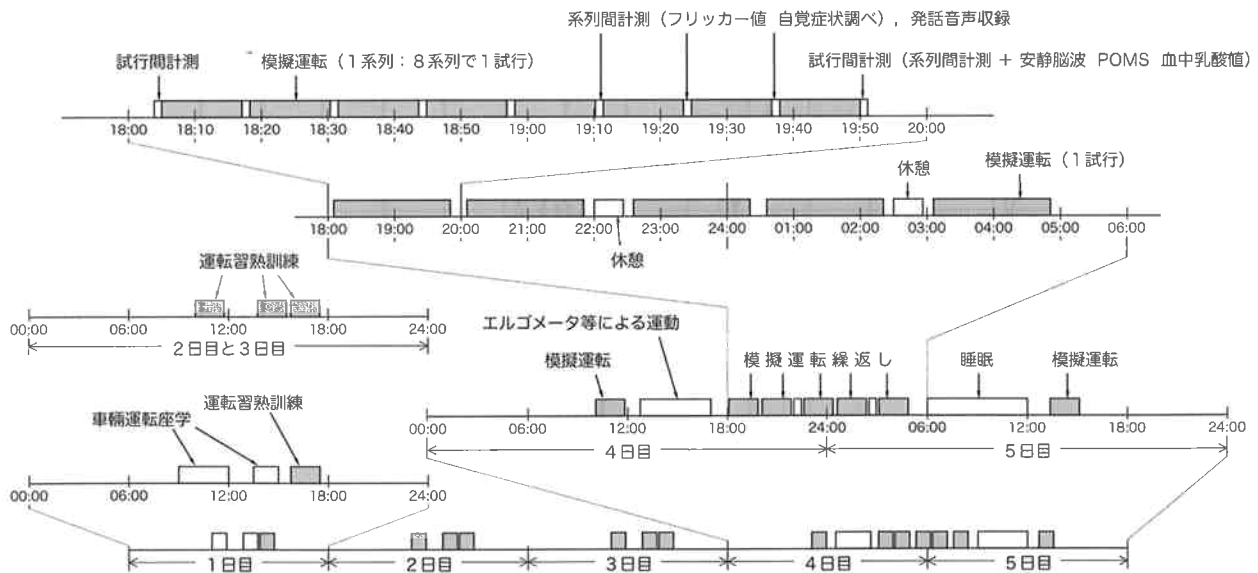


図1 列車運転シミュレータを用いた疲労計測実験の概要

電図、等の生理データを併せて収集し、また自覚症状調書を取った。また、実験状況は、ビデオ映像としてもその全てを記録した。

発話音声の収集は、系列間には、日本の昔話を6～8秒で朗読できるようにアレンジした8枚の朗読カードを用い、それらからランダムに3枚を選び、これらを朗読させることにより収集し、運転業務模擬作業中の発話（「次の停車駅は〇〇。」「戸締めよし！時刻よし！出発進行！発車！」、「定発（定刻発車）／延発〇〇秒」、・・・「閉塞進行〜！」、・・・等々）も併せて収集した。

発話音声のカオス性を評価しようとする場合、非圧縮音声として収録することが必要であるため、目的に対応させ4種類のPCMレコーダ（16/24bit, 44.1/48.0kHz）により録音した。マイクロフォンはAKG社製のヘッドセット・マイクロフォン#420Cを被験者の頭部に装着し、他にスタンドマイクとワンマンバスのアナウンス用の胸留めマイクロフォン、骨伝導ピックアップを使用した。

なお、被験者に対するマイクロフォンおよび電極等の装着状態については文献[3]を参照のこと。

3. 実験結果

図2に示す実験結果は、連続的な運行業務模擬作業後の睡眠により、被験者が疲労状態から回復したと考えられる例である。

連続運行業務模擬中の発話音声から算出される脳活性度指数値の低下傾向は、フリッカ周波数の低下傾向と良く一致しており、その間の相互相関係数は

は0.637（データサイズは49）であった。基準値計測系列開始から回復状態評価系列終了までの相互相関係数も0.498（71）と高く、発話音声によりフリッカ計測と同等に被験者の大脳新皮質の活性度（覚醒度）が評価可能であることが示されている。

特に、発話音声による脳活性度指数値の変化においては、連続運行業務模擬作業中の休憩により、一時的に脳活性度が回復する様子が観測されており、フリッカ・テストによるよりも発話音声による方が、より敏感に大脳新皮質の活性状態が評価できる可能性が示されている。

図3に示す実験結果は、連続的な運行業務模擬作業後の睡眠によっても、被験者が疲労状態から回復しなかったと考えられる例である。この例においても、連続運行業務模擬中の発話音声から算出される脳活性度指数値の低下傾向は、フリッカ周波数の低下傾向と良く一致しており、その間の相互相関係数は0.504（47）である。なお、実験5日目の午前4時30分頃のフリッカ周波数計測データの欠落は被験者がその計測中に寝てしまったことに計測者が気付かなかったために発生したものである。

基準値計測系列開始から回復状態評価系列終了までの相互相関係数は0.597（68）と高く、図2に示した例と同様に、発話音声によりフリッカ計測と同等に被験者の大脳新皮質の活性度（覚醒度）が評価可能であることが示されている。本例においては、連続運行業務模擬作業期間において、2回の休憩後に一時的な回復が見られるものの急激な脳活性度

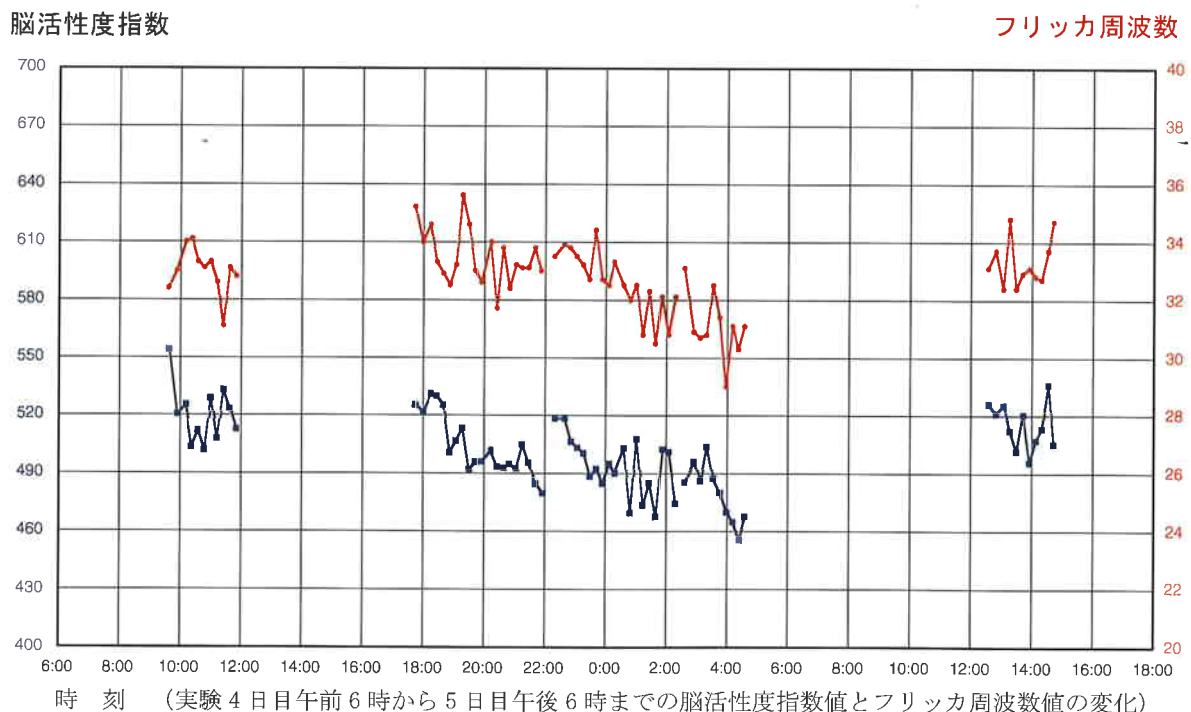


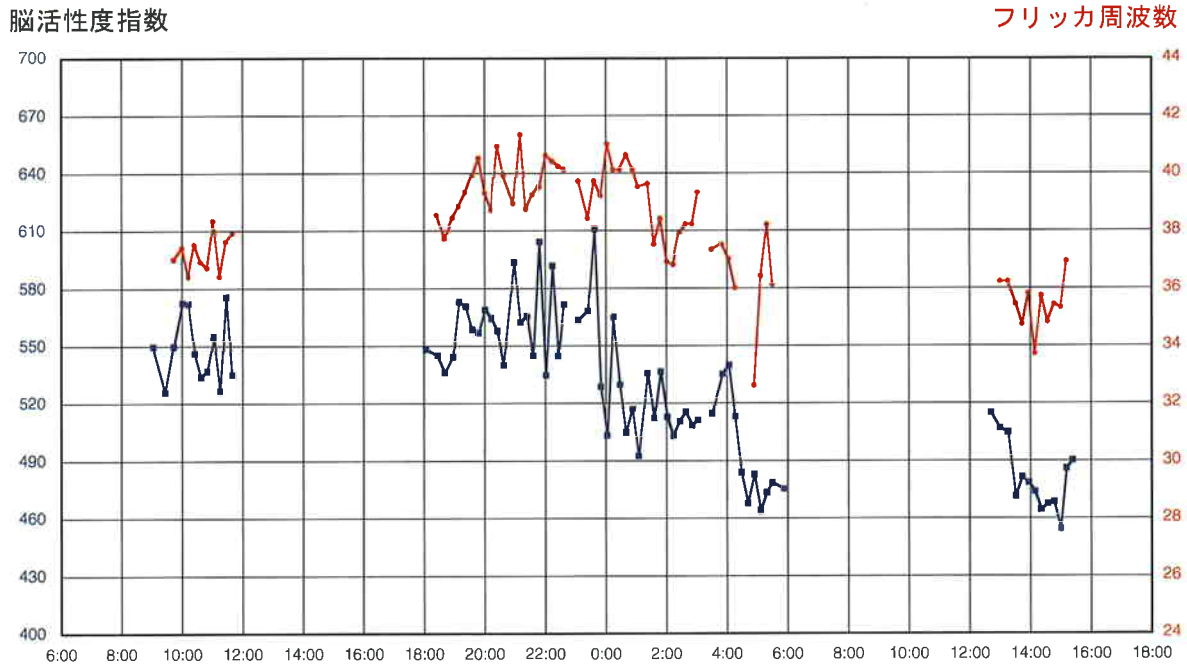
図2 睡眠により疲労が回復した例としての実験結果

の低下が発生し、以降比較的到低レベルな活性价態が継続していることが理解される。

本例の被験者は、実験第5日目午前4時30分頃、連続運行業務模擬作業における第5系列中第3試行の途中で、運転席に倒れ込み停車予定駅を通過する事故を起こしている。その後第5系列終了まで脳活性化度は回復することなく、極度な過労状態における

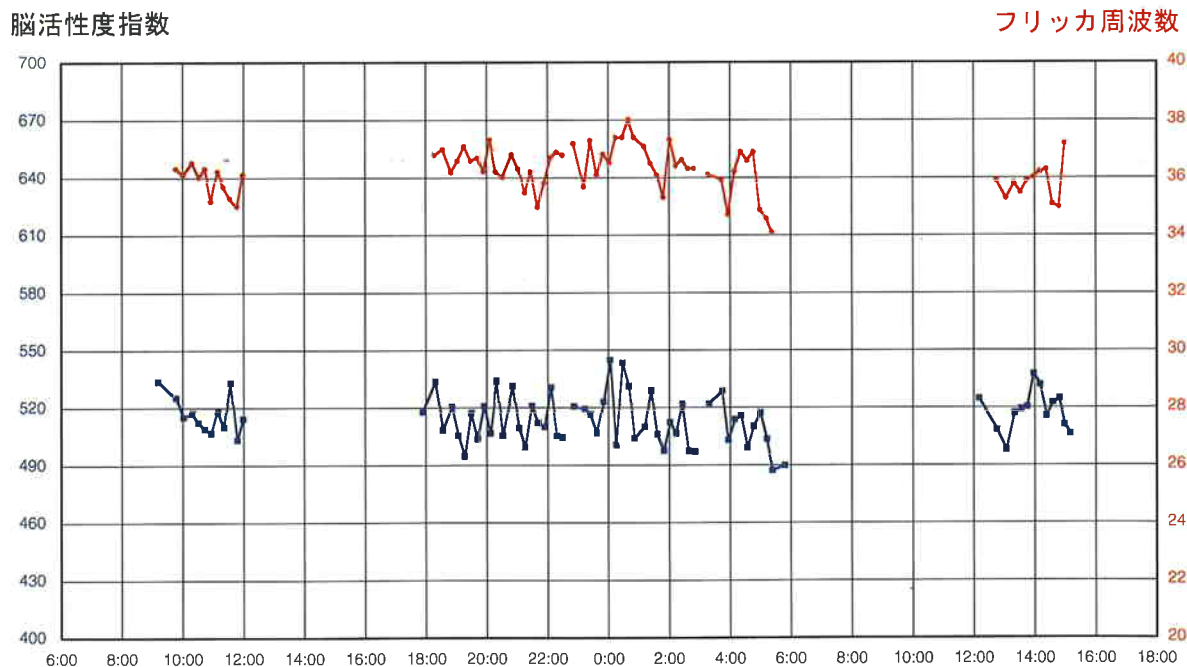
運行業務模擬作業継続の結果、その後の6時間の睡眠によっても平常状態への回復が果たされなかったことが観測されている。

図4に示す実験結果は、連続的な運行業務模擬作業期間中に、被験者が疲労に陥らなかったと考えられる例である。この例においては、脳活性化指数値



時刻（実験4日目午前6時から5日目午後6時までの脳活性化指数値とフリッカ周波数値の変化）

図3 睡眠によっても疲労が回復しなかった例としての実験結果



時刻（実験4日目午前6時から5日目午後6時までの脳活性化指数値とフリッカ周波数値の変化）

図4 連続的な運行業務模擬作業中に疲労状態に陥らなかった例としての実験結果

の変化とフリッカ周波数値の変化と共に、連続的な運行業務模擬作業期間中に若干の低下傾向は見られるものの、毎試行間の計測における変動に比較して明確な傾向が現れなかったために、双方の相互相関係数は0.298（49）と、“多少傾向は似ている。”程度の値となっている。

この実験結果は、脳活性度指数値によってはフリッカと同様な大脳活性度の評価ができないことを示すものではなく、毎試行間の変動程度のバラツキが、発話音声による脳活性度指数においても、またフリッカ周波数においても存在することを示していると考えることが適当と思われる。

この被験者の例において、毎試行間のバラツキが平均値514に対して標準偏差12.2であることから、発話音声から算出される脳活性度指数値には個人差が少ないことを前提とすれば、±25程度の変動によっては、何等被験者の心身状態の変化を断言することはできない、と考えることが適当と思われる。

今後の更なるデータの蓄積を待たなければならぬが、現状の発話音声信号処理技術によって実現可能な発話音声分析システムの感度は、健常状態における脳活性度指数値の分布に対して、標準偏差において3~4 σ 以上の変動が認められた場合には、その被験者の心身状態が健常状態から逸脱したものであると判断できる程度なのではなかろうか。

なお、本件実験結果の提示に使用した脳活性度指数値の尺度は、SiCECA-03rと呼ぶものであり、平成18年4月点においてフリッカ周波数との相関値が最も高いものである。

4. おわりに

平成17年には、必ずしもヒューマン・エラーとしてのみ捉えることは適当ではないが、4月25日のJR福知山線の事故では100名以上が犠牲となり、公共交通システムの安全性の確保の重要性が広く再認識された。その影響であろうが、本実験内容は、NHKの“おはよう日本”で放映され、日経新聞にも“運転士の声で集中力判断”として取り上げられた。

上記福知山線事故の類型は、我が国においては、新型のATSの整備等により二度とは起らないものになるであろう。しかしながら今後も、新たな技術が開発導入され、社会情報基盤等が変化し、これらの変化により人間と機械の間に、また技術や装置を開発提供する人間とこれを利用する人間との間に、意志や理解の不整合が生ずることは必然であり、その不整合が時に事故に、更には時として大事故に結び付くことは、残念ながら歴史の必然である。

予想できる事故を防ぐことは当然であって、予想外の事故等に対してもその被害を最小限に留めるための危機管理技術の開発は、今日の世界が切望しているものである。

仮に、先の福知山線の事故を“人間を含めたシステム”の誤動作による事故としてではなく、人災と捉えることとすれば、「運転手唯一人を守ることが可能であれば、その副作用により全乗客を救うことができた。」と考えることが出来る訳であって、本件研究開発の目的は、その運転手を運転手自身が自己管理をすることにより、またその管理者が運転手の心身状態を定量的に評価できる様にするにより、その運転手を守ろうとするシステムを実現することにある。

本研究において実現を目指すシステムは、運転手が過労状態に陥る以前に、また過度な緊張状態や更にはパニック状態に陥る以前に、その予兆を捉えて、事故に遭遇する可能性の増大を警告するシステムである。

パソコンの性能がムーアの法則に従って向上している現状から、上記の予防安全装置をリアルタイムに運用可能な実用型車載型装置として実現することは、1~3年の内には十分に可能と考えている。

なお、既に、現状において重量70kgで消費電力2~10kVA（要求パフォーマンスに依存）程度の試作第1号機を実現している。

本研究開発は、阿部産業、マイクロコマース、他の共同研究者の熱意に支えられ今日に至っており、筆者はその熱意に深く感謝すると共に、更に一層の実用化に向けての努力をお願い致したい。

文 献

- [1] 塩見 “発話分析から考える脳機能モデル” 感性工学研究論文集, Vol. 4, No. 1, Feb. 2004.
- [2] 塩見, 他 “発話音声によるストレス評価実験の手法と結果” 第6回日本感性工学会 大会, Sep. 2004.
- [3] 塩見 “発話音声による疲労評価実験の手法と結果” 第4回電子航法研究所研究発表会, Jun. 2005.
- [4] 塩見, 他 “発話音声による疲労状態評価検証実験の手法と結果” 日本人間工学会第35回関東支部大会, Oct. 2005.
- [5] <http://www.siceca.org>