

# 皮膚ガスによる蓄積ストレス判定技術の開発と社会実装に向けた取り組み

山口 秀明  
Hideaki Yamaguchi  
長嶺 昇  
Noboru Nagamine

丸山 可那江  
Kanae Maruyama  
佐藤 敦  
Atsushi Sato

久田 伊織  
Iori Hisada  
藤岡 英二  
Eiji Fujioka

## 概要

うつ病等の労働者の精神障害に係る労働災害件数の増加が大きな社会問題となっている。本稿では、この問題解決に向け開発した蓄積ストレスの判定技術と社会実装に向けた取り組みについて報告する。

### 1. はじめに

労働者の精神障害等に係る労災請求・認定件数は年々増加する傾向<sup>1)</sup>にある(図1)。仕事や職業生活に不安やストレスを感じる労働者の割合も60%前後と高い水準を維持<sup>1)</sup>しており、今後の生産年齢人口の減少が予測されるなか労働者1人にかかる負担の高まりから精神疾患に至る労働者の増加に拍車がかかる可能性も考えられる。日本では「労働者の心の健康の保持増進のための指針<sup>2)</sup>」が策定され、企業はメンタルヘルスクアを積極的に推進することの表明と心の健康づくり計画やストレスチェック制度の実施方法等に関する規程の策定が求められている。なかでも、ストレスチェックは未然予防として実施される指導やセルフケア、職場改善を適切で効果的な内容とするために必要な情報を得る起点となる活動である。現在は職業性ストレス簡易調査票等の質問紙による評価が行われ、義務化対象事業者の90.2%が実施<sup>3)</sup>している状況にある。しかしながら、年に1回の実施<sup>4)</sup>に留まっており、メンタルヘルス不調の発症や重症化の予防という観点においては十分な把握頻度とは言い難い。また、恣意的な回答も可能といった自記式アンケートの方式面としての課題やストレス状態下では生理的反応と心理的反応に差異が起こる可能性<sup>5)</sup>も報告されており、ストレス状態の把握においては従来の質問紙による主観的把握と合わせ、生体情報を用いた客観的な把握が必要となる。客観的なストレス状態把握として心拍変動や加速度脈波などの生体情報を用いた方法<sup>6)</sup>が広く知られているが、これらは急性的なストレス状態(今、ストレスを感じているか)を捉えるものである。メンタルヘルス不調の発症や重症化の未然防止には急

性ストレス状態と重症化した状態の過渡期にある慢性ストレス状態、つまりストレスが蓄積した状態を捉えることが重要である(図2)。現在、この蓄積ストレス状態の把握方法として血液、尿、唾液、毛髪などに含まれる生化学的指標を対象とした研究<sup>7)8)</sup>が報告されているが、本プロジェクトでは日常生活のなかで誰もが気軽に、簡便に計測できることを念頭に新たな生体情報を探索し、皮膚表面から放散する生体ガス(以下、皮膚ガス)を活用した蓄積ストレスの判定技術を開発した。本稿では開発した技術と本技術の社会実装に向けた取り組みについて報告する。



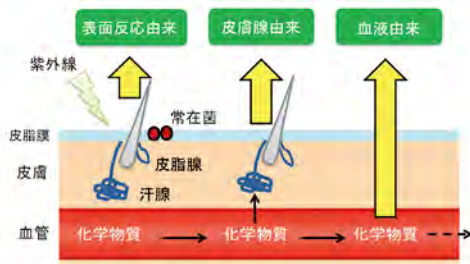
図1 労災請求・認定件数の推移



図2 慢性ストレスの把握

## 2. 皮膚ガスによる蓄積ストレス判定技術

ヒトの皮膚表面からは800種以上のガスが放散しており、その放散経路(図3)は表面反応由来、皮膚腺由来、血液由来の3つに大別<sup>9)</sup>される。表面反応由来とは皮膚常在菌による皮脂の代謝などにより産生されるガスの放散経路で、皮膚腺由来は血液中のガス成分が汗腺や皮脂腺を介して放散する経路、血液由来は血液中の成分が揮発して直接的に皮膚から放散する経路である。本技術では常在菌の活動や温熱性発汗など外的要因の影響をうけにくく、生体内の状態変化をより直接的に反映する血液由来の皮膚ガスに着目し、動静脈吻合<sup>10)</sup>が存在する循環血液量が多い手の平から放散するガスを用いた。また、ストレスの蓄積を捉えることを狙いに起床直後(起床してから30分以内)の皮膚ガスを分析対象とした。この起床直後はストレス指標として広く活用される唾液中コルチゾールの先行研究<sup>11)</sup>にてストレスによってコルチゾール分泌量や分泌の日内周期の変化が出現することが報告されるタイミングである。このタイミングのストレス反応は夜間睡眠という休息期に解消できなかった蓄積したストレスを反映していると解釈でき、蓄積ストレスの有無の検知に有効であると考えられる。



出典: Sekine, Y., Toyooka S., Watts S. J. Chromatogr. B. 859, 201-207 (2007)

図3 皮膚ガスの放散経路

図4に開発した蓄積ストレスの判定技術を示す。本技術は代謝活動指標と血管運動指標からなる二次元マップにてストレス状態を判定する。この二次元マップは体温調節を模擬することを狙いとしたものである。ヒトには生体内の状態を一定範囲内に維持するホメオスタシスという機能があり、体温調節はその代表的なものである。先行研究にてストレスの蓄積により体温調節に異常が起る<sup>12)13)</sup>ことが報告されており、その異常およびその前段階の状態変化がマップ内に反映されるとの仮説に基づく技術となる。二次元マップの縦軸となる代謝活動指標は生体内での熱産生にかかわる指標で、脂質や糖質などの代謝の過程で産生するアセトン、アセトアルデヒド、酢酸を用いて、これら3つのガスの総放散量に対するアセトンの放散量の割合で指標化(式1)した。横軸の血管運動指標は生体内から生体外への熱の移動にかかわる指標で、血管の拡張/収縮、血圧調整に関

連するガスとして報告されるヘキサン酸<sup>14)</sup>とプロピオン酸<sup>15)</sup>の両ガスの総放散量に対するヘキサン酸の放散量の割合で指標化(式2)した。

$$\text{代謝活動指標} = \frac{[\text{アセトン}]}{[\text{アセトン}] + [\text{アセトアルデヒド}] + [\text{酢酸}]} \quad \dots \text{式1}$$

$$\text{血管運動指標} = \frac{[\text{ヘキサン酸}]}{[\text{ヘキサン酸}] + [\text{プロピオン酸}]} \quad \dots \text{式2}$$

両指標ともに基礎実験にて同時計測した疲労・ストレススコア(自覚症しらべ評価)と有意な相関関係を認め(代謝活動指標: I 群  $r=0.44$   $p<0.01$ , V 群  $r=0.44$   $p<0.01$  / 血管運動指標: I 群  $r=-0.43$   $p<0.01$ , IV 群:  $r=-0.56$   $p<0.01$ , V 群:  $r=-0.53$   $p<0.01$ , 図5), この相関関係から二次元マップ内をストレスのない“ニュートラル領域”とストレスのある“ストレス領域”に区分<sup>16)</sup>した。図6に1週間毎朝、皮膚ガスを計測した実験の結果例を示す。1週間の変化の代表的なものとして、ニュートラル領域内で変動するパターン、ストレス領域とニュートラル領域を行き来する変動パターン、ストレス領域内で変動するパターンの3つがみられた。ストレス領域に分布する頻度が多い、ストレス領域に連続して分布するほどストレスの蓄積が亢進しやすい状態にあると解釈でき、日々計測することにより重症化する前の予兆を捉えることができると考えられる。また、二次元マップ内での経日変動量をパラメータ化することで、企業で広く利用される職業性ストレス簡易調査票にて重症化の予備群となる高ストレス者(ストレス蓄積者)の抽出基準に用いられるB得点とA+C得点を推定することができる可能性<sup>17)</sup>も得られており(図7)、マップ内の分布位置と経日変動量からメンタルヘルス不調の発症や重症化の未然予防につながる状態変化を早期に把握できることが期待できる。現在、データのN増しを進め判定ロジックの最適化を図っている。

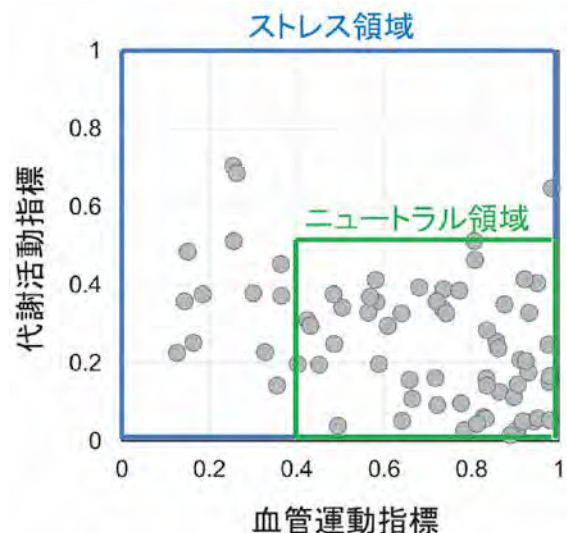


図4 状態判定の二次元マップ

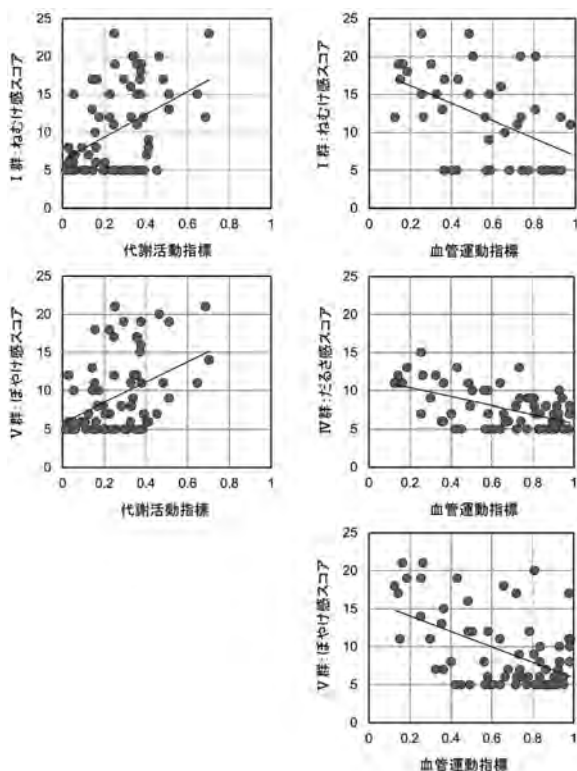


図5 皮膚ガス指標とストレススコアの関係  
左:代謝活動指標、右:血管運動指標  
(被験者12名,n=72)

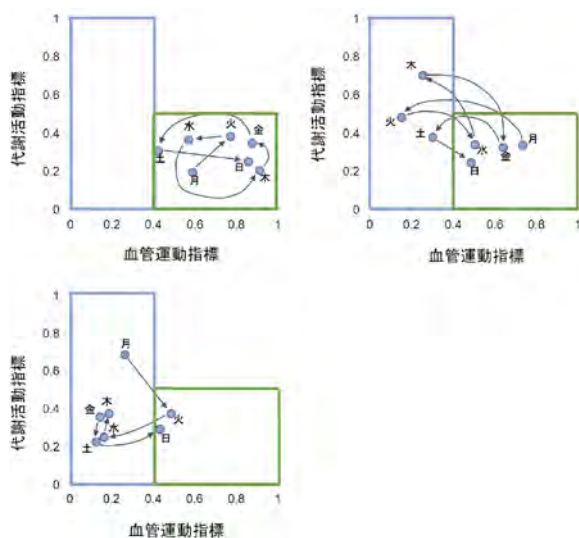


図6 皮膚ガス指標の経日変化

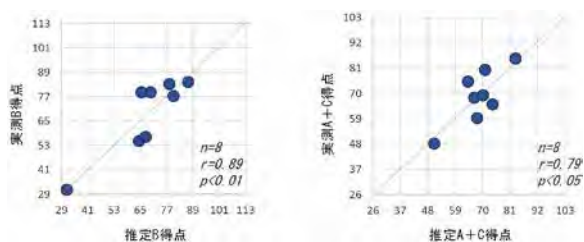


図7 職業性ストレス簡易調査票の判定基準と  
皮膚ガス指標との関係

### 3. 社会実装に向けた取り組みについて

開発した皮膚ガスによる蓄積ストレス判定技術を企業で実施する従業員のメンタルヘルス対策に活用することを目指している。この実現には大きく2つの課題があり、1つは技術で解決する課題、もう1つはサービスの工夫で解決する課題で、その解決に向けた活動を進めている。

#### 3.1 技術で解決する課題

上述の通り、本技術は起床直後の皮膚ガスを分析しストレスの蓄積を判定しているが、皮膚ガスの放散量は微量で、かつ代謝活動指標、血管運動指標で用いるガス成分はppbレベルの低い濃度である。そのため、現状はパッシブ・フラックス・サンプラー法<sup>18)</sup>(キャップ内に設置したガス捕集材でガスを吸着、以下PFS法)にて1時間の計測(ガス捕集)を行い、計測後の捕集材をガスクロマトグラフィーという専用のガス分析装置にて各ガスの放散量を定量(図8)することで二次元マップのどこにプロットされる状態にあるかを判定する。

従来技術の唾液や尿などの計測に比べると心的負担なく簡便な計測ではあるものの、リアルタイム性がなく、日常生活のなかで誰もが気軽に簡便に計測できるというコンセプトとの隔たりがある。また、支援対象となる労働者の平日の朝の1時間を計測に費やすこともサービスの利便性低下につながる。そこで、図9に示すようなデバイスに手を10秒程度のせることで、二次元マップ(図4)のどの位置の状態であるかを短時間に、リアルタイムに判定できる技術の開発を進めている。この短時間判定技術では水晶振動子方式の感応膜センサを活用している。このセンサは匂い成分を吸着すると電気信号の出力値が変化する特徴がある。吸着するガス成分が異なる複数のセンサを用いてデバイスに手をのせた際に得られる各センサの出力信号の組み合わせとPFS法の結果から算出した代謝活動指標値、血管運動指標値との関係を学習させることで、感応膜センサの出力パターンから二次元マップ内の分布位置を予測するモデルを作成する。開発中ではあるものの、感応膜センサの出力値から“ストレスのある状態”と“ストレスのない状態”を分類する予測モデルを作成することができる可能性を得ている(図10)。今後、学習データの蓄積を進め分類精度を高めつつ、マップ内のどの位置であるかを推定できる予測モデルにつなげていく。

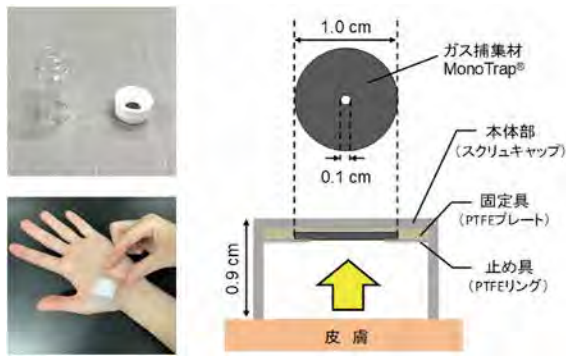


図8 パッシブ・フラックス・サンブラー法



図9 短時間判定

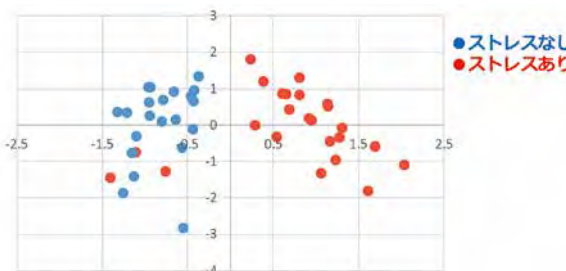


図10 感応膜センサ値によるストレス状態の分類

### 3.2 サービスの工夫で解決する課題

企業向けのメンタルヘルス対策支援サービスは従業員の健康管理部署がサービスの良し悪しを判断した後に導入・運用し、導入されたサービスをメンタルヘルス不調の予防／改善手段として従業員が利用する構図となる。予防／改善効果を得るためには“継続（習慣化）”が重要な要素となるが、企業向けの支援サービスで効果を得るためにはサービスの導入・運用を担う健康管理部署と予防／改善手段として利用する従業員の双方が“継続利用したいサービス”であると感じることが必要で、どちらか一方の継続利用意欲の低下が予防／改善効果の低下、支援サービスとしての事業の持続性の低下につながる。両者の“継続利用したい”に影響する因子（判断基準）には差異があることが推測される。この差異を把握し、その差異をうめるための蓄積ストレスデータの活用の在り方を明らかにすることを目的とし、アイシンを想定顧客とした社内実験での検証を行っている。この

社内実験ではメンタルヘルス不調の予防／改善サービスをすでに企業に提供しているIntellect Japan社と連携し、Intellect Japan社独自の心理評価とアイシンの皮膚ガスによる生理評価の両面からストレス状態を捉える機能と両社の独自ケア（Intellect Japan社：カウンセリング／コーチング、マインドフルネスなどのアプリプログラム、アイシン：仮眠支援）をセットにした仮のサービスを作成し、健康管理部署として安全健康推進部、人材組織開発部、技術管理部の3部署に、メンタルヘルス不調の予防／改善手段として利用する従業員20名に仮サービスを利用してもらった後にヒアリングを実施し、両者の判断基準の差異の分析、蓄積ストレスデータの活かし方を検討する（図11）。この社内実験は事前検証、一次検証、二次検証と3期にわけ実施し、一次検証が完了した状況にある（12月時点）。今後の二次検証での詳細分析を通して、健康管理部署と従業員双方の継続利用意欲を高める（持続的な事業になる）サービスにつながる知見を得ていく。

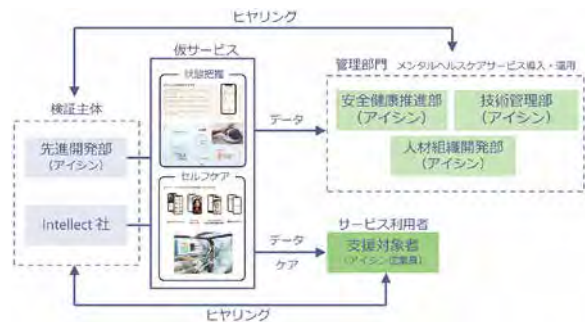


図11 社内実験の体制

### 4. おわりに

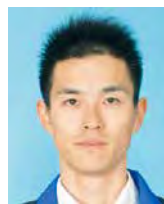
本プロジェクトは皮膚ガスによる蓄積ストレスの判定ロジックという基礎技術開発と蓄積ストレス状態を短時間に判定する応用技術開発、継続利用意欲を高めるサービス開発といった異なるフェーズの活動を並行して進めている。基礎技術開発では東海大学の関根嘉香教授の指導のもと技術レベルを高めながら、新たなストレス検知手法として学会発表や論文投稿にて関連する学術界への技術提案を行っている。技術提案においては広報部と連携し、本プロジェクトの社外アピールも図っている。応用技術開発では解析技術部、デザイン部との連携で短時間計測デバイスの設計仕様の明確化を進めている。サービス開発では安全健康推進部、人材組織開発部、技術管理部の3部署との連携に加え、ものづくり人事部、新事業創出部、DXプラットフォーム部などさまざまな部署に被験者や実験環境整備の協力を得ている。このように本プロジェクトは多くの関係者との連携に支えられ、様々な視点や専門知識の融合によって成果を

上げている。これまでの／これからの活動での成果を  
たちにして社会実装を実現し、労働者のメンタルヘルス  
課題の解決につなげていきたい。

#### 参考文献

- 1) 厚生労働省:第1章こころの健康を取り巻く環境とその現状,令和6年版厚生労働白書.
- 2) 厚生労働省: 職場における心の健康づくり～労働者の心の健康保持増進のための指針～.
- 3) 厚生労働省: ストレスチェック制度の実施状況, 令和3年.
- 4) みずほリサーチ&テクノロジー株式会社: ストレスチェック制度の効果検証に係る調査等事業報告書, 2022(令和4)年3月.
- 5) 大平英樹: 慢性ストレスと意思決定, ストレス科学研究28, 8-15(2023)
- 6) 松本佳昭, 森信彰, 他: 心拍揺らぎによる精神的ストレス評価法に関する研究, ライフサポート Vol.22 No.3(2010)
- 7) 田中喜秀, 脇田慎一: ストレスと疲労のバイオマーカー, 日薬理誌137, 185-188(2011)
- 8) 菅谷渚, 井澤修平, 野村収作: 新しいストレス評価法としての毛髪・爪コルチゾールの妥当性, Hpn J.Psychosom Med 61, 496-505(2021)
- 9) 関根嘉香: 皮膚ガスのはなしー体臭は心と体のメッセージー, 朝倉書店, 88-91(2024)
- 10) 平田耕造: 動静脈吻合(AVA)血流と四肢からの熱放散調整, 日生氣誌 53(1), 3-12(2016)
- 11) Daly, M., Delaney, L., Doran, P. P., & MacLachlan, M.: The role of awakening cortisol and psychological distress in diurnal variations in affect, A day reconstruction study. Emotion 11(3), 524-532(2011)
- 12) 中村和弘: ストレス性体温上昇の神経機序, Jpn J. Psychosom.Med. 60, 203-209(2020)
- 13) 岡孝和: 心理的ストレスは慢性疲労症候群患者の微熱に関与する, Jpn J.Psychosom Med. 53, 993-1000(2013)
- 14) Liu HM, Lin X, Meng XH, et al.: Integrated metagenome and metabolome analyses of blood pressure studies in early postmenopausal Chinese women, J.Hypertens 39(9):1800-1809(2021)
- 15) Pluznick JL.: Renal and cardiovascular sensory receptors and blood pressure regulation, Am. J.Physiol. Renal Physiol. 305, 439-444(2013)
- 16) 山口秀明, 丸山可那江, 藤岡英二, 関根嘉香: 皮膚ガスによるストレス状態の検知, ストレス科学39(1), 37-45(2024)
- 17) 山口秀明, 丸山可那江, 藤岡英二, 関根嘉香: 高ストレス者の早期把握に向けた皮膚ガスによるストレス蓄積検知技術, 第97回日本産業衛生学会抄録集(2024)
- 18) Kimura K, Sekine Y, Furukawa S, et al.: Measurement of 2-nonenal and diacetyl emanating from human skin surface employing passive flux sampler-GCMS system, J.Chromatogr. B Analyt. Technol. Biomed. Life Sci. 1028, 181-185(2016)

#### 筆者 .....



#### 山口 秀明

先進開発部 新事業企画2グループ  
ヒト状態判定・状態変容技術の開発に従事



#### 丸山 可那江

先進開発部 新事業企画2グループ  
ヒト状態判定技術の開発に従事



#### 久田 伊織

先進開発部 新事業企画2グループ  
ヒト状態変容技術の開発に従事



#### 長嶺 昇

先進開発部 新事業企画2グループ  
ヒト状態判定技術の開発に従事



#### 佐藤 敦

先進開発部 新事業企画2グループ  
ヒト状態判定技術の開発に従事



#### 藤岡 英二

先進開発部 新事業企画2グループ  
ヒト状態判定・状態変容技術の開発に従事