

平成 21 年 6 月 11 日

作業信頼性評価技術と有効性検証実験計画

塩見格一（機上等技術領域）

音声信号の分析手法

[2つの分析手法]

1) 古典的な周波数分析

→ フーリエ解析, 時間局所性を問題とする場合にはウェーブレット解析

2) 未だ良くは分かっていないカオス論的な分析

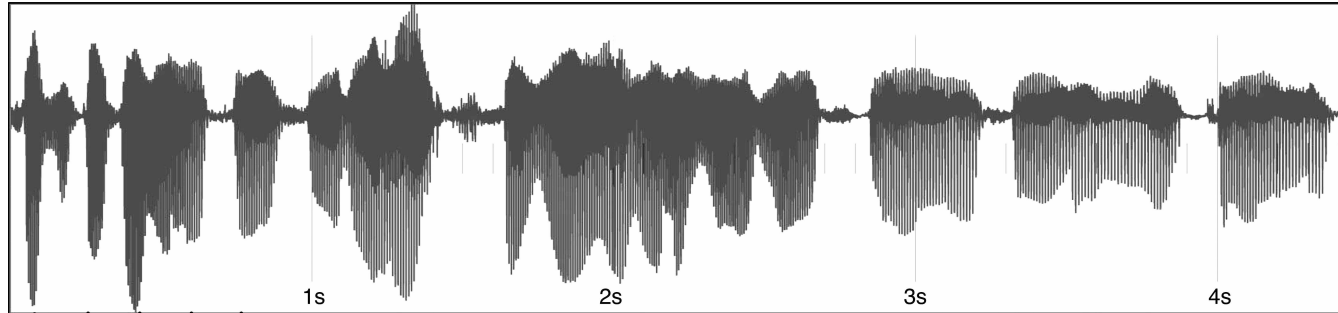
→ 時間局所的なカオス性はどの様に評価可能か? 何が可能になるのか?

2.1) SiCECA アルゴリズムを考案した。

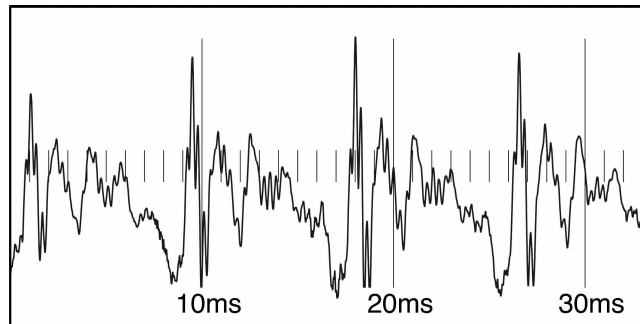
2.2) 発話音声から発話者の覚醒度の評価が可能となれば,

→ ヒューマン・エラーの防止に役立てることができる筈だ!

音声信号の周波数解析



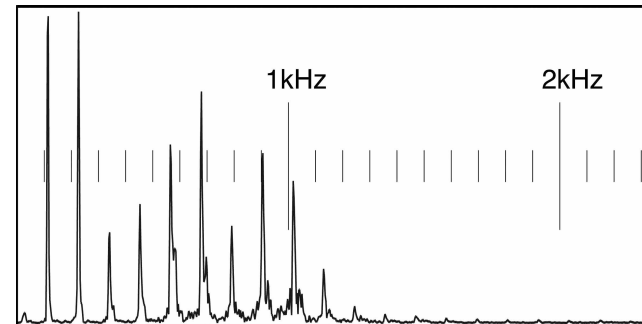
音声信号波形



「あ」音の波形



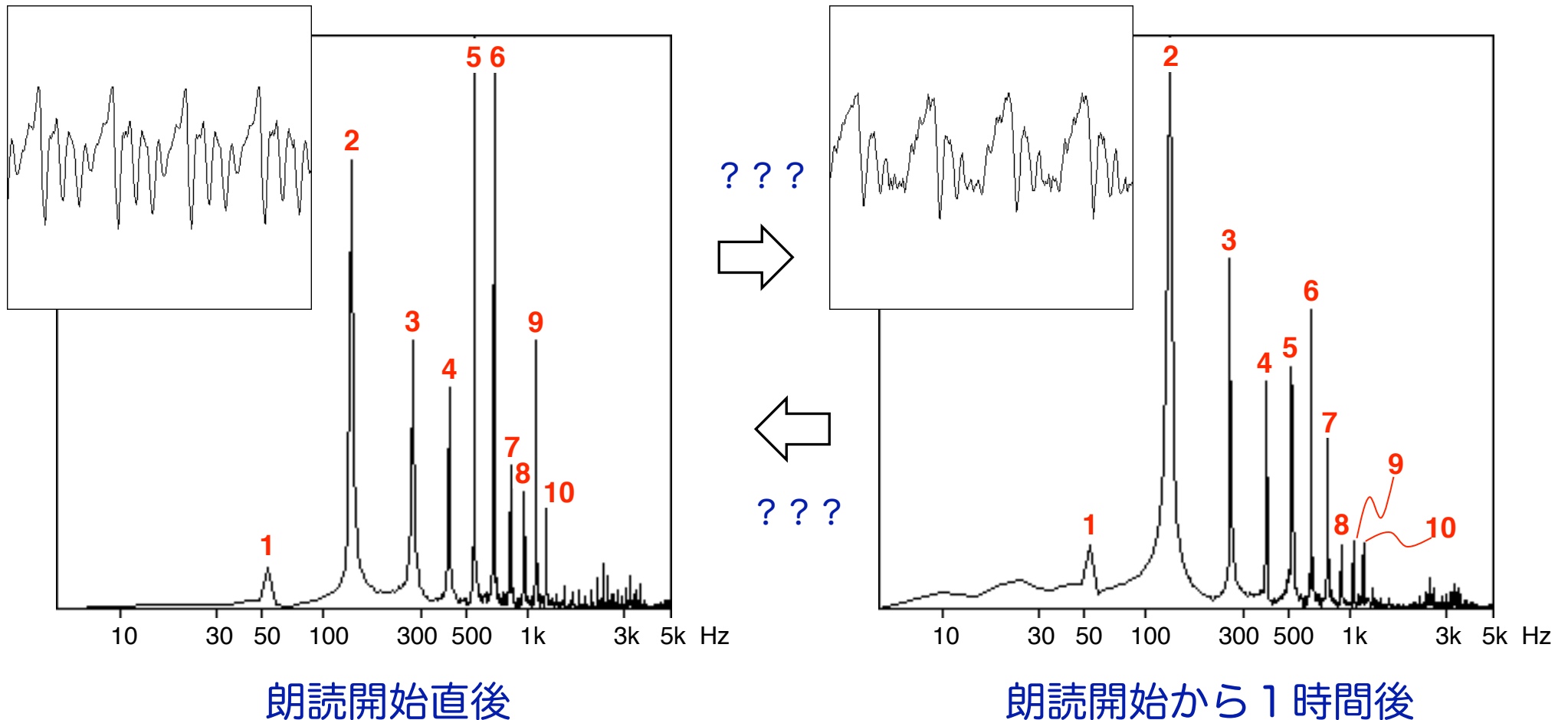
FFT



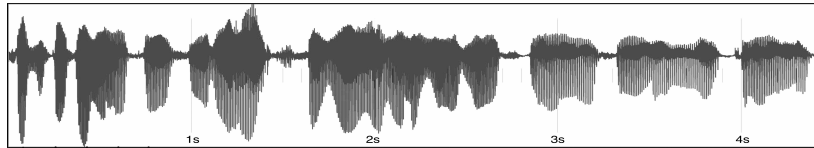
「あ」音のパワー・スペクトラム

発話音声のパワー・スペクトラム

1) スペクトラムのピーク位置（声紋）は個人に依存し，経時的には変化しない。

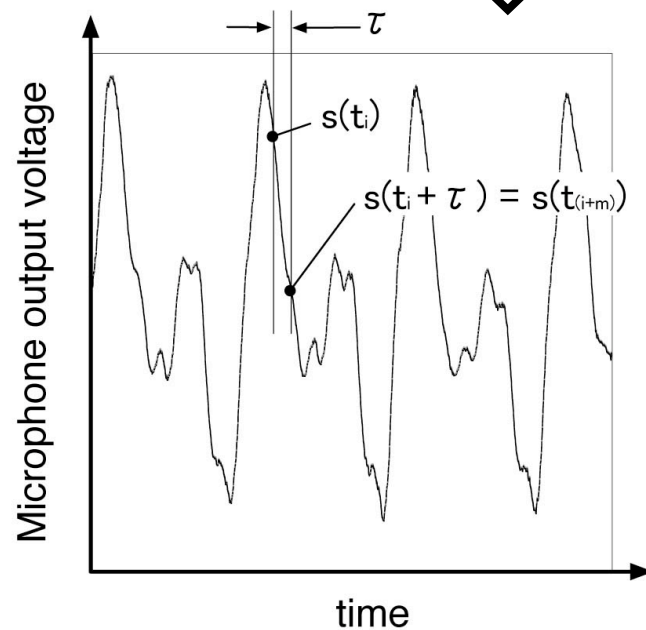


発話音声のカオス性の分析



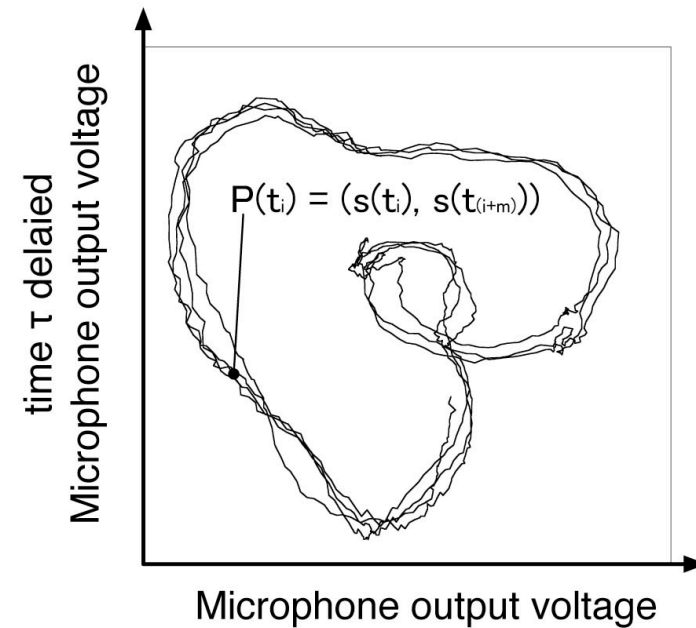
音声信号波形

切り出し



人間の声の波形

ターケンス
の埋め込み



人間の声のストレンジ・アトラクタ

※) ストレンジ・アトラクタはホメオスタシスの数学的な視覚化と理解できる。

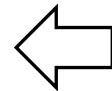
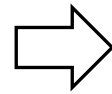
発話音声から生成されるストレンジ・アトラクタ

1) 1998年、発話音声の“ゆらぎ”の状態が、発話者の心身状態によって変化することを発見した。

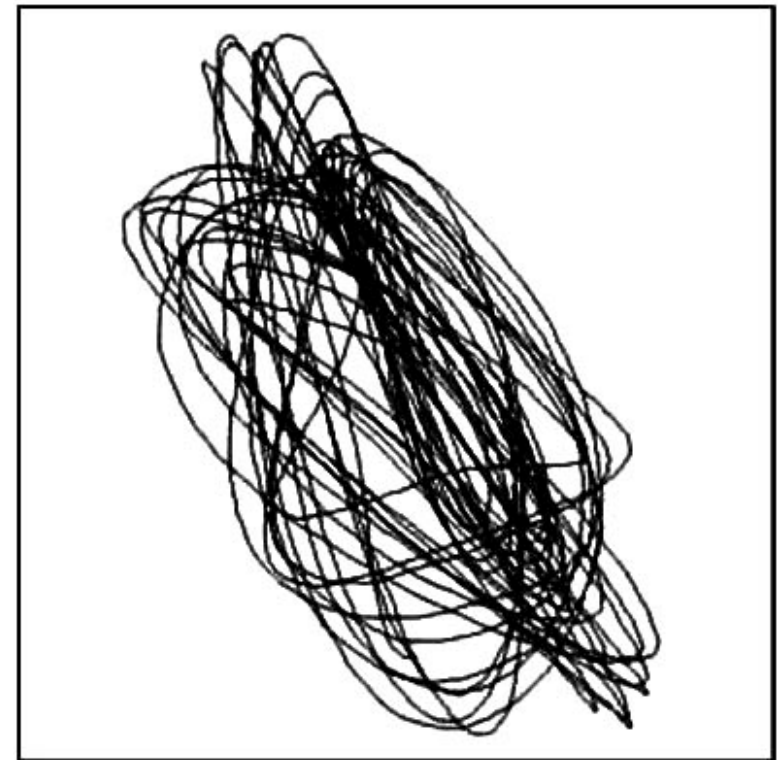


脳の活性度が低い状態

元気になる
or 緊張する

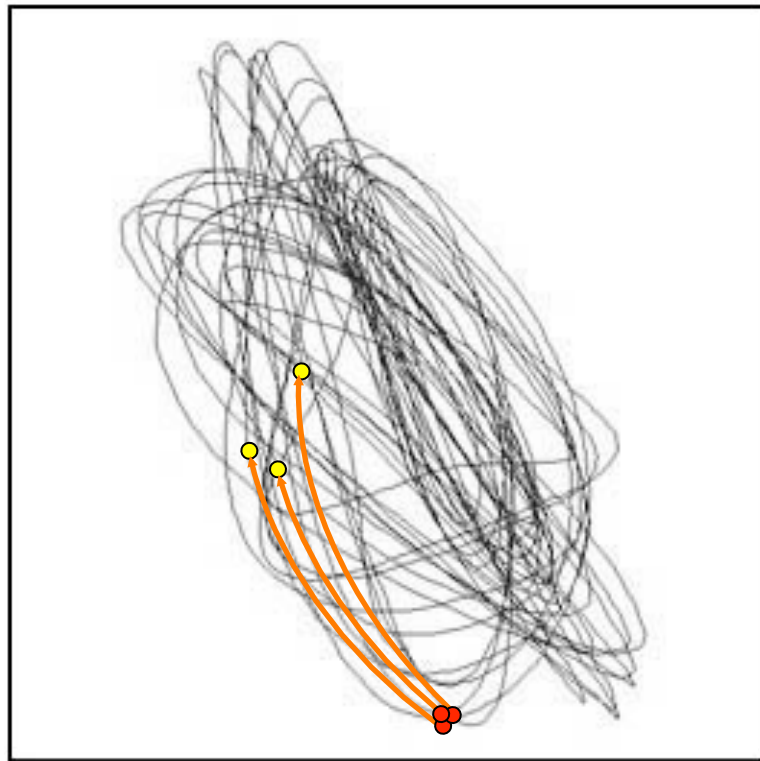


リラックス
or ぼんやり

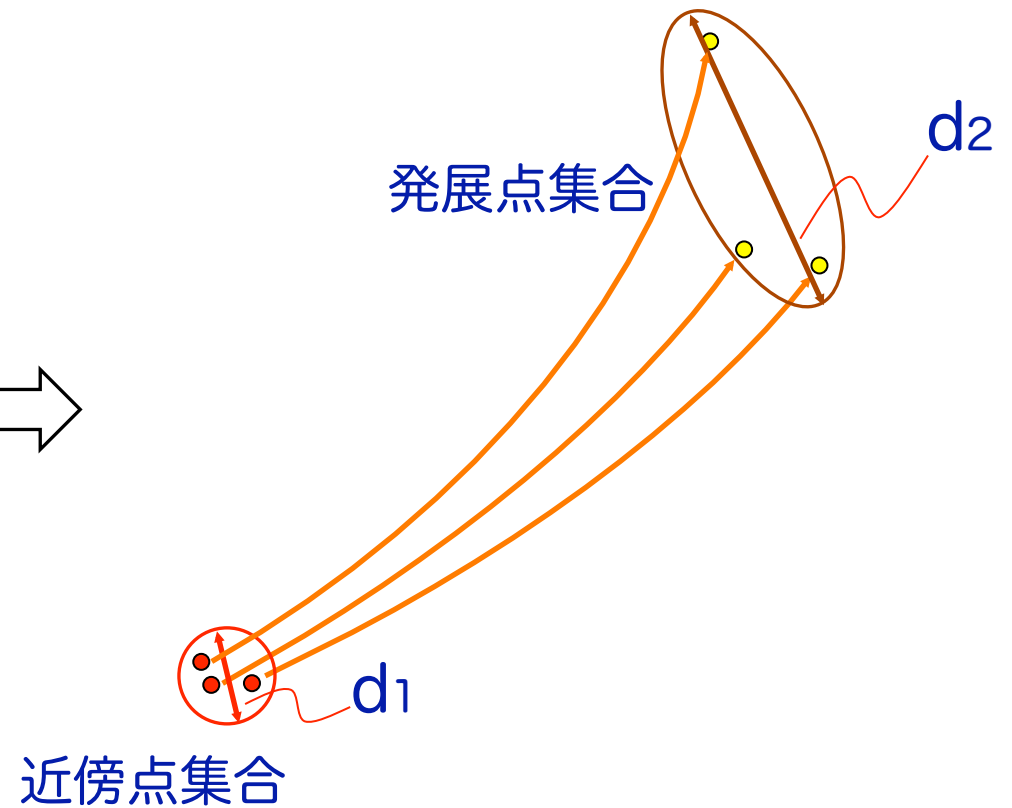
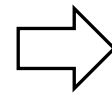


脳の活性度が高い状態

ストレンジ・アトラクタにおける“ゆらぎ”の定量化



時間局所的な第1リアプノフ指数



$$\lambda_M = \text{Lim} \log\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$$

研究の概要（契機・目的・経緯・成果）

契機： 発話者の心身状態と発話音声のカオス性の相関関係の発見

目的： 発話音声分析による予防安全装置の実現

経緯： 発話音声のカオス性と意識中枢との関係の検証，疲労計測実験の実施

成果： 「5秒の発話で過労をチェック！」，試作発話音声分析装置の完成

「更なる目的と展望」に続く・・・

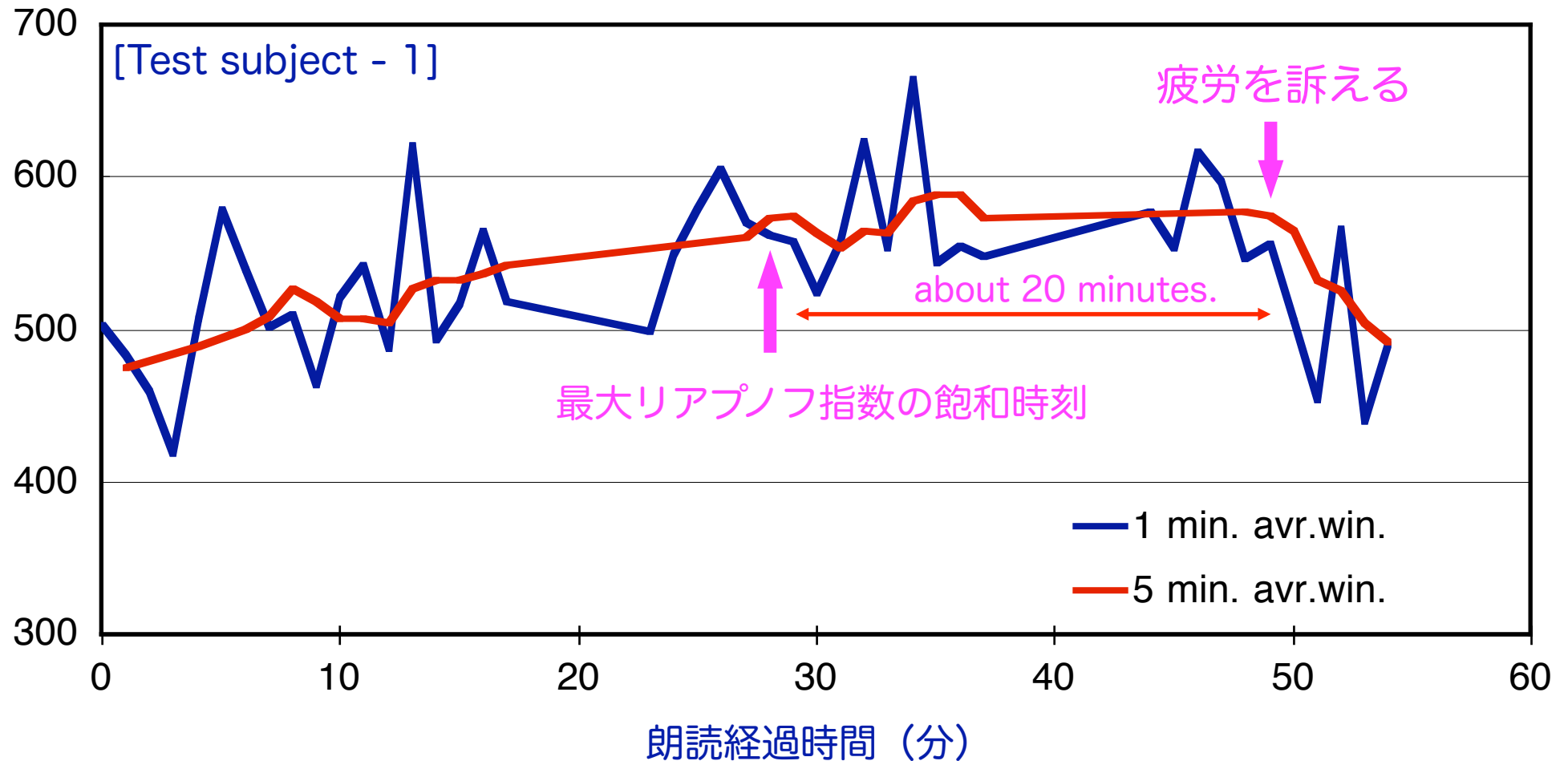
発話音声分析装置

C E N T E



契機：発話音声収録実験（～1999年）

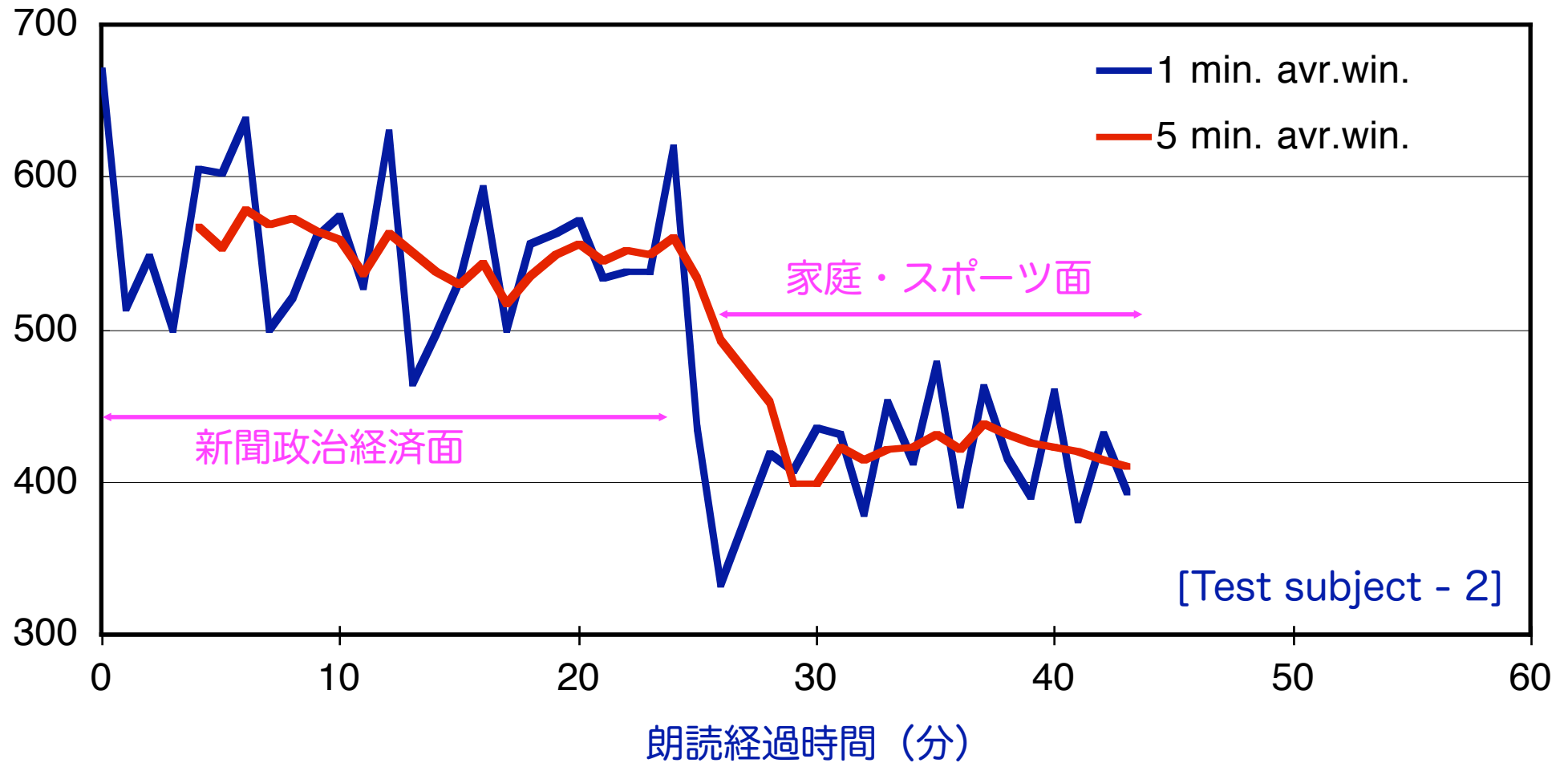
最大リアプノフ指数の時間的移動平均値



※ 被験者が疲労を訴える約 20 分前に指数値の上昇は飽和している。

契機： 発話音声収録実験（～1999年）

最大リアプノフ指数の時間的移動平均値



※ 朗読内容の変化により指数値が大幅に変化したこともある。

研究開発の手法

[2つの手法] : 発話音声分析技術の研究開発にも2つの手法がある！

1) データ・マイニング

→ “**健全な声**”と“**疲れている声**（識別したい声）”を沢山集めて、差異を発見する。

← そもそも集めた声をどうやって“**健全な声**”と“**疲れている声**”とに識別するの???

2) 仮説検証 → “**識別のための仮説**”を検証する。

・ 発話音声分析技術の開発は仮説検証型で、「**発話音声の“ゆらぎ”の程度は**大脳新皮質の活性度に相関する。」との仮説を検証する。

・ 被験者数は比較的になくとも、**仮説に対して厳しい**（人間に対してシビアな）**実験**を行うことで、**高い信頼性**を実現する。

目的： 予防安全システム構成

1) トラックや鉄道車両等の運行の場合



運転席

警告等

運行管理センター



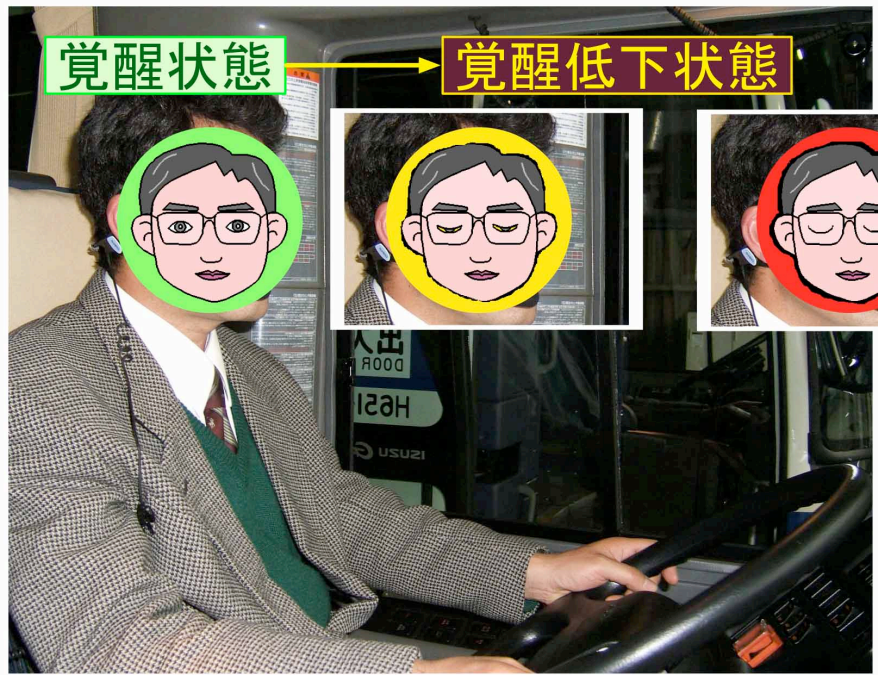
運行状況報告



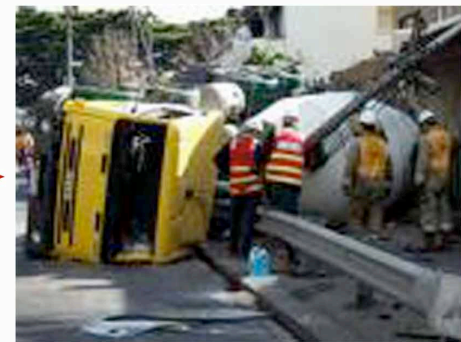
発話音声分析装置

発話音声信号

予防安全（例えば、車両運行の場合）



交通事故



認知エラーと
誤判断・誤操作

発話音声を用いた覚醒低下予測システム

- ・非侵襲 & 高い即時性
- ・意識中枢機能状態判定

居眠り防止座席
(握力低下検知)
視線等異常検出

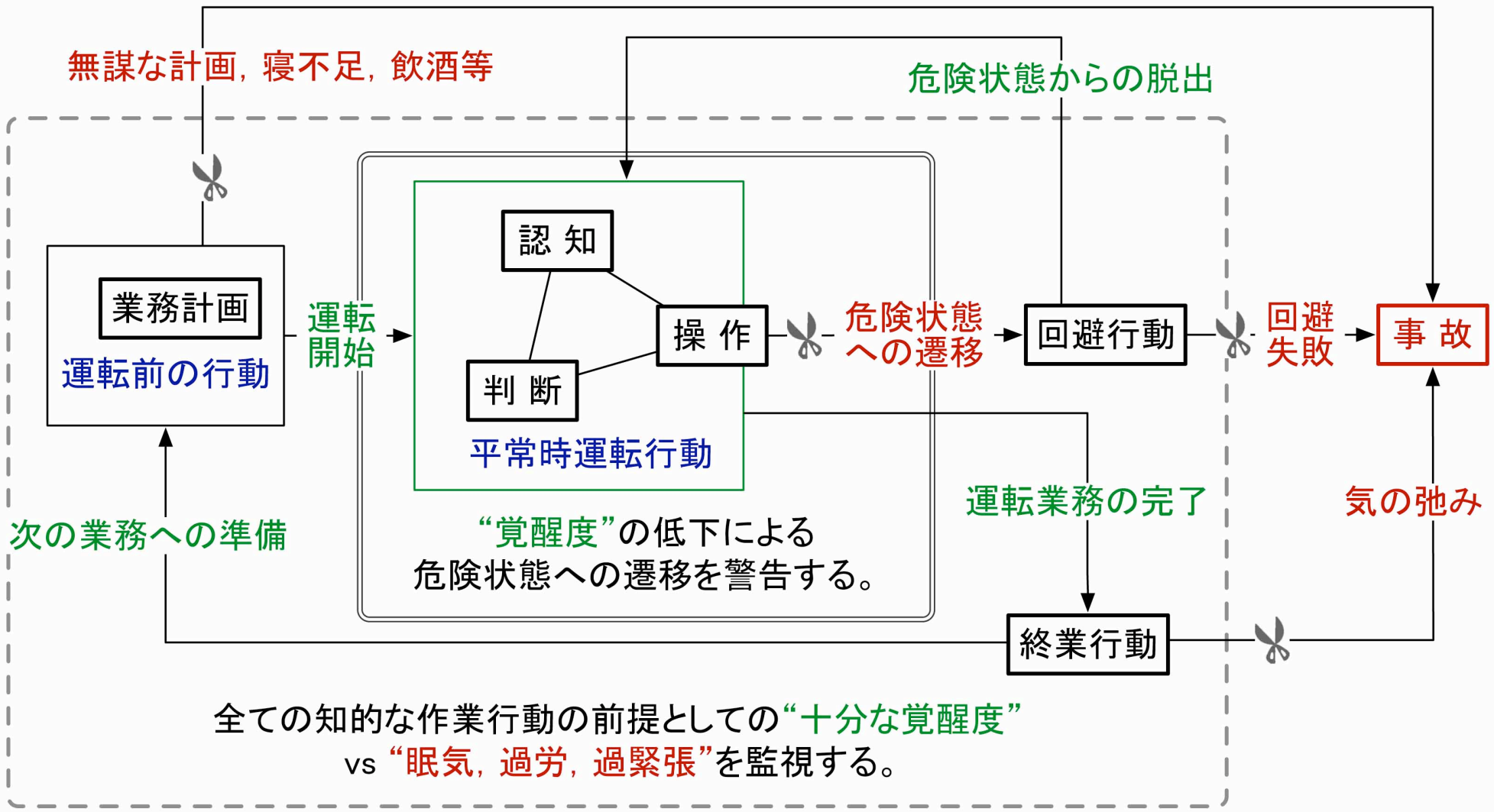
- ・自律中枢機能低下判定

衝突警報
車線逸脱警告

エアバッグ
シートベルト
衝突軽減ブレーキ



発話音声分析装置の守備範囲



研究成果の実用化のために

研究成果の実用化は、

1) 利用者が“正しく利用できる装置”を実現する。

2) “正しい利用法”には“正しい理解”が必要だ！

- ・ 声から“疲労”が測れる訳ではない。
- ・ “人間の疲労”は“疲労感”とほぼ同意で、客観的なものではない。
- ・ “疲労の計測”を問題としては、工学的な解決は得られない。

- ・ 疲労が問題とされるのは、疲労が様々な“ヒューマン・エラー”の原因と考えられているから。
- ・ “ヒューマン・エラー”の発生確率の変化を直接に評価することが重要だ！

鉄道総合技術研究所における疲労評価実験（2004年～）

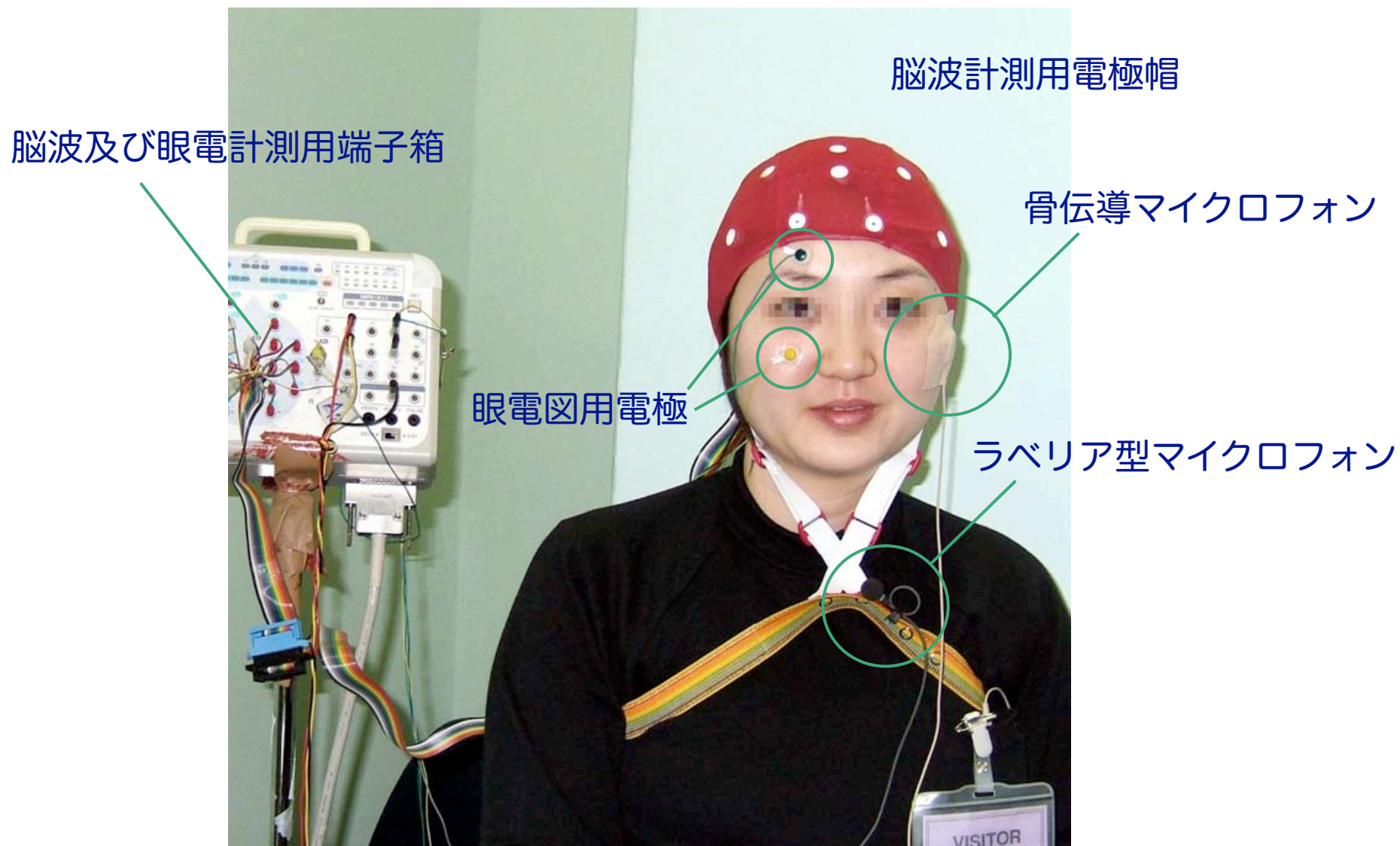
1) パフォーマンス的指標, 生理的指標, 主観的指標, 等々により車両等運転者の疲労を総合的に評価判定する。

- ・ パフォーマンス指標： 作業精度, フリッカー値
- ・ 生理的指標： 脳波, 心拍数, 心電図, 眼電図, 筋電図, 乳酸値
- ・ 心理的指標： 疲労感しらべ, 眠気スケール

2) 発話音声処理システムの疲労等評価システムとしての可能性を評価する。

- ・ 発話音声指標： 朗読 CEM 値, 換呼 CEM 値

疲労等評価実験被験者とセンサー類装着状態



不眠状態における業務精度等評価実験

1) 一晩の徹夜を通して、過度の身体活動を行なわないように過ごさせ、約2時間毎に各種心身機能データを収集した。

2) 実験条件

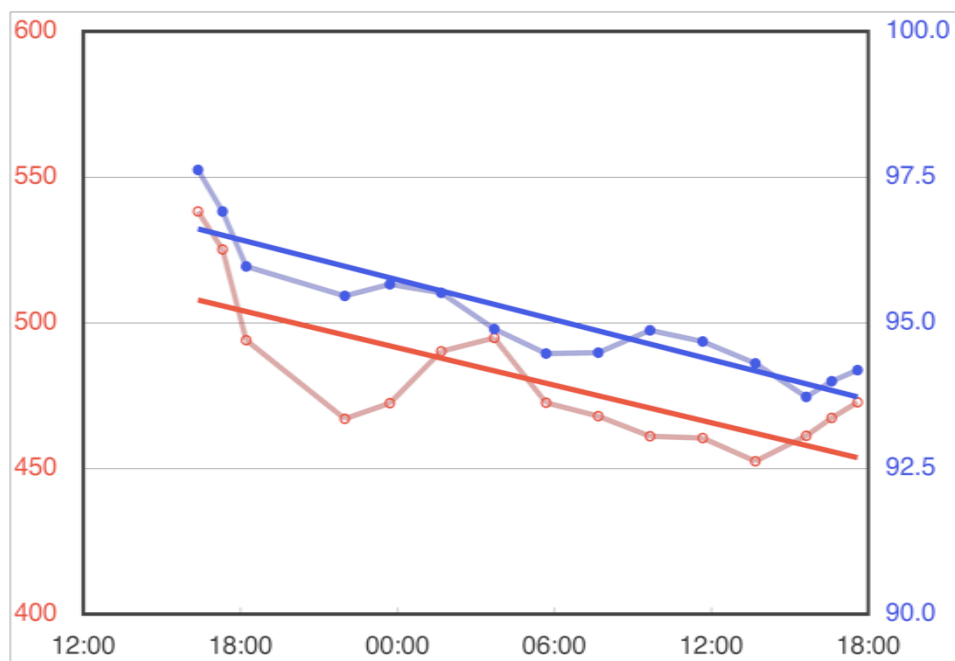
2.1) 過ごし方： 運動以外、何を行っても良いが眠らないこと。

2.2) 飲食： 食事はおよそ6時間毎、飲み物は特に規制しない。

2.3) その他： トイレ以外の外出は不可。

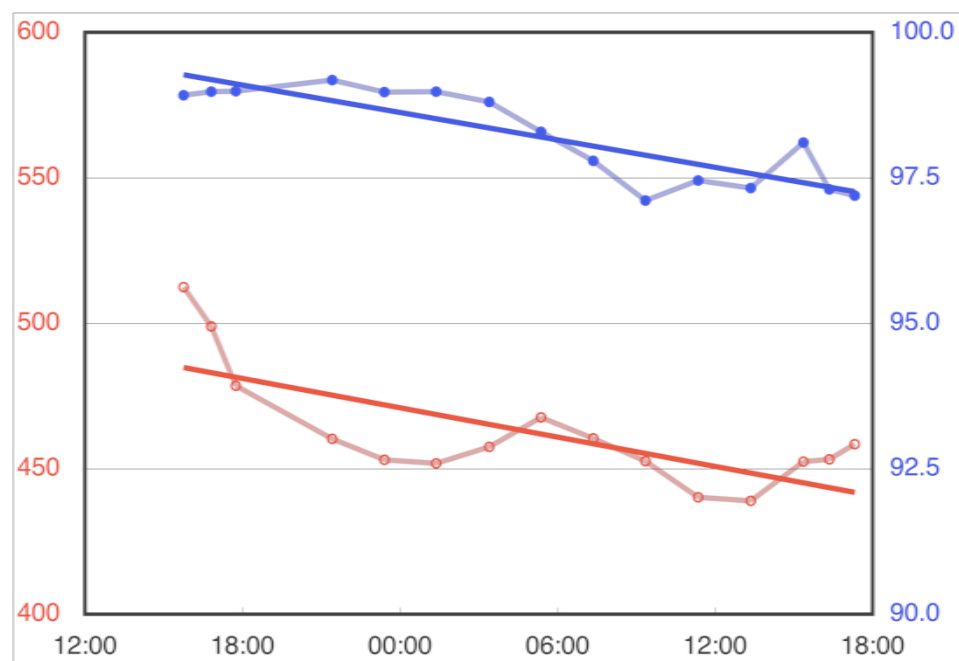
不眠状態における業務精度等評価実験の結果

脳活性度指数 (CEM10) 三択正答率



時刻
被験者 1

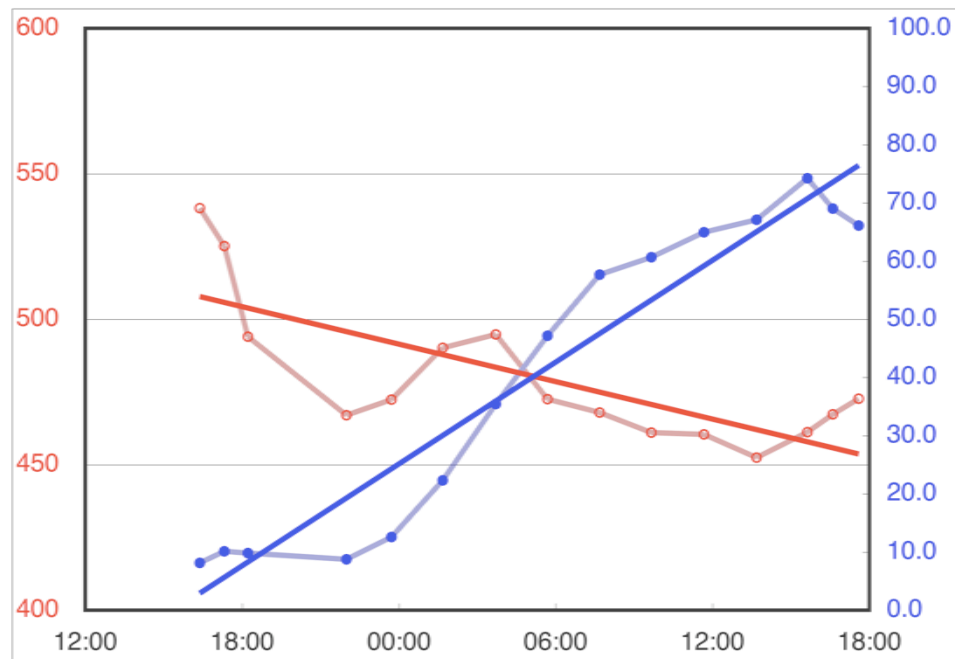
脳活性度指数 (CEM10) 三択正答率



時刻
被験者 2

不眠状態における業務精度等評価実験の結果 - 2

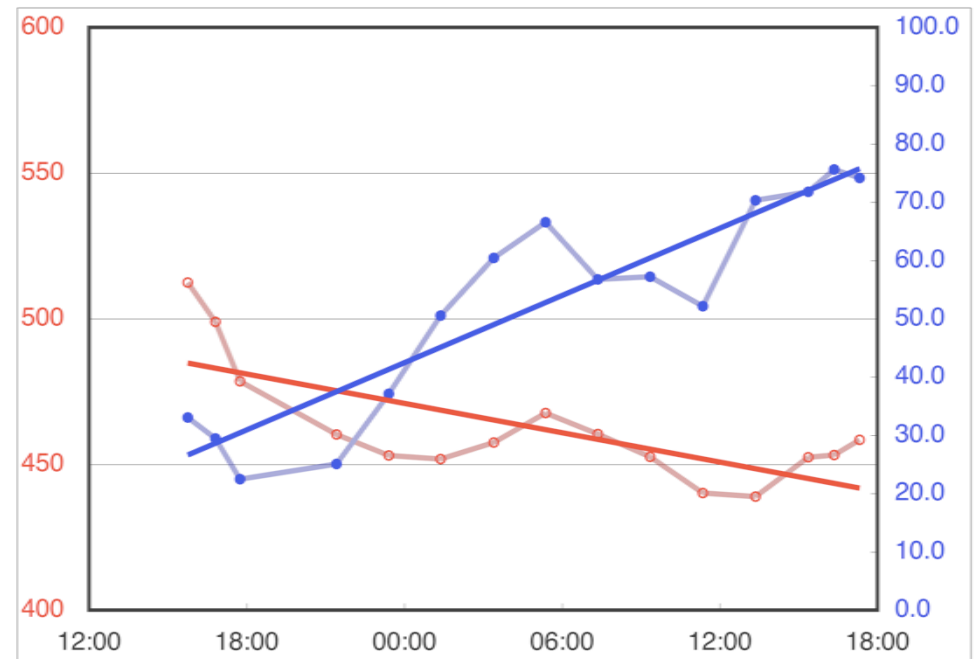
脳活性度指数 (CEM10) 主観的眠気自覚症指数



時刻

被験者 1

脳活性度指数 (CEM10) 主観的眠気自覚症指数



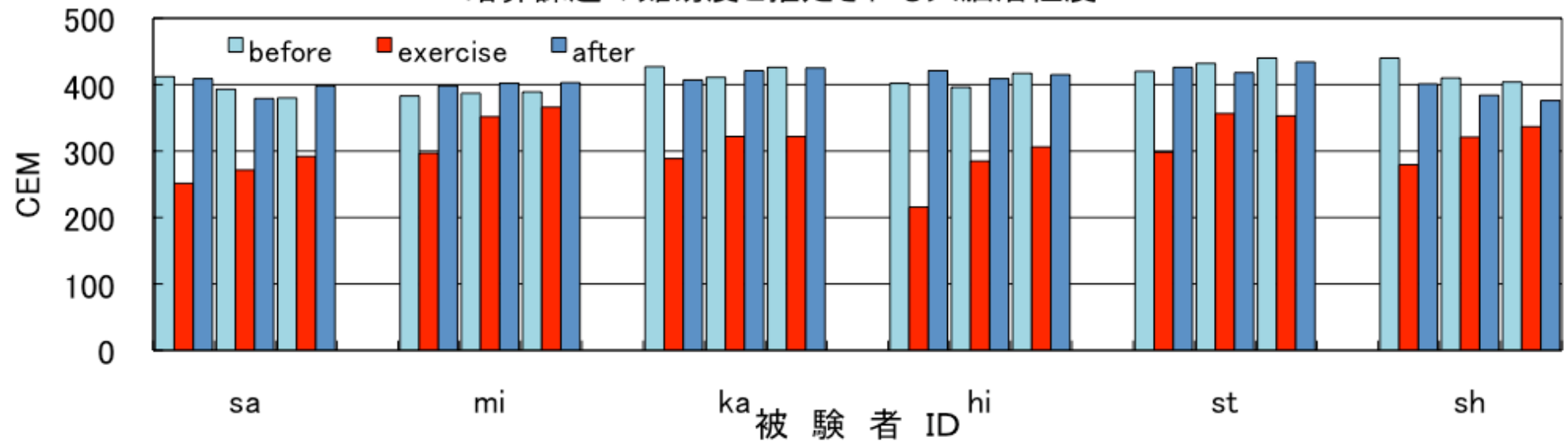
時刻

被験者 2

暗算課題の難易度と発話音声指標値（CEM値）

	sawa			mizukami			kanada			higashi			sato			shiomi		
	Low	Mid.	High	Low	Mid.	High	Low	Mid.	High	Low	Mid.	High	Low	Mid.	High	Low	Mid.	High
before	412	393	380	383	387	389	427	411	426	402	396	417	420	432	440	440	410	404
exercise	251	271	292	297	352	366	289	322	322	216	285	306	298	356	353	279	321	337
after	409	379	398	398	402	403	407	421	425	421	409	415	426	418	434	401	384	376
	sa			mi			ka			hi			st			sh		

暗算課題の難易度と推定される大脳活性度



今年度以降の研究開発

1) 発話音声による指標値から、発話者の作業信頼性を評価する。

- ・作業信頼性評価実験環境を整備して、被験者参加の実験を行う。

2) 作業信頼性評価実験環境の実現

- ・簡単な作業（“単純計算”や“間違い探し”）から、実際の業務に対応する高度な作業（“専門性の高いシミュレーション”や“熟練を要するゲーム”）の実施環境を整備する。

- ・できるだけ多くの生理指標を同時に計測できる様にする。

← 実用化においては、“利用者の主観にある程度は整合”することが必要！

3) 前倒しに、実験にご協力をいただける方々を歓迎致します。