

システム技術開発調査研究

15 - R - 19

ストレス計測技術の安全対策への適用可能性
に関する調査研究
報告書

- 要旨 -

平成 16 年 3 月

財団法人 機械システム振興協会

委託先 社団法人人間生活工学研究センター



この事業は競輪の補助金を受けて実施したものです。

序

わが国経済の安定成長への推進にあたり、機械情報産業をめぐる経済的、社会的諸条件は急速な変化を見せており、社会生活における環境、防災、都市、住宅、福祉、教育等、直面する問題の解決を図るためには、技術開発力の強化に加えて、ますます多様化、高度化する社会的ニーズに適応する機械情報システムの研究開発が必要であります。

このような社会情勢に対応し、各方面の要請に応えるため、財団法人 機械システム振興協会では、日本自転車振興会から機械工業振興資金の交付を受けて、経済産業省のご指導のもとに、機械システムの開発等に関する補助事業、新機械システム普及促進補助事業等を実施しております。

特に、システム開発に関する事業を効果的に推進するためには、国内外における先端技術、あるいはシステム統合化技術に関する調査研究を先行して実施する必要がありますので、当協会に総合システム調査開発委員会（委員長 放送大学 教授 中島尚正 氏）を設置し、同委員会のご指導のもとにシステム技術開発に関する調査研究事業を民間の調査機関等の協力を得て実施しております。

この「ストレス計測技術の安全対策への適用可能性に関する調査研究報告書」は、上記事業の一環として、当協会が社団法人 人間生活工学研究センターに委託して実施した調査研究の成果であります。

今後、機械情報産業に関する諸施策が展開されていくうえで、本調査研究の成果が一つの礎石として役立てば幸いです。

平成16年3月

財団法人機械システム振興協会

はじめに

ストレスは誰にでもあるものであり、適度なストレスは人を活性化させ、仕事の能率を向上させる等、いい影響を与える。ところが、いらいら、あせり、不安、怒り、緊張、疲労等が高じ、継続するようになると、人の適応能力には限界があるため、不眠、胃腸病、心疾患、うつ病等の心身の異常をきたすようになる。このため、ストレス状態を日常生活や就労状態で簡易に計測して、(個人レベルの)状態を把握し、ストレスがよい状態(eustress)から、悪い状態(distress)に移行した早い段階で、癒し等の緩和措置(機械システム)を施すこと等により、生活環境の改善、就労環境・就労条件の改善が図ることが、事故や災害のリスク削減に効果的と考えられる。

ストレスに日常的に悩み、その解消や緩和を切望する生活者や就労者が多いにもかかわらず、ストレスの状態をきちっと把握するための判定方法や緩和のための有効な製品・システムが普及していない。ストレスの状態には個人差があり、また同じ人でも、朝と夕方とで異なる日内変動がある、周囲の環境条件によって影響を受ける、ストレス耐性に個人差があること等が、ストレス状態の判定を行なうことをいっそう複雑にしている。現在、様々なストレス計測指標の技術があるが、医療機関の臨床や研究機関での実験に利用されているに留まり、基本的にデータの蓄積が少ない。ストレスデータは実験値と生活状態のデータとは大きく異なるという指摘がされているにもかかわらず、生活・就労状態でのデータは皆無である。また、生活者が日常、自己の状態を定量的に把握する手段がない。各企業における判定がまちまちであるなど、消費者やユーザーに信頼が得られるような製品やシステムを提供できないことが、ストレスに関する製品・システムの普及のための阻害となっている。

本調査においては、生活者のストレスの実態、交通事故・家庭内事故、労働災害と広義のストレスとの関連性について調査を行い、安心・安全な社会を構築するために必要な安全対策への社会ニーズについて把握する。生理指標(生体情報)、主観・認知系反応、行動反応系等の日常生活において簡易に計測できる、ストレス計測技術の抽出を行う。生活や就労場面における、ストレス計測技術を利用する安全対策・生活支援の適用システムのモデルを検討して、産業界のニーズ、技術課題等を把握する。これらのモデル(ビジネスプラン)の市場規模、社会・経済的效果等を把握する。これらの結果から、ビジネスプランの社会的な位置づけや研究開発を進めるロードを提案する。

平成16年3月

社団法人 人間生活工学研究センター

序

はじめに

目次

1 . 調査研究の目的.....	1
2 . 調査研究の実施体制.....	2
2.1 実施体制.....	2
2.2 業務分担.....	2
2.3 調査委員会.....	3
3 . 調査研究の内容.....	5
第1章 ストレス計測技術を活用した安全対策への社会的要請.....	5
1.1 ストレスの実態.....	5
1.2 事故災害とストレス関連性.....	6
1.3 労働安全のための法的課題.....	7
1.4 まとめ.....	9
第2章 動的状態下におけるストレス計測に関する技術的課題.....	10
2.1 ストレスの概念と生体反応.....	10
2.2 ストレス計測技術と評価指標.....	11
2.3 ストレス評価技術に関する特許調査.....	22
2.4 生体情報を用いたストレス計測の現状と課題.....	23
2.5 まとめ.....	24
第3章 ストレス計測に基づく安全対策システムの可能性.....	26
3.1 ストレス評価指標と評価目的との関係.....	26
3.2 ストレス計測に基づく安全対策・生活環境改善のためのビジネスプラン.....	30
3.3 ストレス状態とストレス対策との関係.....	40
3.4 まとめ(ビジネスプランの実現のために).....	41
第4章 安全対策システムの市場規模.....	43
4.1 産業界を中心とした社会ニーズに関する検討.....	43
4.2 社会経済的な波及効果.....	46
第5章 調査研究の今後の課題及び展開.....	54
おわりに.....	57

1. 調査研究の目的

本調査研究の目的は、慢性的ストレス社会の中で、安全・安心な社会を構築するため、ストレス計測技術の安全対策への適用可能性について、当該技術を巡る技術的課題、経済的・社会的な状況、実現可能性、社会ニーズ・市場規模等を包括的に調査することにある。

経済・産業のグローバル化やITを始めとする科学技術の急速な進展によるワークスタイル、ライフスタイルの変化に伴い、現代人は様々なストレス因子にさらされながらの生活・労働を余儀なくされている。人間の心身のエネルギー消費量やストレス許容量には限界があるため、過剰なエネルギー消費やストレス状態が続くことによる慢性疲労、心の病が社会的な問題になっている。ストレスは、労働者への健康影響による労働災害の増加、作業ミス増加による労働生産性の低下など社会経済的な影響が指摘されているだけでなく、交通事故や転倒等による家庭内事故の増加等にも大きな影響を与えており、ストレスが基因となる安全性向上に対する社会的ニーズは極めて高い。

安静な状況でのストレス計測技術については新エネルギー・産業技術総合開発機構が実施した「人間感覚計測応用技術」で開発され、マッサージ機等で実用化されているが、自動車の運転や、職場における作業中等の動的状態下におけるストレス計測は、計測結果に様々な要因が加味されることから開発が進んでいない。しかしながら、近年、ストレス計測チップの開発や、「人間行動適合型生活環境創出システム技術」において人間の行動を計測する技術開発が進んだことから、これらを組み合わせることにより、動的状態下におけるストレス計測の可能性が高まっている。動的状態下におけるストレス計測が可能になった場合、自動車運転中や、危険を伴う作業現場での個人のストレス状態を計測するとともに、ストレス状態に応じて警報を発したり、ストレス緩和や労務管理の支援などの安全対策システムに活用されることが期待される。

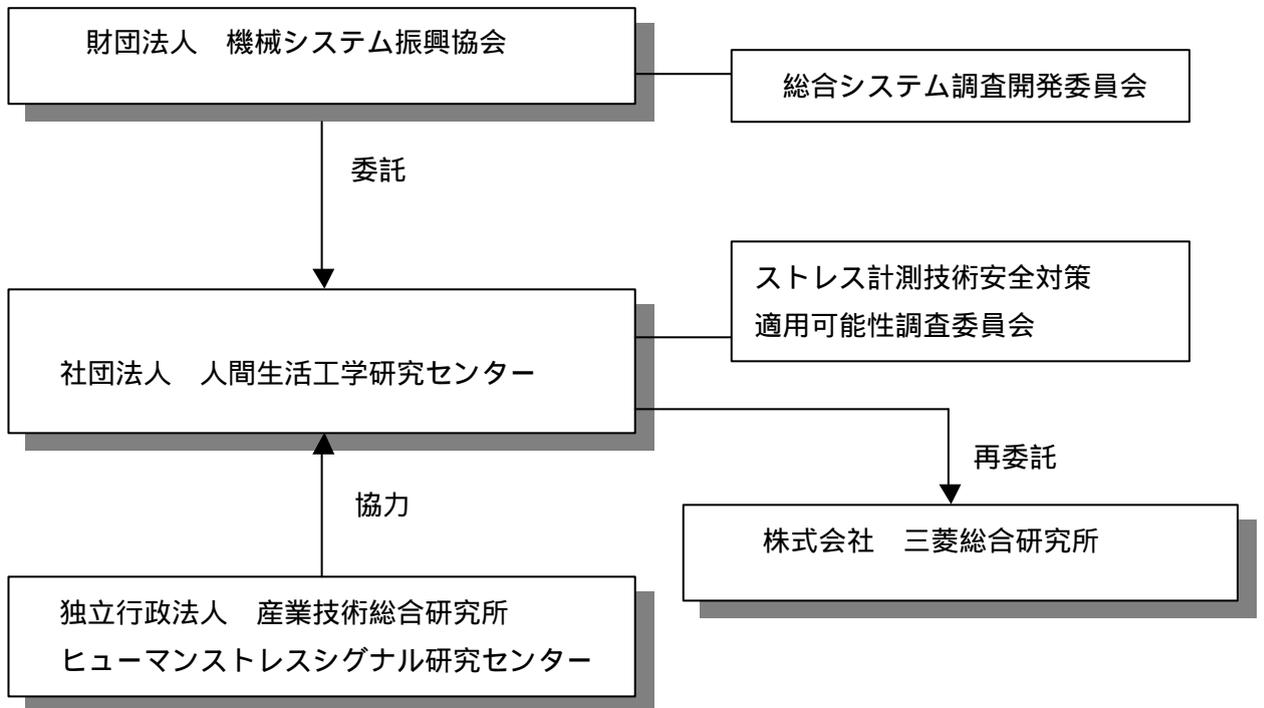
本調査研究で実施する「ストレス計測技術」とは、生活者（労働者）の生理反応や様々な行動によるストレス状態を計測することをいい、「安全対策システム」とは、上記のように、ストレス状態に応じて警報を発したり、労務管理支援、ストレス緩和や覚醒度向上を図る照明・温度等の環境因子を制御する機械システムをいう。

このストレス計測技術を利用した安全対策システムが普及することにより、急速なストレス社会に対する安心・安全な社会を創り出すとともに、自動車、住宅設備分野、労務管理システム等における新たな市場形成が期待できることから、本調査研究を行う意義は極めて高い。

2. 調査研究の実施体制

2.1 実施体制

(社)人間生活工学研究センターにおいて、主体的に調査研究を実施した。調査方針、調査内容については、独立行政法人 産業技術総合研究所 ヒューマンストレスシグナル研究センターの指導を受けるとともに、「ストレス計測技術安全対策適用可能性調査委員会」を設置して、審議、確認を受け推進した。



2.2 業務分担

ストレス緩和や安全対策に効果のある製品・機械システムにおける産業界・市場のニーズ、市場規模、社会的効果等の調査については株式会社三菱総合研究所に再委託を行った。

2.3 調査委員会

2.3.1 総合システム調査開発委員会

総合システム調査開発委員会は以下の委員で構成した。

総合システム調査開発委員会委員名簿

(順不同・敬称略)

委員長	放送大学 教授 東京多摩学習センター所長	中 島 尚 正
委 員	政策研究大学院大学 政策研究科 教授	藤 正 巖
委 員	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 知能システム科学専攻 教授	廣 田 薫
委 員	東京大学 大学院工学系研究科 助教授	藤 岡 健 彦
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 つくば中央第2事業所 管理監	太 田 公 廣
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 産学官連携部門 シニアリサーチャー	志 村 洋 文

2.3.2 ストレス計測技術安全対策適用可能性調査委員会

ストレス計測技術安全対策適用可能性調査委員会は以下の委員で構成した。

ストレス計測技術安全対策適用可能性調査委員会名簿

(順不同 敬称略)

委員長	独立行政法人産業技術総合研究所 ヒューマンストレスシグナル研究センター 副研究センター長	松岡 克典
委員	マツダ株式会社 技術研究所 テクニカルスペシャリスト	石橋 基範
委員	積水化学工業株式会社 住宅事業部住宅技術研究所生活グループ 主任研究員	植竹 篤志
委員	財団法人労働科学研究所 常務理事	酒井 一博
委員	立命館大学 理工学部ロボティクス学科 教授	牧川 方昭
委員	松下電工株式会社 電気分社電気R & Dセンター健康科学研究所 主査	道盛 章弘
委員	大阪大学大学院 医学系研究科社会環境医学講座 教授	森本 兼曩
委員	独立行政法人産業技術総合研究所 ヒューマンストレスシグナル研究センター ストレス計測評価研究チームリーダー	脇田 慎一
オブザーバー	株式会社三菱総合研究所 安全科学研究本部安全技術研究部 主席研究員	首藤 俊夫

3. 調査研究の内容

第1章 ストレス計測技術を活用した安全対策への社会的要請

本章では、ストレス計測技術の安心・安全な社会を構築するための安全対策への活用について、ストレスの実態を調査し、事故災害とストレスとの関連性についての考察、労働安全のための法的規制の整理等を行ない、ストレスに関する安全対策に関する課題について検討した。

1.1 ストレスの実態

生活者が感じているストレスの実態について、インターネットに公開されているアンケート調査結果を紹介する。

1.1.1 「ストレスについてのアンケート」

実施者： (株)ハイホー・マーケティングサービス (HMS)

結果概要

1. 全体の約8割がストレスを感じており、若いほどストレスを感じている人が多い。
2. ストレスの原因は、男性が「仕事」、女性は「人との付き合い」「家事」など多様
3. ストレスの解消方法は、男性は「酒を飲む」、女性は「話を聞いてもらう」

<http://research3.hi-ho.ne.jp/result/stress/>

1.1.2 「ストレスに対する意識」

実施者： マイボイスコム(株) (MyVoice)

結果概要

- ・心身が不調になるほどのストレス経験者は41%、「現在不調」は22%
- ・ストレスを感じるのは「職場・学校などでの人間関係」、「家族との関係、家庭環境」
- ・不調でも「治療薬の服用」「入院」「精神科への通院」の利用には抵抗感が強い。

<http://www.myvoice.co.jp/voice/enquete/4803/>

1.1.3 「働く女性のストレス」

実施者： 花王(株)

結果概要

- ・現在ストレスを感じている人が75%
- ・ストレスを感じている内容は、「将来に関すること」が44%、「家族・家庭に関すること」が41%、「経済的なこと」及び「容姿・美容に関すること」が34%、「仕事内容」が33%と続いている。
- ・現在ストレスが原因の不調を訴える人55%が、ない人23%を大きく上回っている。

- ・その症状として、「肩こり」51%、「肌あれ」41%、「頭痛」38%、「胃腸の不快感」32%、「便秘」26%、「不眠」25%と続いている。

<http://www.kao.co.jp/mag/laurier/backnum/25/25/tema2.html>

1.1.4 「コンピューター・ストレスアンケート」

実施者： 日生整体整骨院

結果概要

コンピュータ作業によって生じる症例

- ・頭部： 頭痛 28%、頭重感 27%、偏頭痛 25%、めまい 18%

他にも眼部頸腕部、背ノ腰部、下肢部、身体全体、内臓関係などに言及。

自らの対処策

- ・症状に対して対策を講じているか： いる 81%、いない 19%

職場の対応

- ・会社などの健康管理システムの有無： なし 60%、あり 40%
- ・症状に対する将来の不安感： あり 70%、なし 30%

http://www.motherearth-heart.com/an_1.html

これらの結果から、6割から8割の人がストレスを感じて生活していることが分かる。その原因として、仕事、人との付き合いや人間関係をあげる人が多く、また、この内4割の人がストレスで心身の不調を訴え、消化器の障害や不眠症の症状を発生している。ストレス解消のために、自然に触れる、アロマセラピー（香り）、音楽、映画、ペットを飼う、スポーツで体を鍛える等により、積極的に癒しを図る人が多いことも窺うことができる。

1.2 事故災害とストレス関連性

ストレスという言葉については、1.1のアンケート調査にも見られるように、いらいら、あせり、不安、怒りっぽい、緊張、不眠、疲労、胃腸の不調等の心身の異常を広い範囲で捉えていることが多い。

実際には、ストレスは2通りの位置づけが可能であると考えられる。突発的に起きたストレスと、恒常的に維持されてきたストレスである。しかし、2種のストレスの区分は見分けることが難しい。特に事故発生時の原因追及では再現可能な状況を作り出すことが前提であったので、不可視要因としてのストレス研究はその可能性が指摘されつつも、行われてこなかった。

1.1.1 事故災害の実態とストレス関連性の考察

1.2.1.1 家庭内事故

厚生労働省が発表している「人口動態調査」によると死因別死亡事故表において、不慮

の事故がもとで死亡した人の数は、交通事故の犠牲者をはるかに越えている。1999年に国民生活センター危害情報システムは、こうした不慮の事故のうち、乳幼児や老人の事故は主に屋内、家庭内で起こる事故であると発表した。このとき、国民生活センターは、「家庭内事故」の定義を「家庭（個人や家族が生活を営む住居、住宅内だけでなく、庭、門扉、塀などを含む）で発生した生命・身体に係る事故、階段・浴室・浴槽などの住宅構成材による事故のほか、家庭内で使用・利用されているその他の商品による事故も含めた」としている。

居住空間の規模を見ると、狭い住環境が住人にストレスをあたえ、最後に人間関係の悪化や心理状態の不均衡をもたらすとされている。家庭内で起こる災害・事故も同様である。しかし、狭さだけが事故の主要な原因を作り出すのではない。事故内容によっては、狭さよりも設備の問題が見えてくる。

1.2.1.2 交通事故

広辞苑では、「交通事故」を「交通に関する事故、車両・船舶などの脱線・衝突・接触・沈没・墜落などと、それらによって人畜に及ぼされる傷害などを含む。」とし、加害者、被害者を含めた広義の意味となっている。

その上でストレスとの関係を考えてみると、個別の交通事故事例を見る限り、焦りや思いこみ、過労・疲労が大きなウェイトを占めている。自動車運転前の日常生活におけるプレッシャーがストレッサーとなり、ストレスを生み出しているとも考えることもできる。

1.2.1.3 労働災害

厚生労働省大臣官房統計情報部の「労働災害動向調査結果」による「労働災害」の定義は、「労働者が業務遂行中に業務に起因して受けた業務上の災害のことで、業務上の負傷、業務上の疾病（休業一日以上及び身体の一部または機能を失うもの。）及び死亡をいう。ただし、業務上の疾病であっても、遅発性のもの（疾病の発生が、事故、災害などの突発的なものによるものでなく、緩慢に進行して発生した疾病。例えば、じん肺、鉛中毒症、振動障害など。）及び食中毒、伝染病は除く。」となっている。

労働時におけるストレスの問題は、長時間の労働に加え、職場の支援や仕事に対する責任意識低さが、ストレスの助長につながっていると考えられる。このことが、仕事上の事故、交通事故、うつ病、精神科受診率の増大に大きな影響を与えていることが分かる。

1.3 労働安全のための法的課題

1.3.1 労働安全のための国内の法規制

労働安全のための法律としては、「労働安全衛生法（1972.6.8）」がある。この法律は「労働災害の防止のための総合的計画的な対策を推進して、職場における労働者の安全

と健康を確保するとともに、快適な職場環境の形成を促進することを目的とする」と明記され、安全衛生管理体制、機械等及び有害物に関する規制、健康の保持増進のための措置等の規定がされている。また、技術基準的な規定が個別に定められている。

1.3.2 欧米の労働安全のための法規制

(1) 米国

アメリカにおける労働災害防止活動の歴史の源流を見ると、米国USスチール社の方針が存在する。この方針とは、「安全第一、品質第二、生産第三」であり、これによって生産の実績を上げたという事実が良く述べられる。この経営方針はアメリカ中から関心を得、特に一番目の標語である、「安全第一」はアメリカについて世界中で使用されるに至った。

合衆国政府内で労働災害防止を掌握しているのは労働省、特にその内部組織である、労働安全衛生庁（OSHA）である。また別機関の所有する研究所として、国立労働安全衛生研究所（NIOSH）が存在し、ここでは労働災害防止に関する幅広い調査・研究を行っている。

1970年、アメリカ労働安全衛生法が制定された。制定そのものは世界でも初めての総合的な労働安全衛生法であった。

(2) EU

EU自体が独自の行政執行機関ではないため、労働災害防止を目的とする調査・啓発のための機関を設置することはない。しかし、理事会指令という形態が用いられる。特に1989年には、「労働安全衛生の改善を促進するための施策の導入に関する理事会指令（89/391/EEC）」を採択した。同指令の第18条には、発行後1992年12月31日までにEU加盟各国が自国の法律に指令の内容を反映することが規定された。

1.3.3 欧米から見た労働安全に関する法規制のわが国の課題

基本的に労働災害の予防に関する法律とは、設備の未整備や不備に対して罰則を与えることを基本的な命題にするのではなく、いかにして災害をなくすかのガイドラインである。

日本型安全確保の方法は、個人の努力によって危険が回避できるというものであるが、欧米における安全確保の前提にあるのは、技術そのものに問題があり、技術の対策が安全確保の重要な要件となることを指摘している。徹底的に危険源を洗い出し、リスク評価を行うことになる。この危険源の中にストレスが事故の原因であるという可能性が見いだされる。

1.3.4 国際標準規格（ISO）の動向

1985年、ヨーロッパ共同体（EC）はヨーロッパ各国の標準を統一化することを決定した。まず1989年、EC機械指令（流通に関する強制規格）が出されることで各国は規格の内容に沿う形式で、法律を改正することが義務づけられた（実際の施行は1993年）。1990

年に成立したEUは、イギリスの安全規定を参考にしながら、機械安全の基本規格としてEN292を1992年に制定し、先の機械指令の技術的な面を補完する位置づけにした。実質的にはEN規格がISO及びIECの規格の原案に変わると言われる。なお、1995年、WTO（国際貿易機構）のTBT協定（貿易の技術的障害に関する協定）合意により国家規約を国際規約に原則的に合わせることになった。これに伴い日本のJISも国際規格への統合化が積極的に進められている。

1.4 まとめ（ストレスに関する安全対策の課題）

ストレスはハンス・セリエによる「日常的な生活から離れた状況下で出された要求に対する身体の特異的な反応」という定義がされているが、一般的には、いらいら、あせり、不安、怒りっぽい、緊張、不眠、疲労、胃腸の不調等の心身の異常を広い範囲で捉えていることが多い。このこと等が、家庭内事故、交通事故、労働災害等とのストレス関連性を明確にできない一因と考えられるが、ストレスを広義に捉えた時の、ストレスに関連する事故災害については、決して少なくないことが推定できる。

経済産業省の産業事故調査結果の中間とりまとめ（平成15年12月16日）によると、事故の発生要因として、誤操作・誤判断等の人的要因（ヒューマンエラー等）によるものが76%となっている。

このような社会的背景から、先の広い範囲で捉えたストレス状態を日常生活や就労状態で簡易に計測して、（個人レベルの）状態を把握することが重要であると考えられる。同時にストレスがよい状態（eustress）から、悪い状態（distress）に移行した早い段階で、癒し等の緩和措置（機械システム）を施すことにより、生活環境の改善、就労環境や就労条件の改善が図れ、ストレス関連性の家庭内事故、交通事故や労働災害の削減に効果的と考えられる。

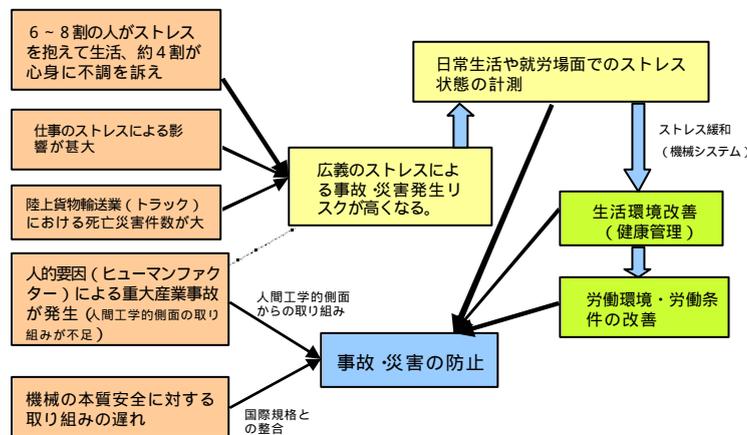


図3-1-1 ストレス計測技術を活用した安全対策への社会的要請（体系）

第2章 動的状態下におけるストレス計測に関する技術的課題

本章では、一般的なストレス計測技術、生活状態での簡易なストレス計測・状態評価技術等に関して、インターネット検索、文献検索により調査を行った。特に、ストレス反応のうち自律神経機能、内分泌系機能、免疫系機能を反映する生体情報の簡易計測技術に関する現状と課題等に関する調査・検討を行った。また特許検索を行い、ストレス計測技術に関する出願の傾向や特徴について整理を行った。

2.1 ストレスの概念と生体反応

情報化社会が進んでいる現代において、我々は複雑な職場環境や様々な人間関係などで常にストレスにさらされている。ストレス（Stress）とは、各種のストレス刺激（Stressor）に対する生体防御反応のことであり、全身適応症候群（General Adaptation Syndrome：GAS）と呼ばれている。図3-2-1に示したように、ストレスは生体ホメオスタシスの維持をつかさどる自律神経系、内分泌系、免疫系への影響を及ぼし、心身の不健康な状態を引き起こす大きな原因の一つである。これらの3つの系は、情報伝達の仕組みを共有して、総合的に生体調節系として働いている。

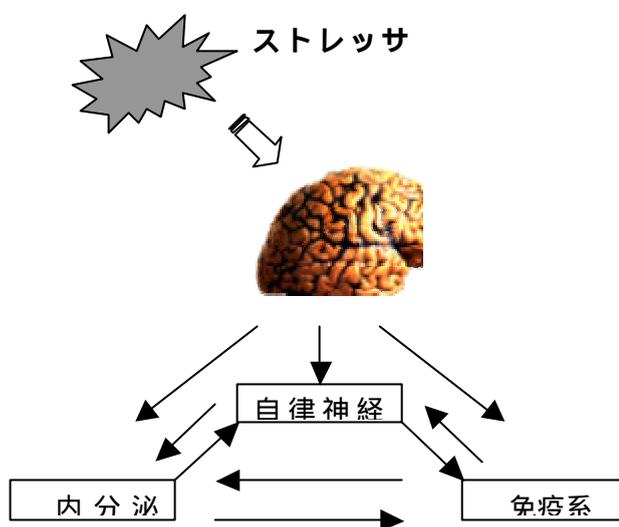


図3-2-1 ストレッサーに対する神経・内分泌・免疫系のネットワーク

2.1.1 自律神経機能とストレス

ストレスに対する自律神経反応は、従来、交感神経活動の緊張と副交感神経活動の弛緩として比較的シンプルに理解されてきた。しかし、それらは自律神経活動の平均レベルについて言えることであって、実際の自律神経活動やそれによって支配される生体指標には

無視できないレベルのゆらぎが見られる。ストレス状態では、そのようなゆらぎの構造に大きな変化が起こり、それらの変化は、生体の調節活動やその個体差を反映することがわかってきた。自律神経機能の分析はストレス反応に対する有用な方法であり、ストレス反応の客観的な評価として広く利用されている。

2.1.2 内分泌機能とストレス

ストレスが生体にかかると、視床下部がそれを感知し、交感神経を通じて副腎皮質からアドレナリンやノルアドレナリンを分泌させ、また、神経分泌細胞からは副腎皮質刺激ホルモン放出ホルモンを放出し、脳下垂体前葉から副腎皮質刺激ホルモンを分泌させる。ストレス時の生体は、機能維持するために調節機能が働く。この時、直接応答し分泌が高まる重要なホルモンがコルチゾルである。ストレス時には血中コルチゾルが上昇するため、これを測定するとストレスへの応答状況が分かる。

2.1.3 免疫機能とストレス

セリエのストレス学説以来、生体のストレスに対する反応様式には、内分泌系と自律神経系の2大調節系が関わるとされて多くの研究がなされてきたが、最近では本来独立したシステムと考えられてきた免疫系が注目されるようになり、中枢神経系・内分泌系・免疫系は相互に密接な情報交換を営んでいることが知られるようになった。

2.2 ストレス計測技術と評価指標

ストレス反応の計測には、主観・認知系の反応、生理反応、行動反応などの多変量、同時計測がストレスの客観的評価において欠かすことができない重要な問題である。

本調査研究では、可能な限り日常生活における簡易な計測技術を取り上げることにした。

2.2.1 主観・認知系反応の計測技術（問診）

主観・認知系反応とは、尺度構成法に基づいて作られた認知系・判断系の評価尺度である。この指標の測定する意味は、被験者が実験者の指示や要請どおりに実験課題を遂行したかを確認するためである。以下に列挙した尺度は、いずれも一過性の精神状態を反映している。

- ・ 顕在性不安尺度（Manifest anxiety scale: MAS）
- ・ 自己評価式抑うつ性尺度（Self-rating Depression Scale: SDS）
- ・ 状態不安尺度（State-trait Anxiety Inventory: STAI）
- ・ RAS評価（Roken Arousal Scale: RAS）
- ・ 感情プロフィール検査（Profile of Mood States: POMS）

2.2.2 生理指標の計測技術（生体情報）

2.2.2.1 心拍変動(Heart Rate Variability : HRV)

（１）計測の意義

心拍ゆらぎは自律神経機能、特に副交感神経機能が障害された状態では減少、さらには消失することが知られている。この心拍の現象を計測、解析することは副交感神経を中心とした自律神経機能を把握する有効な方法であり、実際に広く臨床応用されている。

心拍変動は主に、呼吸性の変動成分 (Respiratory Sinus Arrhythmia: RSA)、血圧変動が反映された変動成分 (Mayer Wave related Sinus Arrhythmia: MWSA)、フラクタル成分の 3 要素から構成されている。そのうち RSA と MWSA は周期成分なので、心拍変動は周波数解析をすると二峰性のピークを持つ。高周波側のピークが RSA で低周波側のピークが MWSA である。RSA は主として心臓副交感神経活動を反映するとされ、ストレス負荷時に減少する。MWSA は血圧リズム発生に関与する交感神経の働きと共に、迷走神経性の圧受容体反射を介して間接的に心拍変動に反映されるため、メンタルなストレス負荷時には迷走神経活動の減弱により減少を示すことが多い。

（２）心拍ゆらぎとストレス反応

自律神経調節機能の非侵襲的計測や評価法は、いずれも時間領域での分析法であるが、実施が容易なわりには、妥当性が比較的高い。これに対し、周波数領域で、スペクトル分析によって行う技法も盛んに行われている。

- ・ 比較的低い周波数帯域 (0.06 ~ 0.14Hz) の課題の困難さや記憶負荷によって影響を受け、振幅が減少する (Mulder&Mulder,1981)
- ・ 機序の異なる心拍変動成分を用いた定量的な自律神経機能評価法
- ・ その他、心拍変動を用いたストレス計測・評価の研究は数多い。

2.2.2.2 血圧(Blood Pressure : BP)

（１）計測の意義

最近はストレス計測・評価にもこの血圧変動解析(パワースペクトル解析)を用いた自律神経機能の評価法を用いることになった。この際、HF は副交感神経活動の、LF/HF は自律神経活動のバランスを表す指標として有用であることを報告している。

（２）血圧とストレス反応

- ・ 自転車エルゴメータ負荷やハンドグリップ負荷、暗算負荷など生体にある刺激を与えると低周波数領域成分 (LF) が増加することが報告されている。

- ・ 正常血圧者に比し、高血圧症の血圧変動の低周波数領域成分（LF）が大きいことから高血圧発症の背景に血管運動性交感神経活動の亢進の存在が推測されている。
- ・ しかし、血圧変動スペクトル解析は、スペクトル解析に用いる手法が、まだ、統一されていないことや個人間のばらつきが大きいこと、血圧変動に關与する因子が多いことなどから共通したデータが得られていない。

（3）血圧計測技術の現状（ウェアラブル）

現在、携帯型循環動態モニタリングシステムが運用されているが、いくつかの問題点があり、血圧計測に関しては、カフの指圧迫に伴う鬱血、エアポンプとリークバルブが発する騒音などが改善すべき課題として指摘されている。鬱血の問題は改善している報告もあり、騒音の問題も測定機器の小型化とともに改善するであろう。

2.2.2.3 脈波（Blood Volume Pulse : BVP）

（1）計測の意義

動脈内圧の変化から生じた動脈管の膨張、収縮を皮膚表面から波形として電氣的・機械的に捉えたものを容積脈波と呼ぶ。一般に皮膚血管は、交感神経性血管収縮線維の神経支配を受けており、交感神経の緊張亢進は毛細管径を細め、結果的には毛細管の血液が減少する。その理由から、交感神経系の緊張状態を評価するのに利用でき、ストレス研究のみならず、自律神経失調や不安神経症の把握（診断）にも広く用いられている。

（2）計測方法

脈波を圧脈波としてではなく、伝導中の動脈内圧変化によって生ずる血流の容積変動として捉える容積脈波測定についても種々の方法があるが、指尖光電管容積脈波計は、種々の分野で広く活用されてきた。ヘモグロビンの吸光量を主体に血流変動をとらえるものである。

（3）脈波とストレス反応

非侵襲的で、計測の簡便さからストレス研究において多くの場面で用いられている。

- ・ ストレス刺激を負荷すると細動脈の血管が主として収縮し、血液容積が減少する。
- ・ 収縮した血管は、一時的かつ機能的に弾性を失っているから容積も小さくなる。

（4）脈波計測技術の現状（ウェアラブル）

この指尖容積脈波（DPG）はその付近の動脈の圧脈波をかなり正確に推定でき、主に末梢血液循環動態や自律神経機能を反映する検査として用いられてきたが安定せず、また波形の起伏に乏しく、変曲点を評価することが困難であるといった問題点が残されている。

2.2.2.4 呼吸活動 (Respiration)

(1) 計測の意義

呼吸活動は他の生理指標、すなわち脳波や心拍、血圧変動などの指標に比べて、ストレス計測に用いられる頻度は少ない。この理由は利用価値が低いということの意味することではなく、計測の方法や得られたデータの解析方法などの諸問題があるためである。むしろ自律神経訓練法において呼吸活動はリラックス方法などに用いるもっと大事な指標である。

(2) 呼吸活動とストレス反応

吸気に心拍が増加し、呼気で減少するという RSA に代表されるように、生理反応の多くに呼吸性動揺が認められる。そこで呼吸をコントロールすることで、間接的に他の反応系をコントロールすることも可能ではないかという発想が生まれてくる。

- ・ ストレスでやはり呼吸数は増えていく。ところが、ストレスが極度に高まると、浅い呼吸ではなく、1回に吸う空気の量が増えている。ストレス時の呼吸の変化は、軽い過呼吸が生じている。
- ・ ストレスが原因で呼吸数が増加。それが重なり過呼吸になり、さらにストレスが増加。この呼吸の悪循環をどうすれば断ち切ることができるのか。

(3) 呼吸活動の計測技術

呼吸機能の計測に用いられているセンサは力学センサ、化学センサである。力学センサには以下のものがある。

- ・ 圧センサ
- ・ 流量センサ (翼車型、差圧型、熱線型、超音波型) 化学センサには以下のものがある。
- ・ 気相センサ (赤外光吸収形、ポーラログラフ型、質量分析計)
- ・ 液相センサ (イオン選択性膜型、体内光透過型)

(4) ストレス計測における呼吸活動の計測の現状

上記の(3)呼吸活動の計測技術で述べたようにストレス計測において呼吸は鼻孔用ピックアップ法と歪センサによる呼吸バンド法が主類になっている。その理由は、簡便で被験者に負担をかけないことと無侵襲、無拘束であることが挙げられる。

2.2.2.5 皮膚電気活動 (Electrodermal Activity : EDA)

(1) 計測の意義

精神性発汗を電氣的に捉えたものが皮膚電気活動 (EDA)である。精神性発汗は交感神経系の緊張や覚醒水準の高さを反映する。EDAは大きく通電法と電位法に大別される。いずれを使用しても記録上には、一過性の反応 (response)と緩徐な変動(level)が観察される。

(2) 計測方法

精神性発汗部位である手掌・手指に装着した一対の電極間に微弱な電流を流して、皮膚の見かけ上の抵抗変化を調べる通電法と、微弱な電流を流すことなく、一対の電極間の電位差を直接測定する電位法がある。いずれも交感神経支配下の汗腺活動を電氣的に測定し、被験者の情動状態を評価する方法である。

(3) 皮膚電気活動とストレス反応

様々なストレスから刺激を受けたとき、人間はそれに対して避けるか、解決・克服するか、耐えるかなど、何らかの対処行動をとる。精神的に興奮すると手掌や足底に汗がにじみ出る。試験答案を書いているさなかに、手指の汗でペンが滑り、非常に焦ったという報告もある。このように人間の心理状態を測定・評価する生理指標の1つである皮膚電位活動は、人間の緊張状態及び覚醒状態を示す指標として用いられている。精神心理学の分野では広く用いられている方法である。

(4) 発汗検査の意義

発汗は一般に、暑熱刺激によって誘起される温熱性発汗と、精神的緊張や情緒の変動によって発生する精神性発汗とに大別することができる (表3 - 2 - 1参照)。ここでは、主に精神性発汗について述べる。

表3 - 2 - 1 温熱性発汗と精神性発汗の特徴

	温熱性発汗	精神性発汗
発汗部位	手掌、足底部以外の全身の皮膚	手掌、足底部の皮膚
発汗刺激	温熱性刺激	精神性刺激
発汗量	多い	少ない
発汗潜時	長い	短い
汗腺	エクリン腺	エクリン腺

(CLINICAL NEUROSCIENCE Vol.15 No.4, p.73,中外医学社)

発汗検査の意義は、情動活動の生物学的指標、脊髄の発汗中枢から汗腺に至るまでのコ

リン作動性交感神経節後繊維の活動状態を評価する指標、手掌部汗腺の活動状態の指標として、臨床応用することができるものと考えられる。

(5) 発汗検査とストレス反応

精神性発汗は緊張など覚醒レベルの上昇により手掌や手指などで見られる発汗である。外部からの刺激に対する発汗反応の計測は、交感神経の緊張状態を評価するいい指標である。その計測方法として、皮膚電位反応 (SPR) は、循環、呼吸、消化器系疾患における心的緊張、不安恐怖、抑うつ、さらに自律神経失調症、多汗症の状態把握に適している。

(6) EDAの計測技術の現状と問題点

- ・ 皮膚電位活動は生体の信号中でも非常に敏感に変化するので、動的下の計測はできるだけ避けた方が望ましい。
- ・ EDAの中枢発見機序がまた解明されていない。
- ・ SPRは加齢に伴い、反応振幅と出現数が減少する。
- ・ 交感神経活動を抑制する薬物が投与された場合は、SPRが減少し、ときには無反応となる。

2.2.2.6 皮膚温 (Skin Temperature)

(1) 計測の意義

皮膚温には様々の内的・外的因子が敏感に作用する。自律神経のコントロールを受けている血管運動神経機能と汗腺機能は、年齢差、性差、季節、薬物、ストレス、精神機能などに影響される。外的因子としては、放射、対流、蒸散などによる熱消失があることから、検査時の環境として、気温、湿度、気流、着衣の量、熱放射体の有無などに考慮する必要がある。

(2) 計測方法

サーミスタ (thermistor)

サーミスタは大きな負の抵抗温度係数をもった半導体で、温度が上昇・降下すると、それに伴い抵抗が減少・増加する。より短い時定数、高い温度分解能を有したサーミスタがよいとされる。

サーモグラフィ (thermography)

サーモグラフィは、非接触であり、面全体の温度を同時に高速で測定が可能であるという点が特徴である。サーモグラフィは自律神経機能障害の病態解析、経過観察、治療効果の判定に有用な自律神経機能検査法の一つとして位置づけが確立されている。

(3) 皮膚温とストレス反応

一般にストレス度が増すと、交感神経を興奮させ、血管が収縮し、そのために血流が悪くなることが知られている。特に手、足の末端の毛細血管ではすみずみまで血流が行き渡らなくなり、体温調節機能が低下する。生体の血流情報・自律神経情報を体温の回復状態から総合的に取得し、ストレス度を測定するために皮膚温はストレス計測においてしばしば登場している。

(4) 皮膚温の計測技術の現状と問題点

- ・ サーミスタによる計測は簡便であるが、測定部位の運動を伴う作業時のモニターには適当とは言えない。また、身体部位の1カ所の温度情報しか得ることができない。
- ・ サーモグラフィによる皮膚温の計測の難点は、動的部位では撮像が困難であり、さらに体表温と同一温の背景がある場合は、測定対象物との境界を見分けることが困難である。

2.2.2.7 眼球運動 (Eye Movement)

視覚のストレス反応の計測として用いられる瞳孔検査や瞬目(まばたき)計測に関して述べる。

(1) 瞳孔検査

一般に瞳孔は緊張した状態(交感神経活動の優位)の時に弛緩し、リラックス状態(副交感神経の優位)の時に収縮する。瞳孔は、眼の虹彩の中央部にあって、光が通過する穴である。虹彩の主な機能は、薄暗い光の場合に瞳孔径を大きくし、明るい光の場合に縮小することである。このようにして、個体の環境に応じて目に入れる光の量を調節する。

表3-2-2 瞳孔検査方法

入力系検査	出力系検査
<ul style="list-style-type: none">・ 対光反応・ Relative afferent papillary defect (RAPD)・ Pupillary escape	<ul style="list-style-type: none">・ 大きさの現象・ 形の観察・ 反応の観察・ 点眼試験

(2) 瞬目(まばたき)

瞬目(eyebink,blink,wink:Lidschlag)は本来、医学の専門用語であり、もちろんいわゆる「まばたき」のことを指す。定義すると「覚醒中の眼瞼の一時的瞬間的閉開」となる。しかし、瞬目は1種類ではなく、いくつかに分類が可能である。

まず、意図が関与するかどうかで随意性と不随意性に分けられ、さらに不随性瞬目は、惹起刺激が同定できるかどうかで、反射性と自発性に分かれる。したがって、通常は、随意性瞬目、反射性瞬目、自発性瞬目と3分類するのが便利であり、それぞれにメカニズムも神経支配も異なることが考えられている。

瞬目の測定方法

- ・ 自然観察法
- ・ ビデオ観察法
- ・ EOG法
- ・ EMG法

(3) 眼球運動とストレス反応

眼球運動は、生理・心理学分野では、感覚、知覚、認知の指標として多くの研究が行われてきた。ストレス計測においても瞳孔検査や瞬目検査の形で、しばしば用いられている。交感神経活動が優位の場合は、瞳孔が拡張し、副交感神経活動が優位の場合は収縮する。また、瞳孔は、休息十分な被験者において最大で、疲労とともに減少し、睡眠直前に最小になる。まばたきは、精神的に緊張している時に減少し、リラックス時に増加する。

(4) 眼球運動の計測技術の現状と問題点

現在、ストレス計測における眼球運動の計測は、実験室内のレベルで行われているのが現状である。瞬目の測定において直接観察法の場合、特別な装置や道具などが必要ないので簡便な方法であるが、観察者の訓練が不十分であると、瞬目と閉眼、あるいは単なる垂直眼球運動に付随する眼瞼移動との区別が困難である。その他の電極を使った方法は、脳波計やポリグラフシステムなどを利用した実験室のレベルでは適しているが、ウェアラブルには不向きである。自発性瞬目の頻度のみを数えるなら光センサ法で十分であり、装置も簡便になり、眼鏡などに装着できるので利用可能であろう。

2.2.2.8 唾液中のコルチゾル (Cortisol)

最近、ストレスの評価指標として注目を受けている唾液中のコルチゾルの簡易計測・評価方法について述べる。

(1) 唾液中のコルチゾル

唾液中から非侵襲的にコルチゾルを分離・測定できる。コルチゾルの測定は、生体内部調節機構の働きの一つである。視床下部 下垂体 副腎皮質系の機能検査として有効な方法である。

(2) コルチゾルの計測方法

- ・ ラジオイムノアッセイ法
- ・ 高速液体クロマトグラフィ法

(3) コルチゾルストレス反応

コルチゾルは、ストレスホルモンと呼ばれるように、急性ストレス状態で増加することがよく知られている。ストレス研究では、非侵襲的に手軽に採集できることから唾液中のコルチゾルを測定することが多い。聴衆の面前でのスピーチ、病院での検診待ち、試験の直前、恐怖映画の鑑賞など、不安、心配といった心理状況下では唾液中のコルチゾルはかなり上昇する。

2.2.2.9 唾液中分泌型免疫グロブリン A (secretory immunoglobulin A : s-IgA)

(1) 計測の意義

免疫指標として s-IgA を用いる最大の利点は、唾液から抽出可能なことであり、非侵襲的に免疫指標が計測できるという点である。また、s-IgA は血液中よりも唾液などの分泌液中においても存在意義をもつので、唾液中 s-IgA の量的変化自体を計測・評価する意義もある。

(2) s-IgA 動態とストレス反応

- ・ 視覚遮断ストレス実験結果、視覚遮断期間中の s-IgA 値は、前値に比べて約 50% 増加したが、普通の生活に戻ると元のレベルに戻っている。暗闇のまま日常生活を過ごすというストレス事態における生体防御系の反応パターンとみなせばわかりやすい。
- ・ 騒音ストレスを負荷した実験の結果では、騒音ストレスの負荷によって s-IgA 値は増加し、唾液分泌量は減少した。この結果は、拘束ならびに騒音暴露というストレスに対して、生体防御システムが作動したことを客観的かつ非侵襲的に観察し得ることを示す。

(3) ストレスマーカーの開発現状

ストレスマーカーの開発の現状を表 3 - 2 - 3 に示す。

表3 - 2 - 3 ストレスマーカーの開発現状

マーカーの種類	唾液での測定	特徴・その他	測定装置の開発
コルチゾル	可能	古典的なストレスマーカー。ストレス刺激を受けてから応答が現れるまでに時間がかかるなどの難点がある。	
カテコールアミン	困難	古典的なストレスマーカー。刺激を受けてからすぐに応答するが、唾液での測定は困難。	産総研・HSS 研究センター・脇田チーム長
免疫グロブリン A	可能	ストレス刺激で上昇するが、快適でも上昇する。化粧品会社が快適マーカーとして香りの評価などに利用。	
クロモグラニン A	可能	肉体的なストレスには反応せず、精神的ストレスだけを高感度に測定できる。	豊田中央研究所、医学 生物学研究所、アイシ ン精機
アミラーゼ	可能	ストレス刺激に対して速やかに反応して上昇する。	富山大学・山口助教授、 ヤマハ発動機、ニプロ
チオレドキシシン	可能	酸化ストレスによって上昇。精神的ストレスとの関係も示唆されているが、感染などでも上昇する。	レドックス・バイオサイ エンス、京大・淀井 教授、産総研

(日経バイオビジネス,P80-83,2004,01)

2.2.2.10 脳波 (Electroencephalography : EEG)

(1) 計測の意義

脳波は、生物電気の中でも最も微弱な電気現象の一つであるから、これを歪みなく増幅して記録することが大切で、そのための装置としては電子計測装置の中でも特に精密である必要がある。さらに、体動下の状況ではデータの収集が困難である。中枢神経系機能を計測する最も一般的な方法である。

(2) 計測方法

脳波は、アルコールを使用して頭皮上の皮脂などをよく拭き取った後、心電図用電極糊として市販されているものを用いる。電極は、円板電極と針電極に分けられる。最も広く使用されている記録法は、標準化された 10-20 電極配置法である。導出法には以下の2つの方法がある。

- ・ 単極導出法 (monopolar recording)

- ・ 双極導出法 (bipolar recording)

(3) 脳波とストレス反応

脳波は、自動車運転やVDT作業のような単純作業中の覚醒度や集中度などの変動を捉えることが可能で、疲労やストレス評価の客観的指標としてよく使われ、かつ有用な方法である。

(4) 応用領域

脳波が中枢神経系の機能を反映していることから、様々な研究や臨床応用が行われてきた。脳波計測の利点を挙げると、

- ・ 心理状態の連続した変化を捉えることができる。
- ・ 刺激に対する生体活動の微細な変化を捉えることができる。
- ・ 個人間、個人内の細かい差異を反映することができる。
- ・ 中枢神経系 (脳) の機能を反映している。
- ・ 情報量が豊富である。

しかし、最近では脳波のみではなく、他の生体情報との相互関連について分析を行っている。

2.2.3 行動反応系

行動反応系とは、被験者の課題に対する応答をいう。選択反応時間課題を用いたならば、常に反応時間や正答率などのパフォーマンスは資料として得られる。これは被験者が適切に課題を遂行したかどうかの証なので必ずチェックしなければならない。

2.2.3.1 反応時間

反応時間は刺激に対する反応の決定とそれにもとづく身体運動の遂行に要する最小時間である。疲労状態の計測に応用される。

(1) 計測の意義

疲労状態の計測や正答率などの課題遂行の資料になる。刺激への反応時間、課題達成に要した時間などを計測する。

(2) 計測方法

反応時間は刺激提示時間の制御が可能な装置とキーボックスなどの反応装置、さらに計時装置があれば計測可能である。しかし、それぞれの刺激方法 (数字や単語などの単純な視覚刺激、図形・画像などの複雑な刺激) によって相応した計測装置が必要である。

2.2.3.2 作業量

(1) 計測の意義

標準化された作業は、同じ人が同じ条件のもとで一定時間、作業に従事すれば、およそどの程度作業量が変動するかわかる。

(2) 計測方法

- ・内田クレペリン検査作業（標準化された作業課題）
- ・正答率、誤答率など
- ・入社試験などの適正検査として、あるいは気質判定のために科学的資料として用いられる。

2.3 ストレス計測技術に関する特許調査

2.3.1 調査方法

ストレス簡易計測技術に関する技術動向を把握するために、国内の特許状況について調査を行った。検索方法は、特許庁特許電子図書館（IPDL）にて、「公開特許公報フロントページ検索」を用いた。検索範囲は、公開日：1999年4月1日～2003年12月30日とした。

2.3.2 検索結果の絞り込み

特許フロントページで要約の内容を検討し、以下のような調査対象のストレス計測技術に関する特許の検索を行った。

- ・ ストレス計測に関する特許
- ・ 生体情報計測に関する特許
- ・ 簡易計測に関する特許
- ・ 日常計測に関する特許
- ・ 疲労回復に関する特許

2.3.3 検索結果の分析

心拍数や脈拍数の生体情報を用いた出願件数が23件であり、日常生活の健康状態をリアルタイムで監視し、その内容を把握する健康管理を目的にした内容のものが最も多くみられる。血圧計測装置に関する出願の傾向から、簡易に装着可能な光電脈波センサから脈波波形を解析することにより得られた循環動態のパラメータを用いた血圧監視装置の開発が進んでいると思われる。しかし、血圧に関しては、健康状態を把握するネットワークシステム、すなわち在宅医療システムの一つの手段として用いられている傾

向がある。呼吸に関しては、被験者に大きな負担をかけることなく、在宅でも診断を可能にするシステムについての出願が見られる。しかし、呼吸活動については、日常計測かつ簡易計測の技術に関する出願は見当たらない。常時計測の困難さ、計測方法の簡略化やデータ解析の難しさが理由と考えられる。

皮膚電気活動に関する「(日常 or 簡易) and(計測 or 測定)and(皮膚電位 or 皮膚抵抗)」の検索式では件数が 0 件、「皮膚電位 or 皮膚抵抗」の検索式では 11 件検出された。そのうち生体情報に関するものは 3 件があった。皮膚抵抗の変化からリラックス状態を測定する内容であり、測定の簡易化や装置の小型化が新しい。皮膚温に関しては、「皮膚温」が 59 件、「皮膚温 and(計測 or 測定)」の検索式で 18 件が検出された。皮膚温を用いた商品開発が進んでいることが検索結果から窺える。その主な内容は、マッサージ機やサウナ装置など健康機器分野、空気調和システムや空調システム分野、寝室や寝具などの分野が目立っている。発汗に関する出願傾向も皮膚温と同様に、発汗または発汗量を用いた商品開発が進んでいると思われる。

眼球運動(瞳孔径・瞬目)に関しては、「(日常 or 簡易) and(計測 or 測定)and(眼球 or 眼球運動)」、「(日常 or 簡易) and(計測 or 測定)and 瞳孔径」、「(日常 or 簡易) and(計測 or 測定)and(瞬目 or まばたき)」の検索式ではいずれも検出件数が 0 件であった。しかし、「瞳孔径」や「瞬目 or まばたき」ではそれぞれ 34 件、21 件が検出された。まず瞳孔径に関する出願の多くは眼科検査(撮影)装置である。

内分泌や免疫系などの体液、ストレスホルモンと言われるコルチゾルホルモン系に関して、「コルチゾル or コルチゾール」の検索結果は 10 件であった。主に、ストレスの判別や判定を目的にした出願が多く見られた。また、「尿 and 計測」では 43 件が検出された。尿検査装置が多くを占めており、健康管理装置との連携した出願が多いのが特徴である。さらに「唾液 and ストレス」では 7 件が検出された。唾液中の成分(コルチゾル、分泌型免疫グロブリン A、 - アミラーゼ活性、デヒドロエピアンドロステロン)の解析から、快・不快ストレス状態判別や慢性ストレス鑑別法を提供している。

癒し関連の出願では、「(癒し or リラクゼーション) and (音 or 音楽)」の検索式で 28 件、「(癒し or リラクゼーション) and (香り or 芳香)」は 16 件、「(癒し or リラクゼーション) and (ロボット or 玩具)」は 8 件が検出された。

2.4 生体情報を用いたストレス計測の現状と課題

生理指標は、無侵襲かつ経時的に生体の反応を測定できるため、ストレス反応の定量的、客観的評価のための指標として有効な方法である。しかし、計測における利便性と無侵襲、

無拘束性の追求、評価における生理指標の個人差の取り扱いなどまだ多くの問題が残っている。また、最近では作業中や動作中などの動的状況下において無拘束かつ簡易な指標の計測が求められている。そのための各計測指標には特性があるため、複数の計測指標から、多くの生体情報を引き出すことが要求される。

また、心理的ストレス反応に限らないが、何かを計測しようとするときには、まず、測定しようとする対象を概念化し、定義することが必要とされる。そして定義と実際に使用される測度との適合性、すなわち妥当性の問題を曖昧にしていることがストレス研究の発展を妨げている。

このため、以下のようなことが要請される。

- ・ 計測システムの標準化や共有化
生体情報は個人差や計測方法、計測環境などに信頼性に欠けることがあるため、より客観的に評価をするためには計測の標準化や共有化が必要である。
- ・ 多次元的な計測（多変量）
生理指標を同時に計測して、調査者の質問に対する生体信号の変化を総合的に判断することが必要である。

2.5 まとめ

本章では、一般的なストレス計測技術、生活状態での簡易なストレス計測・状態評価技術等に関して、インターネット検索、文献検索等から調査を行った。ストレス反応のうち自律神経機能、内分泌系機能、免疫系機能を反映する生体情報の簡易計測技術に関する現状及び日常生活への適用するための課題等に関する調査を行った。

内的・外的ストレスに対して、生体は神経機能・内分泌機能・免疫機能の調節系により内部環境の恒常性が維持されている。これら3つの系は、情報伝達の仕組みを共有して、総合的に生体調節系としてストレスに対して働く。

ストレス反応の簡易な計測に用いることができる生体情報としては、主観・認知系反応の計測技術（問診）、生理指標の計測技術（生体情報）、行動反応系の計測技術等が考えられる。まず、心療内科や臨床の現場では欠かすことができない主観・認知系反応（問診）の計測技術は、主に質問紙やアンケート調査によるものであり、個々人の主観的尺度として重要な情報である。次に、生理指標の計測技術（生体情報）については、中枢神経系反応の指標である脳波、自律神経系反応の指標である心拍変動、血圧、指尖脈波、呼吸活動、皮膚温、発汗と視覚・運動系反応の指標である眼球運動（瞳孔径、まばたき）、内分泌・免疫系反応の指標である唾液中のコルチゾル、免疫グロブリン、カテコールアミン、アミラーゼ等がある。最後に行動系反応として、反応時間、作業量等の項目を中心に計測を行う。

生理指標は、無侵襲かつ経時的に生体の反応を測定できるため、ストレス反応の定量的、客観的評価のための指標として有効な方法である。しかし、計測における利便性と無侵襲、無拘束性の追求、評価における生理指標の個人差の取り扱いなどまだ多くの問題が残って

いる。また、最近は作業中や動作中などの動的状況下において無拘束かつ簡易で適切な指標の計測が求められている。そのための各計測指標には特性があるため、複数の計測指標から、多くの生体情報を引き出すことが要求される。

第3章 ストレス計測に基づく安全対策システムの可能性

ストレス計測技術を利用する安全対策・環境改善への適用製品、技術課題、実現可能性について調査を行った。

3.1 ストレス評価指標と評価目的との関係

「ストレス反応の出方には個体差があり、内分泌系に出るヒトもいれば、心臓に来るヒト、自律神経系に来て胃が痛むヒト、睡眠障害が出るヒトなど様々である。例えば、コルチゾールだけでは内分泌系のストレス反応だけしか測定していない。1つのマーカーだけを使っているのは、見るものが限定されてしまう。

重要なのは測定値を利用してストレス反応を制御する方法を考えることである。ストレス反応の出方の癖を本人や周りが理解すれば、それが出ないように対処行動を取れるし、周囲も支援の手を差し伸べられる。個体差をきっちり理解するためには、それぞれのストレス反応を特異的に測る指標を包括的に利用するのがいい。マーカーには一長一短があって、どれがいいという話ではない。」

【引用】森本兼曩・大阪大学大学院医学部環境医学教室教授談、「日経バイオビジネス(2004.01)」

ストレス反応の出方には個人差があり、また、朝と夕方異なる等の日内変動や周囲の環境条件によっても変化することなどから、ストレスの評価指標の適用性について、一概に述べることは無理がある。このことを承知の上で、様々なストレス計測指標を日常生活において使用する場合の適用性について、関連文献の量を基に分類・整理を行った。

その結果を表3-3-1に示す。ストレス評価指標としては、中枢神経系の脳波、自律神経の心拍ゆらぎ・脈波波高・血圧スペクトル・呼吸活動・精神性発汗・末梢皮膚温、視覚・運動系反応の瞳孔径・瞳孔反射反応・瞬目(まばたき)、骨格系反応(筋電図)、消化器反応(胃電図)、内分泌・免疫系のコルチゾール・カテコールアミン・クロモグラニンA・アミラーゼ・チオレドキシン・分泌型免疫グロブリンA、主観・認知反応系のSDS(抑うつ性尺度: Self-rating Depression Scale)・MAS(顕在性不安尺度: Manifest Anxiety Scale)・POMS(感情プロフィール検査: Profile of Mood States)・日常生活行動や睡眠の変調、行動反応系の反応時間・正答率・内田クレペリン検査・アクティメーターを挙げている。表中では、ストレス計測指標・計測手法の適用性について、関連文献の内容・量から考えられる、適用しやすい(○)、ある条件で適用(△)、適用しにくい(×)の分類で示している。

表3 3-1 ストレス反応の計測指標・計測手法と日常生活での計測適用性の関係

【記号】 : 適用しやすい (ある条件で) 適用 × : 適用しにくい (参考文献の内容・量等から考えられる分類)

ストレス反応 (伝達経路)	生体反応	計測指標	計測手法	適用性								参考文献		
				一過性	慢性	緊張	覚醒	精神疲労	不安	快適	睡眠			
中枢神経系活動	中枢反応	背景脳波	脳波										1,2,3)	
		フリッカー値	光点滅							×	×	×	4,5)	
末梢神経系活動 (自律神経系)		心拍ゆらぎ	心電図										6,7,8,9) 10,11,12) 13,14)	
		心拍ゆらぎ(脈波間隔)	指尖容積脈波											
		脈波波高	加速度計											
		血圧スペクトル (LF、LF/HF成分の解析)	血圧計											15,16)
	視覚・運動系反応	呼吸活動	サーミスタ、プローブ											17,18)
		精神性発汗	皮膚電気活動(SPL,SPR)											19,20)
		末梢皮膚温	サーミスタ											21,22)
		瞳孔径 瞳孔反射反応 瞬目(まばたき)	アイカメラ ビデオカメラ EOG、EMG									×	×	23,24,25, 26,27)
骨格筋反応	運動系活動	筋電図									×	28)		
消化器反応	消化器系活動	胃電図									×	29)		
内分泌系・免疫系 大脳皮質(辺縁系) 視床下部 下垂体 前葉 副腎皮質 (HPA)系	体液反応	コルチゾル カテコールアミン クロモグラニンA アミラーゼ チオレドキシシン	血中 尿 唾液									×	30,31,32, 33,34,35, 36,37)	
	免疫系反応	コルチゾル 分泌型免疫グロブリンA(IgA)	唾液									×		
主観・認知反応系	日常生活のストレスや不安などの評価尺度	抑うつ性尺度 慢性的不安尺度 気分や感情尺度 行動レベル 睡眠レベル	SDS MAS POMS 日常生活行動の変調 OSA 睡眠調査票				×					×	38,39) 40) 41,42) 43,44) 45)	
行動反応系	適切に課題を遂行したかどうかの証	課題遂行	反応時間 27 正答率(エラー) 内田クレペリン検査	×		×				×		×	46,47,48,49)	

- 1) 石橋基範,吉田倫幸：覚醒低下に伴う反応時間と脳波の変動, 人間工学, 36(5), 229-237, 2000.
- 2) 荻原 啓, 荒木和典, 道盛章弘, 斉藤正己：脳波を用いた覚醒度定量化の試みとその応用,日本M E 学会雑誌, B M E, 11(1), 86-92, 1997.
- 3) 吉田倫幸：脳波レベルから見た $1/f$ ゆらぎの意義, 日本M E 学会誌, 8(10), 29-35,1994.
- 4) 市川 宏、湖先 克 編集：医科機械の使い方,173 - 179：医科学書院, 東京, 1982.
- 5) 大鳥 利文、中尾 雄三：フリッカー視野検査とその意義, 眼科,24,1489 - 1495,1982.
- 6) 市丸雄平 他：自律神経障害患者における心拍のリズムとゆらぎ, BME, 8(10), 36 - 48, 1994.
- 7) 下野太海 他：心拍・呼吸・血圧を用いた緊張・単調作業ストレスの評価手法の検討, 人間工学, Vol.34 No.3 107-115,1998.
- 8) 柳平雅俊, 安土光男：運転状態推定技術の開発 心拍解析による眠気状態の検出、PIONEER R&D 13(2),75-82, 2003.
- 9) 水野康文：心電図 R - R 間隔による運転疲労評価法の研究,自動車技術会論文集,27(3), 101-106,1996.
- 10) 三浦明子,竹宮敏子,丸山勝一：自律機能検査に利用した指尖容積脈波法, 東女医大誌, 51, 729-751, 1981.
- 11) 柳平雅俊,安土光男,杉浦康司,南野政明,望月正人：ドライバー状態検出装置の開発,PIONEER R&D 11(2),75-82, 2003.
- 12) 清水俊行,苗鉄軍,下山修：指尖脈波もカオス分析を用いたドライバの心身状態の定量化,ヒューマンインタフェース学会研究報告集, 6(1),2004.
- 13) 竹宮敏子：臨床脈波について, 東女医大誌, 46, 1-12, 1976.
- 14) http://www.toshiba.co.jp/rdc/saishin/detail/03_6_3.htm
- 15) 達野陽子 他：自律神経系生理指標を用いた問題発見型作業評価手法の開発と協調作業への適用, ヒューマン・インタフェース研究報告集, 1(1),1-6,1999.
- 16) 佐野佳彦他：超小型指式血圧計用圧力センサーの開発, OMRON TECNICS, 40(4), 1-6 2000.
- 17) 藤澤 清 他：新生理心理学, 北大路書房, 東京, 1998.
- 18) http://www.hql.or.jp/gpd/jpn/www/hdb/work/content/c5/c5_d_/c5_d_04.htm
- 19) 新美良純：皮膚電位水準と皮膚電気反射, 脳波と筋電図, 8,147,1980.
- 20) 人間感覚計測応用技術プロジェクト報告書, 社団法人人間生活工学研究センター, 25-27, 1999.
- 21) 西尾恭幸：無拘束生理計測技術の感性評価への応用, 第 14 回日本生理心理学会学術大会シンポジウム, 生理生理学と精神生理学,14(2),90-91,1996.
- 22) 源野広和 他：顔面皮膚温による温冷感の評価, 計測自動制御学会論文集, 31(8),973,1995.
- 23) 田多英興, 山田富美雄, 福田恭介(編)：まばたきの心理学,北大路書房, 京都, 1 章,3-7,1991.
- 24) 松永勝也：瞳孔運動の心理学, ナカニシヤ出版, 京都, 1990.
- 25) <http://www.camnac.co.jp/analysis/index.html>
- 26) 田多英興, 山田富美雄, 福田恭介(編)：まばたきの心理学,北大路書房, 京都, 1 章,3-7,1991.
- 27) 人間感覚計測応用技術プロジェクト報告書, 社団法人人間生活工学研究センター, 69-72, 1999.
- 28) 平井久：バイオフィードバックの展開,電子通信学会誌,68(12),1342-1349,1985.
- 29) 奥野 洋, 本郷道夫, 氏家裕明他：経皮的胃電気活動記録 (EGC:Electrogastrography) に関する基礎的検討, 日本平滑筋誌,25, 55-60,1989.
- 30) 神田武利 他：セミマイクロカラム高速液体クロマトグラフィー(カラムスイッチングシステム)を用いる紫外外部吸収検出器による唾液中コルチゾル及びコルチゾンの同時定量, 臨床化学, 25(3),165-170,1996.
- 31) 山田富美雄 他：分泌型 IgA を用いたストレス反応性の評価, 大阪府立看護大学紀要, 1(1),47-50, 1995.
- 32) 屋形 稔,中井利昭：ホルモン検査ハンドブック,宇宙堂八木書店,1985.

- 33) 福岡正和 他：ストレスの概念と評価の方向, 技術情報誌, 社団法人人間生活工学研究センター, 1-20,1994.
- 34) 韓 在都,内山明彦：ストレス負荷後における香りのリラクゼーション効果, AROMA RESEARCH, 4(1), 35-39, 2003.
- 35) 井澤 修平, 平田 麗, 児玉 昌久：ストレスフィルムに対する分泌型免疫グロブリンA反応, ストレス科学研究, 17, 53-57, 2002.
- 36) 人間感覚計測応用技術プロジェクト報告書, 社団法人人間生活工学研究センター, 17-20, 1999.
- 37) http://unit.aist.go.jp/hss-center/index_j.html
- 38) 福田一彦,小林重雄：自己評価式抑うつ性尺度の研究,精神誌,75, 673-679,1973.
- 39) 日本生理人類学会計測研究部会編：人間科学計測ハンドブック,東京,1996.
- 40) 塩見邦雄,千原孝司,岸本陽一：心理検査法,ナカニシヤ出版,京都,1991.
- 41) 松原達哉 編：最新心理テスト法入門 基礎知識と技法習得のためにー,日本文化科学社,1995.
- 42) 中島義明：実験心理学の基礎,誠信書房,東京,1992
- 43) 内山喜久雄：行動臨床心理学,第2刷, 岩崎学術出版, 57-123, 1981.
- 44) 野添新一：内科における行動療法,内科,63,486,1989.
- 45) 日本睡眠学会編：睡眠学ハンドブック,朝倉書店, 東京, 1994.
- 46) Ohira,H.: Eyeblink activity in a word-naming task as a function of semantic priming and cognitive load, Perceptual and Motor Skills, 82, 835-842,1996.
- 47) 人間感覚計測応用技術プロジェクト報告書, 社団法人人間生活工学研究センター,115-118,1999.
- 48) 外岡豊彦(監修)：内田クレペリン精神検査基礎テキスト,日本精神技術研究所,1973.
- 49) http://www.hql.or.jp/gpd/jpn/www/hdb/work/content/c5/c5_d_/c5_d_12.htm

3.2 ストレス計測に基づく安全対策・生活環境改善のためのビジネスプラン

日常生活における生活者や就労者のストレス状態の計測を行い、ストレス状態に応じて、安全対策や生活環境改善を図るための製品・システムへの適用について、労務管理（労働安全）、作業支援、医療・健康及び住宅の4分野におけるビジネスプランの提案を行い、各ビジネスプランに関する目的、計測・評価技術の技術課題等、産業界のニーズ等の検討を行った。

3.2.1 企業における労務管理（労働安全）分野「長距離バス・トラックの運行管理支援システム」

(1)目的

運転中のワークロード管理は、運転支援システム設計、運転手の運行管理・勤務管理等に重要な問題である。「長距離バス・トラックの運行管理支援システム」は、長距離バスや長距離運送等の運転手のストレス状態（疲労・眠気等）を計測して、ストレス状態に応じて、座席の振動、休憩シグナル、（家族等との擬似）おしゃべりモード等の手段を組み合わせ、覚醒・ストレス緩和を図るものである。また、ストレス状態が長時間継続する場合には、休暇を与える等、運転手の勤務計画（健康・安全）に反映させることを目的とする。

(2)計測・評価技術の技術課題等

心拍ゆらぎ（脈波・心電図）

指尖脈波（光電式容積脈波）の計測技術として、運転手の指先にキャップ型センサを常時装着する方法^{a)}がある。また車のハンドルにセンサを取り付けて、手のひらから脈波を計測する方法^{b)}が提案されている。いずれも、波形の起伏に乏しいため変曲点の評価が難しいこと、車の振動や体動を含む波形からの生体信号（脈波）の取り出し、データの蓄積と判定基準の明確化等が課題として挙げられる。ハンドルセンサ方式はハンドルの握り方に個人差があるため、影響を考慮することが必要である。

体動等のデータ前処理（de-noise）には、フィルターとしてカオス解析によるウェーブレット変換技術がある。心電図（ECG）RR間隔、呼吸等の生理指標との比較による、脈波計測データの有用性と車載での実用性についての検討が必要である。

以下のにも共通する課題として、個人の特性を判定できるシミュレーション技術、リアルタイムの監視システム構築の開発が必要である。

a)清水俊行・苗鉄軍（コンピュータコンビニエンス）、下山修（日産自動車）「指尖脈波もカオス分析を用いたドライバの心身状態の定量化」、ヒューマンインタフェース学会研究報告集 Vol.6 No.1（2004.1.23）

b)ソフト開発のコンピュータコンビニエンスは日産自動車、産業医科大学と共同で、車の運転時の疲労や眠気を測定して運転手に警告するシステムの開発に乗りだした。交通事故の防止効果を狙っており、ハンドルは握った手のひらから脈波を読み取る技術を応用、早期実用化を目指す（2002.11.29、日経産業新聞）

また、手のひら等に当てるだけで心電図を測定・解析できる機器が開発されている^{c)}。運転中に心拍を計測するためには、電極をシフトレバーもしくはハンドルへの埋め込みが必要と考えられる。また、運転席のお尻の付近に設置したセンサで心拍数を調べる自動車用シートの開発が行われている^{d)}。しかし、着衣のお尻からのセンシングは誤差が多いことが考えられる。

c)医療機器メーカーのパラマ・テックは、家庭で手のひら等に当てるだけで心電図を測定・解析できる機器を開発した。大きさは6×12×厚1.2cm、重さは120g。手のひらや胸部に24秒間当てて、心拍に伴い発生する電気信号を読み取る。測定結果を液晶画面に波形で示し、波形の規則性やゆらぎの大きさを7秒間で解析する（2002.9.25、日本経済新聞）

d)眠気に襲われると心拍数の上下が激しくなることに着目して、運転席のお尻の下付近に設置したセンサーで運転者の心拍数を調べる自動車用シートの開発を、トヨタ自動車系内装メーカーのタカニチと、マツダ系部品メーカーのデルタツーリングが共同出資で手がけている（2003.11.8、朝日新聞）

眼球運動（瞳孔径・瞬目）

-1 アイカメラ

アイカメラは頭部に装着する帽子型の瞳孔径/角膜反射方式によるものが製品化されている。アイカメラは視線解析が主な用途のため、瞳孔径を計測するためには、精度や適用性についてデータ蓄積による検証が必要である。ドライバの頭部にカメラを取り付けるタイプは、小型・軽量化によるドライバへの負担の軽減が課題であり、メガネに装着できる程度の小型・軽量のもの、もしくは運転席前方に取り付けることができる非装着のアイカメラの開発を行う必要がある。

-2 ビデオカメラ

ビデオカメラにより撮影した眼球自体の映像を画像処理し、瞳孔中心を検出する。運転手への負担が少ないが、夜間やトンネルなどの低照度時の画像判定が難しい。瞬目について、データの蓄積による出力波動の分析技術の確立が必要とされる。

ストレスホルモン（唾液）

唾液からコルチゾール・クロモグラニン A (CgA) 等を検出する。特に、クロモグラニン A は精神的ストレスに特異的に反応し得ることが明らかにされている。唾液中の CgA 測定用試薬やリアルタイムの測定装置の開発が行われている⁹⁾。しかし、ドライバが業務中にストレスホルモンを計測するためには、試験紙等の簡易な計測手段が開発される必要がある。

- e) 医学生物学研究所 (MBA) は 03 年 7 月にトヨタグループの(株)豊田中央研究所からライセンスを受け、唾液中のクロモグラニン A (CgA) をマーカーに使ったストレス測定用試薬の開発に着手した。豊田中央研究所は試薬メーカーの矢内原研究所と共同で、唾液中の CgA が精神的ストレスに特異的なマーカーになり得ることを既に明らかにしている。矢内原研究所はこの CgA と特異的に結合する抗体を開発し、ブリベンション・インターナショナルが受託解析事業を行っている。だが、解析は 1 日かかりで、かつ唾液中の量が少ないと検出しにくいなどの難点があった。そこで、MBL はより高感度の抗体を新たに作製し、それをアイシン精機が開発した免疫センサーと組み合わせるなどして、唾液中 CgA をリアルタイムで測定する装置の開発を進めている。(日経バイオビジネス、2004.1)

(3) 産業界のニーズ・取り組み等

NEDO「H10 年度人間感覚データベース構築モデル事業」によると、10 人中 7 人が居眠り運転による事故を経験し、仮眠をしても、深夜運転の場合、3~4 時頃に眠気が常態的に発生するという調査結果が得られている。運転手の眠気や疲労、ストレス状態を（リアルタイムで）把握して、運行の安全や勤務計画に反映させる運行管理支援システムについては、貨物や宅急便の運輸会社や、乗客を乗せて運行する長距離バス会社や鉄道会社等にニーズが高いのではないかと考えられる。関心を示している大手運輸会社がある。

長距離トラックの深夜運転では、同乗者は仮眠しているため、（特に家族との擬似的な）おしゃべりをする事による癒しと覚醒効果が大きいことが考えられる。このための技術としては、特定のキャラクターの音声認識機能と通信機能を組み込んだカーナビが発売される予定になっている¹⁰⁾。

- f) 住宅地図大手ゼンリンのグループ会社、ゼンリンデータコムは、利用者の話す言葉を理解し、行きたい場所へ導いてくれるカーナビゲーションシステムを開発した。自然な会話をしたり、条件に合った情報を検索したりするための機能を搭載し、約 5 万の会話パターンを理解できる。キャラクターを登場させて利用者との意思疎通を図る「エージェント(代理人)」機能が特徴。車内からサーバーに接続する通信環境を改良し、2005 年に商品を予定（2003.11.8、朝日新聞（上記 d）と同じ記事）

g)いすゞ自動車は、大型トラック用運行管理システム「みまもりくん」を販売している。これは乗務員ごとの運転操作情報や燃料噴射量等の運行情報を記録・蓄積し、解析・診断を行いユーザーに報告する機能を有する。目標販売台数は年間 1000 台。

<http://www.isuzu.co.jp/cv/mimamori/>

一方、本提案とは目的を異にするが、乗用自動車では、本来緊張を強いられる運転操作に加えて、安全を向上させるための高度情報（ITS）化に伴う様々な指示や警報が、ドライバーのストレスを高めるといった報告があり、自動車の高度情報化に伴うストレス軽減が自動車業界の大きな課題となっている。このため、ドライバーのストレス等の心身状態を把握して、適切なストレス緩和のシステムを組み込み、車内を快適空間にすることは、今後の自動車の機能として高いニーズがあるものと考えられる。

3.2.2 プラント・工場等における作業支援分野「プラント等の監視者覚醒支援システム」

(1)目的

石油・化学工業等のプラントや製鉄所等の工場の中央計器室の運転監視者の疲労や眠気を検出し、座席の振動・照度変化等により、監視者の覚醒・ストレス緩和を与えることを目的とする。

(2)計測・評価技術の技術課題等

心拍ゆらぎ（脈波・心電図）

作業中のヒトから心電図を計測する方法として、作業着に加速度センサを取り付けることが考えられる。掛け布団に小型の加速度センサを取り付け、掛け布団の振動に伴って、加速度センサが振動し、心拍動が加速度の変化として検出できる報告がされている^{h)}。このことから、衣服に埋め込みができる、小型で無意識に心拍が計測できる加速度センサの開発を行うことが課題としてあげられる。心臓付近の胸ポケットに埋め込むことにより、より精度の高い値が得られる期待ができる。

h)岡田志摩（立命館大学）、水貝浩二郎・藤原義久（三洋電機）、牧川方昭（立命館大学）「日常生活における心拍動の無拘束計測」

<http://www.h3.dion.ne.jp/~scpt/okada.pdf>

眼球運動（瞳孔径、瞬目）

アイカメラ

アイカメラは頭部に装着する帽子型のものが製品化されているが、中央計器室で監視作業を行うために、非拘束・非装着で眼球運動（瞳孔径、瞬目）の計測が行なえる方法が望ましい。このためのアイカメラとして、ディスプレイ下部に検出装置を取り付けたタイプが製品化されている。非装着アイカメラの監視作業での適用性・精度等についての確認が必要である。

(3)産業界のニーズ・取り組み等

石油精製・化学工業等のプラントや工場等における設備の運転監視は、様々な計器のデータ確認と現場保守点検作業者の巡回点検と連携した、プラントの安定運転と保安の確保に緊張を強いられる業務である。深夜業務については、計画的な保守点検作業を避けることが一般的であるため、緊張が和らぐ時間帯があることがある。このため、運転監視者の覚醒をあげるようなものに対する関心がある。強い光ほど覚醒度が高まるため、夜間の高照度照射により覚醒度・作業効率が改善する¹⁾。

このような支援システムは、工場の操業管理、電気やガス会社の保安管理、航空管制等の中央監視業務に広く適用できるものと考えられる。

1)交代勤務者は夜勤の勤務時間の変化に体のリズムがついていけず、入眠や睡眠の維持が困難となるため睡眠不足となる。また、疲れが取りにくく、作業能力や注意力の低下が現れるため、大きなミスにつながりやすくなる。このため、高照度光照射による明るい光によって遅れた睡眠相を前進させる。また、強い光ほど覚醒度が高まるため、夜間の高照度照射により覚醒度・作業効率が改善する

<http://www.urban.ne.jp/home/zaidan/nemuri8.htm>

3.2.3 企業・家庭内における医療・健康分野「快適空間トイレ」

(1)目的

便器を使用する時に、便座に埋め込まれたセンサから心拍ゆらぎ（脈波・心電図）を計測し、また、尿中のストレスホルモンを自動的に計測して、使用者のストレス状態に応じて、音楽、香り、光、マイナスイオン等の癒しの総合的な制御を（使用者に無意識に）行うことを目的とする。

(2)計測・評価技術の技術課題等

心拍ゆらぎ（脈波・心電図）

便座に埋め込んだセンサ（心拍・光電式容積脈波）により、日常生活行為で自然にストレス計測を行う。女性の場合は1日数回の利用による日内変動の解析を行なうことができるが、男性の場合は利用頻度が少ないため、日間変動程度の解析しかできない。利用者個人の識別や認証についての検討が必要である。また、様々な計測環境や対象による日内変動、個人差の評価方法等の確立が必要と考えられる。

ストレスホルモン

主なストレスマーカーの開発状況として、「ストレス測定装置開発ラッシュ（2004.01、日経バイオビジネス）」に最近のレポートが掲載されている（第2章 表3 - 2 - 2 参照）。

ストレス刺激を受けてからの反応時間が短いストレスマーカーとして、カテコールアミンとアミラーゼがあり、一過性のストレス指標として使用が可能と考えられる。この内、カテコールアミンは唾液からの検出が困難である。アミラーゼについては、携帯型の計測装置の試作品が開発されている¹⁾が、ストレスとアミラーゼの関連を裏付ける研究が十分でない。

ストレス刺激に対する反応は遅いが、唾液の微量成分の検出が可能なストレスマーカーとして、コルチゾール、クロモグラニン A がある。コルチゾールは日内変動が大きいことやストレスに対する感度が低い等の難点がある。一方、クロモグラニン A は、コルチゾールより微量で精神ストレスによく反応するが、分泌量に日内変動がある、個人差がある等、正常値と異常値の判定に大きな課題がある。唾液中クロモグラニン A をリアルタイムで測定する装置の開発が行われている j)。

j) ヤマハ発動機がアミラーゼの計測装置を開発。大きめのデジタルカメラぐらいのサイズであり、レーザーとフォトダイオードを使って、下の試験紙の発色強度を測定する。サンプリングしたその場で1分で測定し、データの保存が可能。(2004.01、日経バイオビジネス)

コルチゾールやカテコールアミンを尿中から検出するためには、尿のサンプリング、試薬による反応・解析が行なえるストレス計測チップの開発等、簡易な計測・分析装置の開発を行うことが必要である。唾液中のストレスマーカー探索・同定及び迅速アッセイチップの開発が産総研ヒューマンストレスシグナル研究センターにおいて行われている。このストレス計測チップを便座や便器の一部に取り付けもしくは組み込むことにより、ストレス反応の計測を行なう。カテコールアミンの場合は、その場で検出が可能であるが、コルチゾールやクロモグラニン A の場合は、反応が遅いため、後で蓄積された結果を利用することになる。

尿のサンプリングでは、ストレスマーカーだけではなく、同時に尿糖、塩分等の健康指標も検出して、健康情報端末としての機能拡張が可能である。

住宅内の日常生活において、ストレスを意識的に計測して自己管理を行うことについては、余計な負担とデータの変動について不安感を与えることが考えられるため、データの表示は通常行わないものとし、利用者のストレス状態に応じて、無意識に環境側の癒しの機能制御を行うことが望ましいのではないかと考えられる。いずれの計測技術についても、様々な環境・対象による日内変動、日間変動、個人差等の評価方法を確立することが必要である。

(3) 産業界のニーズ・取り組み等

家庭での健康(尿糖)の自己管理の機器として、尿糖検査器が販売されている。便座の採尿部と外付けの計測部からなっている。スイッチを押すと自動採尿された尿が計測部に送られ、結果を1分後に表示するようになっている(東陶機器株)。

<http://www.toto.co.jp/press/1999/08/31.html>

円座に座って体脂肪を計測し、排尿から尿酸値を測定する「健康トワレ」のコンセプトを発表している。2002年2月に、体脂肪測定ができる「ビューティ・トワレ」を発売している(松下電器産業)。

<http://www.itmedia.co.jp/news/0107/10/pana/>

マンション等の集合住宅内に健康管理センターを設け、部屋内のトイレ等に設置したセンサから健康情報を収集して健康管理データベースに蓄積する（日立製作所）。

http://www.hitachi.co.jp/Prod/elv.jp.tosi.solution/kemko/f_tosikenko.html

INAX が音楽を流す温水洗浄便座を 2004 年 4 月から発売予定。人を検知するセンサを持ち、トイレ側面にスピーカーを備え、クラシック音楽や小川のせせらぎなどをイメージした音楽を選べる。リラックスするためにトイレで音楽を聴きたいというニーズが高いとみている（2004.2.4、日経産業新聞）

ストレスを検知して通知するだけでは、却ってストレスを助長するため、安価なセンサ（心拍、脈波、皮膚温）を用いてストレスを検知し、空気質、光、音楽等の癒しの効果を制御することに対する産業界の関心が高い。

3.2.4 住宅分野

3.2.4.1 「快眠寝室システム」

(1) 目的

入眠時の生体状態（末梢皮膚温・心拍ゆらぎ等）により、マット振動、ベッドのスポット空調（頭寒足熱）、照度変化、香気等を効果的に組み合わせた総合的な快眠が得られることを目的とする。

(2) 計測・評価技術の技術課題等

末梢皮膚温

顔の額、指先、鼻頭等の皮膚温度を接触温度計やサーミスタで計測する。

心拍ゆらぎ（脈波・心電図）

指先に装着したキャップもしくは指先をセンサに押し付けることにより計測する。

呼吸活動（鼻孔用ピックアップ、呼吸バンド）

サーミスタのピックアップを鼻孔に取り付け、呼吸数を計測する。また、胸部に呼吸バンドを巻きつけ、呼吸に伴う胸郭及び横隔膜周囲の拡張/収縮を歪センサで検出する方法がある。呼吸活動は、睡眠時無呼吸症候群（SAS）の検出にも使用できる。

睡眠時の心拍、呼吸などの生体情報を無拘束でセンシングするシート状のセンサ（快眠度センサ）が開発されている。絶縁性シートを 2 枚の電極で挟み、コンデンサを形成して、微弱な振動を電極間の容量変化に変換して検出する仕組みである。小型であり、寝心地を損なうことなく、心拍数、呼吸数、体動数を連続的に計測し、睡眠時無呼吸症候群などの情報を収集できる（三洋電機株）。

http://www.natureinterface.com/j/ni11/P88_89/

いずれも、使用者にとって負担の少ない無拘束・無意識の計測器の開発を行う必要がある。入眠を含めた大規模データベース（少なくとも 1,000 人規模）の構築、各計測技術のストレス状態

の判定等の確立を行い、個人データの蓄積（半年程度）によるパーソナルケアのシステムを確立することが重要である。

これらの計測技術を用いて、マット振動、ベッドのスポット空調（頭寒足熱）、照明の照度変化、香気等の入眠・ストレス緩和のための複合的な制御の検証を行う必要がある。

(3) 産業界のニーズ・取り組み等

睡眠障害をもつ人が国民5人に1人いるといわれている。睡眠時無呼吸症候群（SAS）患者が国内200万人、米国睡眠障害による経済損失が年間70兆円あるといわれている。

【引用】塩見利明「危険な眠気（睡眠時無呼吸症候群）」、二見書房（2003.6.25）

使用者のコリ感を検知しながらもみ具合をリアルタイムで調整するコリ検知機能付きマッサージチェアが販売されている。NEDO「人間感覚計測応用技術」で開発された、脈拍・皮膚温・発汗等の生理データからストレス度を評価（推定）する技術を用いて、指の発汗量と脈拍を測定して、マッサージ機の反応によるコリ感のある部位を判定するコリ感センサを用いている（三洋電機株式会社）。

【引用】NEDO「人間感覚計測応用技術」平成 年度報告書

三洋電機株式会社マッサージチェアカタログ

<http://www.sanyo-massage.com/hec.dr3000s.html>

心拍センサとエアストレッチ（8つのエアバッグの防縮により、筋肉にそって整体のように自然に身体を伸ばす）により、スムーズに入眠を促進する、マッサージ機能付ベッド「夢楽園」を販売している（松下電工株式会社）。生体のセンシングは、「生活リズム理解に基づく健康管理支援技術（睡眠状態のセンシング技術）」（NEDO「人間行動適合型生活環境創出システム技術」）の成果を応用している。

カプセル内に頭部から側部まで約4℃の傾斜温度分布を作り出し、交感神経の活動を抑制し、寝始めには足熱ヒーターとバイブレイタにより血行促進を図る。また空間内はマイナスイオンと森林のフィトンチットで満たす「快眠カプセル」を開発（ダイキン工業株式会社）。

【引用】2001.6.29、日刊工業新聞記事

松島潤治「ファシリティサイエンス 連載第2回 温熱（空調）の科学」

NEDO「人間感覚計測応用技術」において、コルチゾール・カテコールアミンを唾液から分析する計測器を開発し、ストレスを緩和しリラックス効果のある香り成分を含む「キオラインナーセラム」を販売している（株資生堂）。

【引用】NEDO「人間感覚計測応用技術」平成 年度報告書

樹木香気成分の高純度セドロールの鎮静効果を用いた香り「Soo（スー）」を販売している。自律神経系に作用し、副交感神経系を優位（交感神経系を抑制）にする、入眠潜時の減少、総睡眠

量の増加等、睡眠改善効果がある（株式会社花王）。

【引用】矢田幸博「香気成分セドロールの鎮静効果の解析」、Aroma Research Vol.4, No.3, 2003
<http://www.kao.co.jp/soo/>

3.2.4.2 「住宅内癒し空間」

(1) 目的

日常生活での生体情報の計測・蓄積による個人データに基づき、居室（リビングルーム等）において、音楽・香気・マイナスイオン、ペットロボットによる総合的な癒しを得ることを目的とする。

(2) 計測・評価技術の技術課題等

末梢皮膚温

顔の額、指先、鼻頭等の皮膚温度を接触温度計やサーミスタで計測する。

心拍ゆらぎ（脈波・心電図）

腕時計型等のウェアラブルな心拍計を常時装着することにより、個人レベルのデータ蓄積を行い、心拍変化（ゆらぎ）を解析する。また、指先に装着したキャップもしくは指先をセンサに押し付けることにより計測する。

いずれも、使用者にとって負担の少ない無拘束・無意識の計測器の開発を行う必要がある。このため、衣服に装着した加速度センサを用いて、体動や行動から心電図を計測する方法が考えられる。個人による違いが大きいことから、個人の人間特性のモデル化を行い、個人差の判定技術を確立する必要がある。

ストレスホルモン

唾液から、試薬もしくは試験紙のようなもので、簡易にストレスマーカーを計測できる方法を開発する必要がある。

家庭内で家族が共通したデータベースを持つことになるため、セキュリティのための個人認証の確立が必要である。

(3) 産業界のニーズ・取り組み等

住宅は本来癒し空間であることが基本であり、住宅業界では快適性の追求が永遠の課題とされている。

家族同士のコミュニケーションを深めることが、家族関係の良好さを保ち、かつ癒しにも効果が高いことは言うまでもない。

イヌやネコの実際のペットを飼いたい、集合住宅におけるペットの制約等により、癒しのあるペットロボットへの需要が高まっている。

第2回パートナー・ロボットの調査結果から、「どのような分野のパートナー・ロボットがあっ

たらしいと思うか」の質問に対し、50歳代の17%の人が「癒し」に回答を行っている。多くの企業は年齢の高い世帯向けのコミュニケーションロボットを有望とみている(2004.2.16 日経産業新聞)

現在実用化されているペットロボットには、以下のようなものがある。

- ・世界初の家庭に入ったイヌ型ロボット (SONY「AIBO」)

感じとった情報を理解し、自ら判断して行動する学習や経験を積んで個性的に成長するタイプ、音声認識機能を持ったタイプ、エンターテインメント機能をもったタイプがある。

<http://www.jp.aibo.com/>

- ・感情モデルを搭載したネコ型ロボット (オムロン株「ネコロ」)

<http://www.necoro.com/>

- ・人工知能を搭載したイヌ型ロボット (株)バンダイ「BN-1」)

- ・3~4歳児の会話能力をもったコミュニケーションロボット (ATR「ロボビー」)

また、開発中のものとして、自律移動可能な会話・見守りロボット(三菱重工業株「ワカマル」)、話し相手・見守りロボット(松下電器産業株「モーリー」)、家庭内の情報インタフェースロボット(日本電気株「PaPeRo」)等がある。

3.3 ストレス状態とストレス対策との関係

ストレスに遭遇したときの好ましくない反応あるいは状態として、以下の4つがあげられる。

危険：たとえば、運転中のストレスが高じてしまうことで事故に巻き込まれるリスクが増大する。

不快：主に過大な騒音や暑熱・寒冷、さらに臭いなどで不快となるが、場合によっては意欲低下に陥る。

(解決困難な)混乱：ストレスによって解決困難なメンタルヘルス状態へ陥ることがある。

(心身の)不調：ストレスにより心身の不調状態に陥る。特に疲労と重なることと厳しい状態となる。メンタルヘルス、過労、睡眠障害などを取り上げたい。

次にストレスに曝されることによって、人にとって好ましくない状態に追い込まれる。このストレス状態の検出法が、本研究目的のストレス計測技術にあたるが、安全対策まで研究のウイングを広げるなら、上記の4つの反応あるいは状態別に検討することが必要になる

ストレス状態の検出（主に危険、混乱） 警告系 対応系の対策

ストレス状態の検出（不調） リフレッシュ系 癒し系、休養・睡眠系の対策

ストレス状態の検出（混乱、危険） 支援系の対策

ストレス状態の検出（不快） 快適創造系の対策

以上のストレス反応・状態とストレス対策・支援との関係を表すマップを作成し、3.2 で提案したビジネスプランをこのマップに位置付けを行ったものを図3 - 3 - 1に示す。

		対策・支援		
		警告 対応系	支援系	リフレッシュ、癒し、 休養 睡眠系
ス ト レ ス 状 態	危険	運行管理支援システム		
	混乱	監視者覚醒支援システム		
	不調		快眠寝室システム	快適空間トイレ
	不快		住宅内癒し空間	

図3 - 3 - 1 ストレス状態とストレス対策・対応との関係

3.4 まとめ（ビジネスプランの実現のために）

3.2 では、日常生活における生活者や就労者のストレス状態の計測を行い、ストレス状態に応じて、安全対策や生活環境改善を図るための製品・システムへの適用について、労務管理（労働安全）、作業支援、医療・健康及び住宅の4分野におけるビジネスプランの提案を行い、各ビジネスプランに関する目的、計測・評価技術の技術課題等、産業界のニーズ・取り組み等の検討を行った。

ストレスに日常的に悩み、その解消や緩和を切望する生活者や就労者が多いにもかかわらず、ストレスの状態をきちっと把握して、重篤な状態（distress）に至る前段階において、いい状態（eustress）にもっていくための、判定方法や緩和手段のための有効な製品やシステムが普及していない。ストレスの状態には個人差があり、また同じ人でも、朝と夕方とで異なる日内変動がある、周囲の環境条件によって影響を受ける、ストレス耐性に個人差があること等が、ストレス状態の判定を行うことをいっそう複雑にしている。

また、いろいろなストレス計測技術があり、製品評価等のために、実験室レベルや臨床的に試験が行われているものの、せいぜい数十人の小規模のものであり、ストレス計測に関するデータの蓄積が少ない。また、試験結果の判定手法が確立していないため、各企業における判定がまちまちであるなど、消費者やユーザーに信頼が得られるような製品やシステムを提供できないことが、ストレスに関する製品・システムの普及のための障害となっている。産業技術総合研究所関西センターが主催している「ヒューマンストレス産業研究会」の参加企業の内、消費財のメーカーの多くは、自社の商品を評価するためのマーカーやデバイスが目的と見られている（20004.01、日経バイオビジネス）。

このため、ストレス計測技術を製品・機械システムの開発に広範囲に適用するためには、実験室レベルではない、生活場面や就労場面におけるストレス計測のデータベースの構築（少なくとも1,000人規模）を行い、このデータベースを基にしたストレス判定手法の確立、計測技術の特徴、適用対象・判定方法、データベースの製品開発のための使い方等を記載したガイダンスの作成等を行うことが必要である。ストレスに関するデータベースは国の知的基盤に位置づけられることから、3～5年の国の事業として整備することが望ましい。

この結果、メーカー等は自社のストレス関連製品や機械システムについて、このデータベースに基づき、製品のストレス緩和やストレスに対する効果のあることを検証し、表示を行なうことができる。ストレス反応にはいろいろな種類があり、その特定までできなければ対処法にはつながらない。その判定には、1つのストレスマーカーではなく、複数のマーカーを見る多次元計測による変動パターンを見て診断する方向が望ましい。つまり、ストレスマーカーには一長一短があるため、個体差をきっちり理解するためには、それぞれのストレス反応を特異的に測る指標を包括的に利用するのがいい。

また、ストレスの計測器が普及することから、計測器の市場拡大が図れる。日常生活において簡易な計測が行なえるため、個人レベルのデータ蓄積ができるようになり、個人がストレス状態の自己管理を行い、自己にあったストレス関連製品・機械システムを自己の判断で購入するようになる。

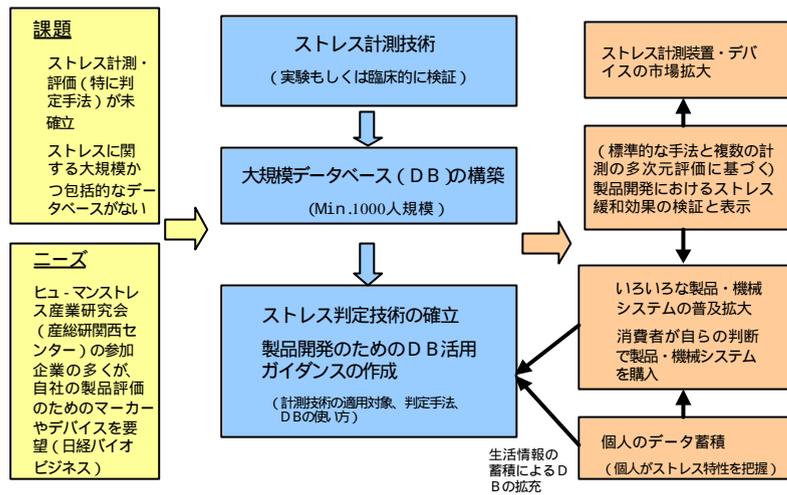


図3 - 3 - 2 ストレス計測技術に基づく安全対策・環境改善機械システム実現のためのアプローチ

第4章 安全対策システムの市場規模

4.1 産業界を中心とした社会ニーズに関する検討

ストレス計測技術の安全対策への適用可能性については、単なる産業技術に対する安全対策・環境改善のための安全対策システムに対してだけでなく、生活者のための安全・安心社会を目指した環境改善のための安心システムも視野に入れ、それらのビジネスプランの成立の可能性を検討しており、以下の分野のビジネスプランの確立を目指している。

- ・企業における労務管理（労働安全）分野
- ・プラント・工場等における作業支援分野
- ・企業・家庭内における医療・健康分野
- ・住宅分野

(1) 職場におけるストレスが深刻化する問題への対応（リスク低減？ 防止対策）

英国の HSE は、職場におけるストレスに関する以下の調査結果から、主要なメッセージを発信している（<http://www.hse.gov.uk/stress>）。

- ・約 50 万人が、作業関連ストレスにより健康を害したと思っている。
- ・英国では、500 万人が、仕事上大変な、あるいは極度のストレスを感じている。
- ・作業関連ストレスは、およそ毎年 37 億ポンド（1995 / 1996 年価格）の社会的コストとなっている。

労働環境の悪い企業とその結果生じる疾病との間には、明確な関係があるとのことである。作業関連ストレスは、企業にとって重大な問題であり、効果的に対処することは大きな利益をもたらす。企業は、ストレスを予防し、コントロールすることができる多くの手段を持っており、法は、企業が行動をおこさなければならないとしている。

また、欧州安全衛生機構「Magazine」5号

（http://agency.osha.eu.int/publications/magazine/5/en/index_6.htm）では、以下のような記事を掲載し、深刻化する職場のストレスに対して、警笛をならしている。

スペイン労働・社会省大臣は、次のように述べている。企業は非常に大きな変化に直面しており、欧州自由市場内外での競争は激しさを増している。生産性と品質を向上させる必要性、技術革新および労働組織の改革、環境問題への配慮、労働人口構成の変化（労働者の高齢化、多文化社会、女性労働者人口の増加）こうした状況に対処していくには柔軟性と適応力が必要である。こうした社会の要求に対し、労働者の多くは不安を隠しきれない。なぜなら、今まで身につけてきた知識はすぐに時代遅れになり、最新技能を修得する必要性は増す一方だからである。また、集約的な作業形態、勤務時間の長時間化、ハラスメントなど、別の要因が作用する場合もある。こうしたさまざまな要因が複雑に絡み合って人間の心身の健康を脅かし、円滑な組織運営を阻害し、多大なる影響を与えるストレスが発生することも、ごく一般的な現象になりつつある。こうして、ストレスは個人だけでなく社会の健全性と効率性を損なう。そして、職場のストレスは仕事の安全や健康という観点からも重大な問題になってきている。

欧州連合（EU）加盟国は、職業性ストレスとその原因やもたらす影響について、ごく一般的な事象として受けとめている。欧州委員会発行の「Guide to work-related stress」（1999）のデータによると、欧州の労働者 1 億 4,700 万人の半数以上がかなりの重圧を感じながら働いていると告白している。当該労働者の 3 分の 1 以上には主体的に仕事をする自由がなく、4 分の 1 以上は業務形態を決める際の発言権を与えられていない。その上、労働者の 45% は単調な作業に、50% は短時間で反復的な動作をくりかえす作業に従事している。職業性ストレスの原因が、現在罹患している病気の発症を招いたのではないかと考えられている。労働者の 13% が頭痛を、17% が筋肉痛を、30% が腰痛を、20% が疲労を、28% がストレスを訴えている。

スペイン国立労働安全衛生研究所が行った労働環境に関する第 4 回全国調査によれば、昨年 1 年間に労働者自ら医師を受診した診断件数のうち 20% が職業性傷害によるものであり、このうち 4.6% にストレス関係の症状があらわれていたことが明らかになった。心身症的な症状を呈する患者についての分析結果も掲載されており、それによると被験者の 5% にストレスの症状があらわれていたことが分かった。また、統計によると、職業ごとにストレス症状を発現する患者の割合は異なっている。行政および銀行部門では 7.6% で、社会事業部門では 7.1% の患者にストレス症状が見られた。

職業性ストレスから生じる費用は、EU 全体で年間約 200 億ユーロに達すると EU は見積もっている。そして、「ストレスも含めた職業上のメンタルヘルス問題にかかる費用は、EU の GDP の 3% に相当する」と ILO は述べている。

予防対策として、ストレスは、現在、健康や労働者の安全を脅かす主因の一つであり、労働者と関連組織双方の要求を満たす総合的な健康増進戦略が必要であり、EU 全体で取り組むべき事業で、それには以下の目標を実行に移す必要があると提案している。

- ・技術、労働組織、労働環境、社会的関係、および労働環境関連の要因がもたらす影響に対処する一貫した総合予防政策を展開すること。
- ・労働者を主体に考え、仕事そのもの（特に職場の設計や作業グループの選択、作業方法や生産方法の選択に関して）を労働者の側に適合させること。具体的には、単純作業や出来高仕事を少なくし、労働者の健康への影響を少なくすることを目標とすること。
- ・労働者の仕事に影響を与える変更や改革を計画する際には、関係者に参加の機会を与えること。そのような状況が発生した場合には、健康や安全を損ねるような問題に関し、労働者に告知し、訓練を実施し、教育を受けさせること。

国レベルの計画では、以下の目標を実現するための政策が実行されるであろう。

- ・労働の心理社会的側面を扱うために法的枠組みを整備すること。
- ・職場でのストレスを労働災害や職業病、作業関連疾患の原因の一つに含めること。
- ・職場における健康状態を監視する際に、特定のストレス指標を導入して、職場内外で生じた一時的または永続的な能力喪失状態に関する統計情報を改善・拡大すること。これにより、ストレスやストレスの主な特徴が監視できるようになる。
- ・職業性疾患の場合にかかる経済的損失を正確に見積もることができる綿密な調査を定期的に行うこと。

一方、我が国においても、2002年8月に財団法人社会経済生産性本部から発表された「産業人メンタルヘルス白書

(<http://homepage1.nifty.com/hharai/koen/mentalhelathinworkplace.pdf>)によると、最近3年間の企業における「心の病」は約半数の企業が増加傾向にあるとの回答が得られたと報告している。

この回答を規模別に見ると、3,000人以上の企業では61.5%と最も高く、1,000人から2,999人の企業では55.1%、1,000人未満では34.6%となっており、大企業ほど心の病が増えている現状が浮かび上がってくる。こうした心の病のうち最も多いのは「うつ病」で3,000人以上の規模の大企業では、心の病全体の中で8割以上を占めている。さらに、驚くことに心の病で1ヶ月以上休業している人は58.5%の会社で「存在している」との回答が得られ、3,000人以上の規模では89.7%の企業が存在する、と答えている。また同調査で、企業内で相談される心の病は、「職場の人間関係に関すること」(47.8%)と「仕事に関すること」(38.6%)の2点、つまり職場・仕事に関する内容が多いとの結果が得られた。

こうした調査報告により、日常生活が仕事を中心に規定されていることが心の病の重大な原因となっていることが分かる。厚生労働省による調査を見る限り、年間総労働時間自体は毎年着実に減少しているものの、心の負担は反比例にして増加の一途をたどっているようである。

不況下の昨今、経営者側、労働者側の双方ともがストレス、危機感を感じずに企業活動を行うのはなかなか難しい現状ではあるが、経営者側は労働者に生じる心の病を個人の問題として片付けず、過ノルマの負担やリストラへの不安等、職業生活の歪みが生む心の問題に常に目を向けておく必要がある。

(2) 労働災害として認定された交通事故に対する対策

厚生労働省が発表している平成15年労働災害発生状況

(<http://www.jta.or.jp/rodotaisaku/saigai/rosai15.html#Anchor-47857>)の事故の型別死亡災害発生状況の統計データによると、労働災害の事故の型の中で、全産業の死亡災害1525件のうち交通事故が456件と最も多く約30%を占めている。そのうちの182件が、交通運輸業と陸上貨物運送業をあわせた件数である。

このデータからわかるように、死亡に至る労働災害に関しては、交通事故のリスクが非常に高いということを示しており、死亡事故を減らすという意味からも早急な対策が求められている。

(3) 習慣的な生活環境が及ぼす心理的ストレスによる健康被害への対応

厚生労働省の平成12年保険福祉動向調査の概況

(<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/hftyosa/hftyosa00/>)によれば、日常生活において不満、悩み、苦勞など何らかの「ストレス」を抱えている人は約54%、このうちストレスによる社会生活や日常生活へ影響を来している割合は39%である。また、同調査によれば、睡眠についての問題(睡眠障害、不眠)も数多くあげられており、その理由としてストレスを原因としてあげているデータもある。

以上にあげた産業界を中心とした社会ニーズの現況から、ストレスの低減に有効な、音、光、

温度・湿度、雰囲気、実際の人間の生理的状态に合わせてコントロールできる快適環境空間の実現を可能にするストレス計測技術を適用した安全・安心対策システムの実現が望まれている。

4.2 社会経済的な波及効果

4.2.1 科学技術政策上の意義

科学技術基本計画重点 8 分野のうち「ライフサイエンス分野」において、分野別推進戦略における重点化の考え方として以下のものがあげられている。

1) 健康寿命の延伸

少子高齢化社会に直面する我が国は、老人医療費の伸びの抑制や家族介護の負担の低減を図るために、「生活習慣病」及び「痴呆」、「寝たきり」の原因となる疾病の予防・治療技術を開発することが必要。

2) 安心・安全な生活の確保

国民の生活を脅かす感染症やアレルギー疾患、日常生活でのストレスによるこころの病気や精神・神経疾患等の近年社会問題化している課題を解決することが必要。

4.2.2 産業競争力上の意義

平成 14 年 5 月に経済産業省から提出された「経済構造改革を巡る諸課題と経済産業政策」において、7 項目の政策が提示されているがその中で、新たな社会ニーズに対応した民間需要の掘り起こし策として、健康市場の創出・少子高齢化への対応、産業競争力の強化があげられている。

ストレス計測技術を高度に適用し、特定のストレス指標を導入して、職場内外で生じた一時的または永続的な能力喪失状態に関する統計情報を蓄積し改善・拡大することにより、ストレスやストレスの主な特徴が監視できるようになる。この情報を労務管理分野、作業支援分野、医療・健康分野、住宅分野に高度において高度に利用した製品を開発することによって、健康管理サービス産業を創出し、健康市場の拡大を図ることができる。また、ストレス計測技術を既存産業分野へ応用することで、経済活性化、新規雇用創出が期待できる。さらに、諸外国に先駆けていち早くストレス計測技術を適用した製品のビジネスモデルの確立に取り組むことによって、我が国と同様、職場のストレスが深刻化する先進諸国に対する本技術分野の標準化戦略上優位に立ち、健康市場分野の国際競争力を強化することにつながるものと言える。

4.2.3 経済的波及効果

1) 労務管理（労働安全）分野「長距離バス・トラックの運行管理支援システム」

国土交通省「自動車輸送統計年報（<http://toukei.mlit.go.jp/06/jidousya.html>）」によると、平成 14 年度の国内の自動車登録台数は、トレーラを含むトラックが 7,906,873 台、バスが 234,244 台である。金額ベースから国内の物流市場の規模(国内物流業の営業収入)を見ると、全日本トラック協会「平成 14 年度トラック輸送産業の現状と課題

(<http://www.jta.or.jp/chosa/hakusyo/main.html>)」によれば、平成 11 年度でおよそ 17.4 兆円と見込まれている。これに外航海運、国際航空等を合わせると、全体の物流市場規模は 20.2 兆円に達する。このうち、トラック運送事業の営業収入は 11.3 兆円であり、全体の 56%に達しており、国内の物流を支える面で非常に重要な位置を占めていると言える。

ビジネスプランとして示した「長距離バス・トラックの運行管理支援システム」は、長距離バスや長距離運送等の運転手のストレス状態を計測して、運転手の勤務計画に反映することを目的とした運行管理支援システムであるが、現状で運行管理の目的で使用されているものとしては運行記録計（タコグラフ）がある。これは、乗合バス(100km 以上の運行系統のみ)、貸切バスおよび路線トラックに昭和 39 年から装着が義務づけられているもので、運行速度、運行距離および時刻を自動的に記録するものである。従来はアナログ式であったが、平成 11 年の 3 月にデジタル式タコグラフが型式認定され、現在はデジタル式が主流になってきており、運転者の個別指導、運行計画の再検討、事故発生時の原因分析等に広く活用されてきている。平成 15 年 1 月には国土交通省自動車交通局により、デジタル式運行記録計等により把握した走行中の車両の危険状況を運行管理者にリアルタイムで通知し、運行管理者が状況に応じた指示を与えることができる「リアルタイム安全管理システム」を構築し、走行前後の点呼等による管理では防げなかった事故を未然に防止する可能性を検証するプロジェクトが開始されている（http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha03/09/090207_.html）。

デジタル式タコグラフに記録されるデータは、自動車の状態を計測したデータであり、運転者の状況については、それらのデータの変化から推察することを目的としているが、これはあくまで推察であり、実際の状況を把握することは難しいと考えられる。

今回示したビジネスプランでは、長距離運転中の運転者に発生しているストレスの状態を計測するものであるため、より直接的に運転者の状態を把握することが可能である。また、現在のデジタル式タコグラフで計測するデータと組み合わせることで分析を行うことにより、運転者に必要とされる行動を求めることができる。リアルタイムシステムを構築すれば、運転管理センターから、運転者に対して休憩の必要性など具体的な指示を出すことができるようになり、現在でも年間 182 件発生している労働災害としての交通事故を、大幅に減少させることができると期待できる。

現状のタコグラフは、自動日報機能及び走行軌跡表示機能付きの機種で、1 台あたり約 30 万円である。また、タコグラフで測定したデータを記録し、データの分析を行うシステム一式が、約 170 万円程度で市販されている。

今回示したビジネスプランの機能を、現行の機能に組み込み「ストレス計測機能付きタコグラフ」として販売することを想定する。車載するタコグラフは、ストレス計測のセンサ等も含

めて従来の機種に比べて 30 万円程度の価格追加が適当と考えられる。また、データを分析するシステムとして、従来のタコグラフのデータと、ストレス計測のデータとの相関関係を分析する等の機能を追加したシステムを考えると、販売価格は 100 万円程度の価格追加であれば市場性を確保できると考えられる。また、常に運転者の状態を監視し、必要に応じて管理センターから運転者に指示を出すことができるリアルタイムシステムを構築することを想定すると、機能により構築の費用は上下すると考えられるが、1 億円の構築費用と、年間保守費用として構築費用の 20%である 2 千万円程度が必要と想定される。

平成 13 年 3 月 31 日現在の規模別トラック運送事業者数車両数別（全日本トラック協会、平成 14 年度トラック輸送産業の現状と課題）によれば、トラックを 101 台以上所有する比較的大手の運送業者の数は、以下の通りである。

トラック台数	101～200	690 社
	210～500	163 社
	501 以上	36 社
	合計	889 社

これらの業者の 50%の業者が、ストレス計測機能付きタコグラフを管理システムと同時に導入すると考えると、上記したストレス計測機能付きタコグラフでの価格追加分を基に求めると、今回のビジネスプランに関して、以下の市場規模を想定することができる。ここでは、トラック 101～200 台の事業者の平均所有台数を 150 台、トラック 210～500 台の事業者の平均所有台数を 250 台、501 台以上事業者の平均所有台数を 1000 台として計算した。

必要とされるストレス計測機能付きタコグラフ台数：

$$(150 \text{ 台} \times 690 + 250 \text{ 台} \times 163 + 1000 \text{ 台} \times 36) \times 0.5 = 90,125 \text{ 台}$$

価格追加分による市場規模：

$$300,000 \text{ 円} \times 90,125 \text{ 台} = 27,037,500,000 \text{ 円} \quad (270 \text{ 億円})$$

また、501 台のトラックを所有する大規模事業者 36 社のうち、50%がリアルタイムシステムを構築すると考えると、そのための開発費用の市場規模は以下のように想定することができる。

リアルタイムシステム構築及び保守の市場規模：

$$(100,000,000 \text{ 円} + 20,000,000 \text{ 円}) \times 36 \times 0.5 = 2,160,000,000 \text{ (22 億円)}$$

以上の合計から、ストレス計測機能付きタコグラフにより、約 300 億円規模の新たな市場が生まれる可能性がある。

労働災害の面から今回のビジネスプランの効果を検討する。今回のビジネスプランは、運転者の実際の運転状況を、自動車の運行状況だけでなく、ストレスを計測することにより直接的に把握することができるため、運転者が危険な状況に陥る前段階を正確にキャッチしてアラームを発生することが可能であると考えられる。それにより、交通事故による労働災害を減少することに効果を発揮することができる。交通事故による労働災害の減少は、労働者の安全を確保するだけでなく、事業者にとっても、正確な輸送確保、輸送物の保証による顧客の信頼性

向上、トラックの修理・補充費用の削減、休業者の代替要員の人件費削減につながるものである。長距離輸送用のトラック購入費用は、1台あたり10,000千円～15,000千円になり、事故発生による補修費用は相当大きい。また、事故発生による輸送の遅れに関する顧客への保証、代替運転手の確保のための費用等を考えると、1回の事故発生により事業者が負担しなければならない費用は、10,000千円を超える規模になると推定される。

労働災害統計にて、「平成12年 陸上貨物運送業，港湾荷役業，林業 事故の型別・不安全な行動別死傷者数(陸上貨物運送事業)」(<http://www.jaish.gr.jp/tokei/tok1-621-3-11.html>)によると、休業4日以上死傷事故において、運転中の道路交通事故は1,484人、自動車、車両系建設機械等に乗車中の事故は、49人であり、合計して年間約1,500人の労働者が、休業4日以上災害を受けている。平成15年度の労働災害発生状況によれば、前述したとおり交通運輸業と陸上貨物運送業において182件の死亡災害が発生している。

1件あたりの事業者の負担額が10,000千円とすれば、年間1,500件以上の交通事故による労働災害による損失額は150億円にものぼり、今回のビジネスプランの実現により災害件数を低減することができれば、事業コスト的にも非常に効果は大きいと考えられる。また、同時に、ドライバーの安全を確保するために最新技術を導入しているという事実を広報することで、企業として安全に取り組む姿勢を広くアピールすることは、顧客の信頼性を確保して事業拡大につながる効果を生み出す。また、そのように安全性の高い職場を実現することで、より優秀なドライバーを確保することで、企業としてはよい方向に展開できることは間違いない。

2) 作業支援分野「プラント等の監視者覚醒支援システム」

経済産業省では、審議官クラスから構成される「産業事故対応会議」を設置し、会議の決定を受けて産業事故調査を実施している。この調査では、人的要因（ヒューマンエラー等）及び設備的要因の観点から全体的な分析を行うとともに、個別企業に対してヒアリングを実施している。ヒアリング調査については、製造業を中心に計 100 件の産業事故について調査が行われている。

調査の結果は、2003 年 12 月 16 日付けで、中間取りまとめが経済産業省ホームページ（<http://www.meti.go.jp/kohosys/press/0004791/>）で発表されている。

この中間取りまとめでは、2002 年（平成 14 年）以降に発生した産業事故について、その直接的な原因を調査している。その結果の分析としては、主として、誤操作・誤判断、マニュアルの不備等の人的要因によるものが、調査対象事故 100 件中の 76 件を占めており、最も大きな要因となっている。その他、部品の劣化等の設備的要因によるものは 18 件とされている。

ただし、これは最も直接的要因で分類した結果であり、実際には人的要因と設備的要因は複合して事故が発生していると考えられる。一つの事故に関して、全ての原因が人的である、または設備的であると、明確に分類できるものではない。誤操作、誤判断が原因として人的要因に分類された事故であっても、機械設備に十分な安全対策が行われていれば防止することができた事故も多いのではないかと考えられる。

経済産業省産業事故調査中間取りまとめの中では、産業事故に対する対策の方向として、以下の 4 点が挙げられている。

- ・ 経営トップの役割
- ・ 人的要因に対する安全対策
- ・ 設備・部品のリスク管理
- ・ 事故情報の共有

特にこの中で、「人的要因に対する安全対策」としては、以下の項目が挙げられており、IT を利用したシステムの活用、リスクアセスメントの活用が指摘されている。

人的要因に対する安全対策

㊦ 誤判断、誤操作等の防止

- ・ わかりやすいマニュアルの作成・周知徹底・見直し
- ・ IT 化、機械化等を通じた保安業務環境の整備
- ・ フェールセーフの展開強化
- ・ 非定常時を含めたリスクアセスメント活動の強化
- ・ 工場・大型プラントにおける保守点検支援システムの開発

㊦ 保安機能の伝承・教育の充実

産業支援分野のビジネスプラン「プラント等の監視者覚醒支援システム」は、監視者の生体情報に基づく業務支援（覚醒）を行うものであり、人的要因による設備管理の安全対策に非常に効果的であると考えられる。

プラント・設備等の管理支援システムとしては、「設備管理システム」、「メンテナンス管理システム」として、国内においてもいくつものシステムがリリースされている。

特に、ニッテツ大阪エンジニアリング（株）のモデル F は、1985 年以来、新日鐵の設備保全管理のノウハウと、ユーザーのニーズを反映しながら、現在まで機能を追加しながら継続して開発されてきているシステムであり、国内 350 社に 4,000 セットの導入実績がある。その導入業種は、鉄鋼、自動車・輸送機器、機械、紙・パルプ、化学・医薬品、繊維、電気機器、食品、電力・エネルギー等、製造業全般に幅広い。

このように、日本の製造業界においては、設備管理という観点からは IT を利用したシステムが、かなり普及しているが、システムで管理する対象は、工場における設備の状態、及びそれを点検、整備する項目等が中心であり、監視者の人的なファクタに関しては対象外とされている。

今回、ビジネスプランとしてあげたシステムは、プラントや設備の運転監視を行う作業者のストレス（疲労・眠気）の状況を直接計測して、データをリアルタイムで評価すると同時に覚醒を与えるものであるため、既存の設備管理システムと組み合わせて使用することが非常に有効であると考えられる。

既存の設備管理システムを導入する際の費用は、システムの規模や機能によりかなりの差がある。単体のアプリケーションとして数十万円で購入できるシステムがある反面、企業の個別要求を反映したオーダーメイドによる大規模なシステム開発になると 1 億円を超える開発費用が必要であるとも言われる。

ここでは、今回のビジネスプランとして示した監視者覚醒支援システムを、既存のシステムに追加することで追加される価値を 500 万円と想定し、市場規模を検討した。

総務省統計局の発表による「平成 13 年事業所・企業統計調査全国結果 事業所に関する集計 (<http://www.stat.go.jp/data/jigyoku/kakuhou/zenkoku/index.htm>)」によると、製造業における従業者規模別の事業所数は以下の通りである。

従業者数（人）	事業所数
100 ～ 199	9,633
200 ～ 299	2,792
300 以上	3,887
以上合計	16,312

100 人以上の従業者が所属する事業所のうち、25%において今回のビジネスプランに示すシステムが導入すると考えると、その市場規模は、以下のように推定できる。

$$5,000,000 \text{ 円} \times 16,312 \times 0.25 = 20,390,000,000 \text{ (203 億円)}$$

以上のように、監視者覚醒支援システムにより、約 200 億円規模の新たな市場が生まれる可能性がある。

3) 医療・健康分野「快適空間トイレ」

2001 年度における福祉用具市場規模推計値 (<http://www.meti.go.jp/kohosys/press/0004152/>) によれば、温水洗浄便座の市場規模は 1158 億円と推計されている。1 台の価格を約 10 万円と

すると 115 万 8 千台になる。ストレス計測のためのセンサとストレス軽減装置がセットになった装置の価格を 30 万円とし、全体の市場規模の 5%が快適空間トイレになるとすると、市場規模は以下ようになる。

$$30 \text{ 万円} \times 115 \text{ 万 } 8 \text{ 千台} \times 0.05 = 173.7 \text{ 億円}$$

4) 住宅分野

「快眠寝室システム」

2001 年度における福祉用具市場規模推計値に

(<http://www.meti.go.jp/kohosys/press/0004152/>) によれば、療養ベッドの生産台数は 336 千台となっている。快眠寝室システムが、療養ベッドの台数 10%相当の市場規模があると仮定すれば、1 セット 50 万円、温度・湿度・香りをコントロールするエアコンを 20 万円、音をコントロールする AV 機器を 15 万円とすると、快眠寝室システムの市場規模は以下ようになる。

$$(50 \text{ 万円} + 20 \text{ 万円} + 15 \text{ 万円}) \times 336 \text{ 千台} \times 0.1 = 285.6 \text{ 億円}$$

「住宅内癒し空間」

快適生活空間を実現するには、単一ビジネスモデルによる特定場所に対する対応ではなく、ストレス計測技術とストレス緩和技術を最適な場所と最適な機器の組み合わせによる融合を行うことにより、本当の意味の「住宅内癒し空間」が実現できる。そして、住宅の高付加価値化はもとより、住宅内の様々な機器の高付加価値と技術革新を促し、住宅産業及び住宅関連設備機器産業の健康ブランド化を可能にし、買い換え需要を促進し、市場規模拡大効果がある。

具体的には、トイレ空間においては、確かに癒しのための音楽や香りのニーズはあるが、トイレを使用している時間を考えると、その効果に限界があるといわざるをえない。トイレの機能を考えると、短時間ではあるが一定時間静止して一日数回必ず利用するという特徴がある。この特徴を最大限生かすには、トイレに癒し機能を装備することも必要だが、それよりも各個人の健康状態情報の収集・蓄積・統計処理・監視機能を装備した健康状態コントロールセンターにすることが考えられる。

そして、トイレのコントロールセンターから住宅内に LAN を張り巡らし、コントロールセンターの情報を利用して、ストレス緩和機能を住宅内のリビングや寝室あるいは浴室に装備し総合的な癒し空間を実現できる。リビングの癒し機能を実現するには、エアコン、照明器具、オーディオ機器が重要な役割を果たすようになる。エアコンは、従来の温度管理機能に加え、コントロールセンターからの情報により湿度、香り、マイナスイオン等の制御を実現する機能を実装したストレス緩和高付加価値商品として位置付けることができる。照明器具やオーディオ機器もエアコンと同様に光や音を個人のストレス状況に応じた制御を実現したストレス緩和高付加価値商品となる。そして、従来の家電産業界に健康増進型情報家電の製造・販売に係わる産業が創出される。

このような分野統合型のビジネスモデルにすることで、ストレス計測技術やストレス緩和技術のような固有の技術だけではなく、ネットワーク技術、個人認証技術、情報家電としての技術革新等の波及効果も望める。

2001 年度における福祉用具市場規模推計値によれば、身体的な特性や障害にかかわらず、

より多くの人々が共に利用しやすい共用品の分野が福祉と産業政策の両観点から重要性を増してきており、「住宅設備」の分野で段差解消・手すりの設置・腰掛けての出入りの容易な浴槽、車いすで利用可能な洗面台、カウンター高さを自動調整可能なシステムキッチンなど生活に安全・安心をもたらす製品が、一戸建て分野（リフォーム需要も含む）を中心に急速に普及し、前年比約 21%増加しており、その市場規模は、3205 億円になっている。現状の安全・安心を買う住宅設備に加えて、総合的な癒し空間を実現し、健康を増進する住宅設備が実現すれば、少なくとも現状の住宅設備市場の 20%の市場は見込めると推測できる。

$$3205 \text{ 億円} \times 0.2 = 641 \text{ 億円}$$

第5章 調査研究の今後の課題及び展開

ストレスは、労働者への健康への影響による労働災害の増加、作業ミス増加による労働生産性の低下など社会経済的な影響が指摘されているだけでなく、交通事故や転倒等による家庭内事故の増加等にも大きな影響を与えており、ストレスが起因となる安全性向上に対する社会的ニーズは極めて高い。

このため、(社)人間生活工学研究センター(HQL)は、慢性的ストレス社会の中で、安全・安心な社会を構築するため、ストレス計測技術の安全対策への適用可能性について、社会ニーズ、技術的課題、実現可能性、経済的・社会的な効果、市場規模等の包括的な調査を実施した。

本調査研究で実施する「ストレス計測技術」とは、生活者(労働者)の生理反応や様々な行動によるストレス状態を計測することをいい、「安全対策システム」とは、ストレス状態に応じて警報を発したり、労務管理支援、ストレス緩和や覚醒度向上を図る照明・温度等の環境因子を制御する製品・機械システムをいう。このストレス計測技術を利用した安全対策システムが普及することにより、急速なストレス社会に対する安心・安全な社会を創り出すとともに、労務管理、作業支援、医療・健康、住宅の各分野において新たな産業の市場形成が期待できる。

調査結果の要点は以下のとおりである。

(1) ストレス計測技術を活用した安全対策・生活支援への社会ニーズ

- ・インターネットに公開されている生活者に対するアンケート調査結果から、6～8割の人がストレスを感じて生活し、約4割の人が心身に不調を訴えている。
- ・ストレスを広義に捉えた時、ストレスにより家庭内事故・交通事故・労働災害の発生リスクが高くなると考えられる。
- ・「ストレス」をいらいら、あせり、不安、怒りっぽい、緊張、不眠、疲労、胃腸の不調等の心身の異常という広い範囲で捉え、ストレス状態を日常生活や就労状態で簡易に計測して、(個人レベルの)状態を把握することが重要であると考えられる。

(2) ストレス計測技術の技術課題等

- ・ストレス反応の簡易な計測に用いることができる生体情報としては、生理指標の計測技術(生体情報)、主観・認知系反応の計測技術(問診)、行動反応系の計測技術が考えられる。
- ・生理指標は、無侵襲かつ経時的に生体の反応を測定できるので、ストレス反応の定量的、客観的評価のための指標として有効な方法であるが、計測における利便性と無侵襲、無拘束性の追求、評価における生理指標の個人差の取り扱いなどまだ多くの問題が残っている。
- ・作業中や動作中などの動的状況下において無拘束かつ簡易で適切な指標の計測が求められているが、各計測指標には特性があるため、複数の計測指標から、多くの生体情報を引き出すことが要求される。

(3) ストレス計測に基づく安全対策・生活支援システム

日常生活における生活者や就労者のストレス状態の計測を行い、ストレス状態に応じて、安全対策や生活環境改善を図るための製品・システムへの適用について、労務管理(労働安全)、作業

支援、医療・健康及び住宅の4分野における以下のビジネスプランの提案を行い、各ビジネスプランに関する目的、計測・評価技術の技術課題等、産業界のニーズ等の検討を行った。

企業における労務管理（労働安全）分野：長距離バス・トラックの運行管理システム

プラント・工場等における作業支援分野：プラント等の監視者覚醒支援システム

企業・家庭内における医療・健康分野：快適空間トイレ

住宅分野：快眠寝室システム、住宅内癒し空間

(4)安全対策・生活支援システムの社会・経済効果及び市場規模

- ・(3)のビジネスプラン提案について、経済的效果・市場規模についてシミュレーションを行い、年間1600億円程度の市場形成ができ、健康管理サービス産業の創出、安全・設備業界等の既存産業の活性化に大きく寄与することが分かった。また、健康な生活を享受できることから、産業事故・交通事故の削減、家庭内の安全向上等、社会面での効果も期待できる。
- ・安全な労働環境及び快適生活空間をさらに高度にするためには、単一ビジネスプランによる対応ではなく、ストレス計測技術とストレス緩和技術を最適な場所と最適な機器の組み合わせによる融合を行うことにより、最大限の効果を発揮することができる。

産業界を中心としたニーズの現況から、個人の生理状態に合わせてコントロールできる労働環境や快適環境の実現を可能とする安全・安心対策システムの実現が望まれている。

このため、実験室レベルではない、生活場面や就労場面におけるストレス計測のデータベースの構築（少なくとも1,000人規模）を行い、このデータベースを基にしたストレス判定手法の確立、計測技術の特徴、適用対象・判定方法、データベースの製品開発のための使い方等を記載したガイダンスの作成等を行なうことが必要である。ストレスに関するデータベースは国の知的基盤に位置づけられることから、3～5年の国の事業として整備することが望ましい。

ストレス計測技術を、労務管理、作業支援、医療・健康、住宅分野等の製品開発に高度に利用することにより、労働安全の向上に大きく寄与するとともに、健康管理サービス産業を創出し、既存産業分野へ応用することで、経済活性化、新規雇用創出が期待できる。

ストレス計測技術のさらなる普及展開を図るためには、ストレスセンサがあらゆる家電製品に組み込まれ、利用者がセンシングされていることを意識せずに、自律的に情報を収集・管理し、住宅やオフィスにおいて、人の好みや健康状態に合わせた空調・照明等の環境制御が行われるようになることが望ましい。このためには、ユビキタス・センサネットワーク技術等との連携を行うことが必要と考えられる。

本調査研究の結果（要旨）は、（社）人間生活工学研究センターのインターネットホームページに公開を行う他、独立行政法人産業技術総合研究所関西センターが主催する「ストレス産業研究会」とも連携をとり、ストレス計測技術自体、ストレス計測技術を適用した生活支援や安全対策のための製品・システムの実用化に向けた活動を強化する。また、調査結果の内容については、関連業界の研究会・シンポジウム、関連する学会等に積極的に報告を行うことを検討している。

おわりに

ストレスは、労働者への健康への影響による労働災害の増加、作業ミスの増加による労働生産性の低下など社会経済的な影響が指摘されているだけでなく、交通事故や転倒等による家庭内事故の増加等にも大きな影響を与えており、ストレス計測技術に基づく安全対策・生活支援に対するニーズが極めて高いことが分かった。

ストレスに日常的に悩み、その解消や緩和を切望する生活者や就労者が多いにもかかわらず、ストレスの状態をきちっと把握して、重篤な状態（distress）に至る前段階において、いい状態（eustress）にもっていくための、判定方法や緩和するための有効な製品やシステムが普及していない。ストレスの状態には個人差があり、また同じ人でも、朝と夕方とで異なる日内変動がある、周囲の環境条件によって影響を受ける、ストレス耐性に個人差があること等が、ストレス状態の判定を行なうことをいっそう複雑にしている。

また、いろいろなストレス計測技術があり、製品評価等のために、実験室レベルや臨床的に試験が行われているものの、せいぜい数十人の小規模のものであり、ストレス計測に関するデータの蓄積が少ない。また、試験結果の解釈や理解を支援する仕組みがなく、開発したもののレベルが分からないこと等から、消費者やユーザーに信頼が得られるような製品やシステムを提供できていないことが分かった。

実験室で統制された状態で取得したストレスデータは、生活状態のストレスとは全く異なるという指摘がある。このため、ストレス状態を生活レベルで改善を行なうためには、日常生活でのストレスデータを取得する必要がある。実際のロード状態での1000人規模のデータベースを構築して利用することが考えられる。このデータベースを基にしたストレス判定手法の確立、計測技術の特徴、適用対象・判定方法、データベースの製品開発のための使い方等を記載したガイドの作成等を行なうことが必要である。

ストレス計測技術を安全対策・生活支援に活用する、労働管理、作業支援、医療・健康、住宅の各分野におけるビジネスプラン提案に関して、産業界から早期実現を期待する声が高い。これらのビジネスプランを検討する過程の企業ヒアリング等において、単なるストレス計測と表示の組み合わせではなく、無意識にストレス緩和や安全が確保されるようなシステムへの期待が高いことが浮き彫りになった。このためには、個人のストレス特性を把握する必要があり、個人の生理状態に合わせてコントロールできる労働環境や快適環境の実現を可能とする安全・安心対策システムの実現が望まれている。企業は従業員の収集したデータを解析することにより、「健康年齢」のような指標を引き出し、ランクを公表することにより、企業イメージの向上を図ることができる。

ビジネスプラン提案は、合計1600億円程度の市場規模になることが、市場予測シミュレーションで明らかになった。ビジネスプランを具体化することにより、健康管理サービス産業が創出され、計測器・安全設備等の既存産業の活性化につながる。健康管理サービス産業は既に、米国等において事業として確立しつつあり、我が国においても利益を出す事業者が出るようになった。

将来的には、ストレスセンサをチップ化して家電製品に組み込むことにより、利用者がセンシ

ングされていることを意識せずに、機械システム側が自律的に生体情報を収集・管理し、住宅やオフィスにおいて、人の好みや健康状態に合わせた空調・照明等の環境制御を行うユビキタス・センサネットワーク技術等との連携により普及に弾みがつくのではないかと考えられる。人工知能によるストレス状態の予測ができるようになればいい。

ストレスによる労働災害の削減については、わが国よりむしろ欧米における関心が高いため、日本における技術の先進性と知的財産の確保、国際標準化提案、諸外国に先駆けたストレス計測技術を適用した健康・安全市場の国際競争力の強化を確実なものとするためにも、早急かつ戦略的な研究開発が必要である。

- 禁無断転載 -

15 - R - 19

システム技術開発調査研究
ストレス計測技術の安全対策への適用可能性に関する調査研究報告書
- 要旨 -

発行 平成16年3月

発行者 財団法人 機械システム振興協会
〒108-0073 東京都港区三田一丁目4番28号
電話 03 - 3454 - 1311

社団法人 人間生活工学研究センター
〒541-0047 大阪市中央区淡路町三丁目3番7号
電話 06 - 6221 - 1660

本報告書の内容を公表する際は、あらかじめ上記にご連絡下さい。