

〈一般研究課題〉 データ駆動型ヘルスケアを実現する  
次世代スマートホームシステムの開発  
助成研究者 名城大学 鈴木 秀和



## データ駆動型ヘルスケアを実現する 次世代スマートホームシステムの開発

鈴木 秀和  
(名城大学)

### Development of Next-Generation Smart Home System for Data-Driven Healthcare

Hidekazu Suzuki  
(Meijo University)

#### Abstract :

Deterioration of health due to increased stress and accumulated mental anxiety has become a social problem. Many current healthcare services can observe and visualize the user's bio-information and behavioral status using IoT and wearable devices and provide recommendations for exercise and other activities via smartphones. However, unless users carry out the recommendations, they cannot improve or prevent stress. This paper proposes a next-generation data-driven healthcare system that improves and prevents stress by estimating stress levels based on various data such as the space environment and the user's biometric information, and automatically controlling IoT devices and home equipment based on the results to make the space environment comfortable.

#### 1. はじめに

仕事や職業生活に関して日常的にストレスを抱える人が増加しており、厚生労働省が実施している労働安全衛生調査によると、メンタルヘルス対策に取り組んでいる事業所の割合は平成24年以降、上昇傾向にある。また、令和2年には過去最高の61.4%に達し[1]、社会全体として健康意識の増加が窺える。一方で、厚生労働省が実施している平成29年の患者調査によると、“気分障害(躁うつ病を含む)や神経症性障害、ストレス関連障害及び信頼表現性障害などを含んだ精神及び行動

の障害”に分類される患者の数は、平成29年に約207万人であり、平成8年以降増加傾向にある。

また、令和元年に世界的に蔓延した新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の影響に伴い、テレワークが推進されている。国土交通省が実施しているテレワーク人口実態調査の令和2年度版によると、我が国の全就業者におけるテレワーカーの割合として、令和2年度には22.5%であり、平成28年度から7%以上の増加が確認されたと報告している[2]。そのため、住宅における生活時間が増加し、宅内環境におけるストレスの増大が危惧されている。そして、宅内ストレスは精神疾患との因果関係も仄めかされており、宅内におけるメンタルヘルスカ対策が重要視されている。

このような需要に対して、ヘルスカ領域におけるDX(Digital Transformation)が急速な発展を示している。とりわけ、IoT(Internet of Things)機器やウェアラブルデバイスを活用してユーザのストレス推定や改善を行う技術やヘルスカサービスが注目を浴びている。しかし、「元気が出ない」、「やる気が出ない」などのユーザの気分状態や、家事や仕事に追われて忙しい状態の時に、アプリやシステムからストレス改善行動がレコメンドされても、実際に行動しない可能性がある。結果として、ストレスの改善や予防に繋がっていない。

本論文では、住宅や職場などの室内環境における温度や湿度、香りなどの環境変化がユーザのストレスに与える影響に着目し、空間の環境およびユーザの生体情報からストレスレベルを推定し、その結果に基づいてIoT機器や住宅設備を自動制御して空間環境を快適化することにより、ユーザのストレスの改善や予防が図られるデータ駆動型ヘルスカを実現する次世代スマートホームシステムについて提案する。

## 2. 提案システム

### 2.1 概要

データ駆動型ヘルスカを実現する次世代スマートホームシステムは、情報収集パート、機器連携パート、状態改善パートから構成される。図1に提案システムの概要を示す。室内に設置した環境センサを利用し、温度や湿度、気圧、照度などの環境情報を収集し、クラウドへ蓄積する。また、ユーザはウェアラブルデバイスを装着して心拍数などの生体情報を計測し、クラウドへ蓄積する。クラウドでは収集した環境情報および生体情報から、室内の快適度やユーザのストレスレベルを推定する。ここで、高いストレス状態や室内が快適でないと判定された場合、宅内に設置されたiHAC Hub[3]へスマート家電やIoT機器などを複合的に制御する命令を送信し、これらのデバイスが稼働する。これにより、室内環境が改善され、

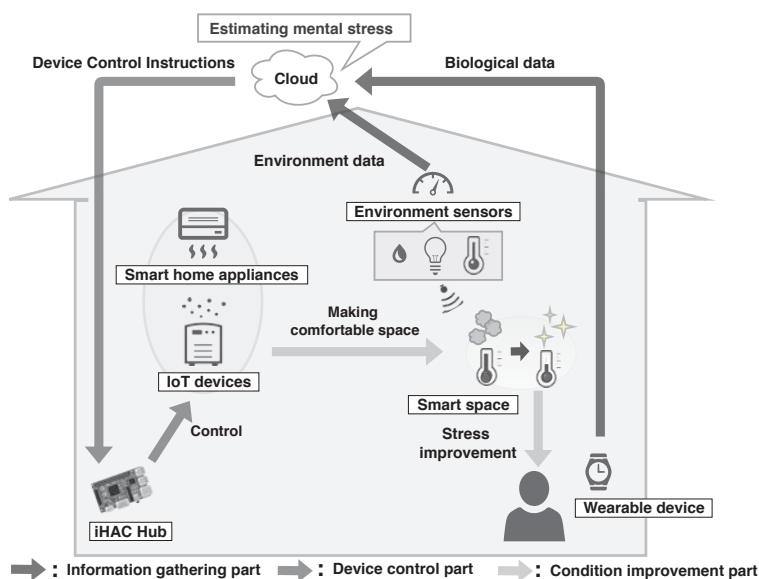


図1. システム概要

直接的あるいは間接的に室内にいるユーザに影響を及ぼすことにより、ユーザのストレスレベルを低下させる。

以上のように、ウェアラブルデバイスやIoT機器によるセンシング、iHAC HubによるIoT機器や住宅設備等の制御、住環境の快適化の三要素が有機的に連動することにより、心身状態に依存しない長期的なストレス改善および悪化防止が達成される。

## 2.2 環境情報と生体情報の収集

図2に収集した環境情報と生体情報を統合管理する方法を示す。環境センサはセンシングした環境情報をクラウドにアップロードしたり、スマートフォンやPCから直接取得したり、製品によってデータの送信先が異なる。今回は環境センサから直接データを取得できる場合を想定し、スマートフォン用に開発した情報統合管理システムアプリで収集し、クラウド上に構築した情報統合管理システムサーバへ転送する。一方、ウェアラブルデバイスは収集した生体情報をデバイスメーカーが運用するクラウド(図2におけるウェアラブルデバイス管理サーバ)へアップロードする利用方法が一般的である。そのため、情報統合管理システムサーバは、ウェアラブルデバイス管理サーバから生体情報を取得し、環境情報とあわせてデータベースで管理する。なお、スマートフォンのアプリでは、収集した環境情報と生体情報を可視化する機能を有している。

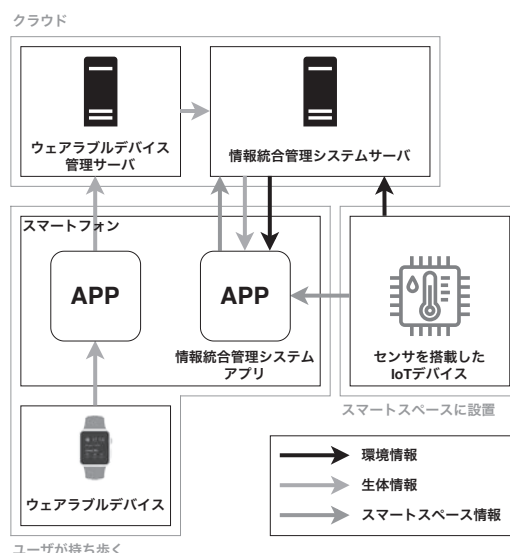


図2. 環境情報と生体情報の統合管理方法

## 2.2 iHAC HubによるIoT機器およびスマート家電の制御

筆者は異なる通信規格で制御可能なIoTデバイスやスマート家電を直感的に制御可能なiHACシステムを開発してきた[3]。iHAC Hubは湿度や温度などの環境情報や、スマート家電の機器状態に基づいて、IoTデバイス等を自動制御することが可能な宅内設置デバイスである。従来のiHAC Hubは、レシピと呼ぶ機器制御のルールを設定して、条件を満たした場合に予め定められた命令を宅内の機器に送信していた。本研究では、iHAC Hubの仕様を拡張して、クラウドからの命令に従ってECHONET Lite[4]対応スマート家電や、Wi-Fi接続可能なIoTデバイスを制御する機能を新たに開発した。これにより、住居に設置されたエアコン、加除湿機能付き空気清浄機、サーキュレータ、アロマディフューザ等、様々な機器を制御でき、室内の温度、湿度および香りを変化させて住環境を快適化させることができる。

## 3. 空間の快適化によるストレス軽減効果の検証

### 3.1 実験概要

提案システムにより、ユーザのストレスレベルが改善されるかを検証するために、不快な室内環境下において、IoT機器制御により快適な環境へと変化した際の心拍変動を計測し、その際のス

トレス変動を観測した。また、温熱感覚や不快度等の主観的なアンケートと、客観的な評価として自律神経系活動の定量化によるストレス評価を行った。自律神経を定量化するバイタルサインの中でも、心拍変動[5]および唾液アミラーゼ[6]を利用してストレス推定を行った。

なお、不快環境には、日常生活の中でも最も身近に感じられる寒温に対するストレスに焦点を当て、不快な温熱環境として高温多湿な環境を用意した。なお、環境センサやIoT機器、スマート家電などを設置したスマートスペースの快適な温熱環境における温湿度の閾値は、快適性を示す温熱指標であるPMV (Predicted Mean Vote) とPPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) に基づいて調整した[7]。

### 3.2 実験方法

ワンルームを模した学内実験室に、備付のエアコンのほか、環境センサ、サーキュレータ、アロマディフューザ、加除湿機能付き空気清浄機およびiHAC Hubを設置した。実験協力者には生体情報を計測するために、リング型およびリストバンド型のウェアラブルデバイスを装着させた。実験協力者は21～25歳の健康な大学生23名で、図3に示すように、実験室において75分間滞在し、アンケートの実施や動画の視聴、唾液の採取を行った。実験は表1に示すように6日間にわたって実験を行い、1日目と2日目はIoTデバイスおよびスマート家電を稼働させず、室内環境を常時快適な状態と常時不快な状態を維持したまま実験を実施した場合、3日目以降はそれぞれの制御対象機器の組み合わせを変えながら稼働させ、不快な状態から快適な状態へ室内環境を改善しながら実験を実施した場合において、実験協力者のストレスレベルの変化を観察した。

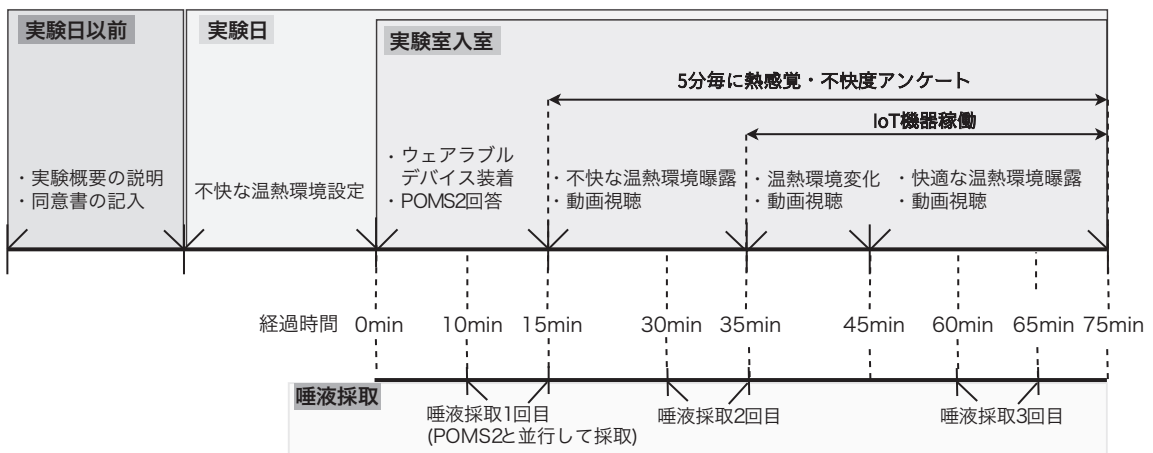


図3. 実験手順

表1. 評価項目

実験日	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Day 5	Day 6
室内状態	常時快適	常時不快	不快状態から快適状態へ変化			
稼働させるIoTデバイス	なし	なし	エアコン	エアコン サーキュレータ	エアコン アロマディフューザ	エアコン サーキュレータ アロマディフューザ
実験協力者	実験協力者1	実験協力者5	実験協力者9	実験協力者13	実験協力者17	実験協力者21
	実験協力者2	実験協力者6	実験協力者10	実験協力者14	実験協力者18	実験協力者22
	実験協力者3	実験協力者7	実験協力者11	実験協力者15	実験協力者19	実験協力者23
		実験協力者8	実験協力者12	実験協力者16	実験協力者20	実験協力者24

表2. 評価項目と各指標が反映する内容

	評価項目	反映する内容
生理指標	心拍変動 (HF)	副交感神経活動
	心拍変動 (LF/HF)	交感神経活動
	ローレンツプロット面積	副交感神経活動
	唾液アミラーゼ	交感神経活動
心理指標	臭気強度	においの強さ
	気分プロフィール検査 (POMS2全項目版)	気分状態
	温熱感覚アンケート	温熱感
	不快度アンケート	不快感

表3. 臭気強度の6段階尺度

臭気強度	内容
0	無臭
1	やっと感知できるにおい (検知閾値濃度)
2	何のにおいかかわかる弱いにおい (認知閾値濃度)
3	楽に感知できるにおい
4	強いにおい
5	強烈なにおい

表2に実験協力者のストレスレベルを評価する生理指標および心理指標と、それぞれの指標が反映する内容を示す。生理指標では、各ウェアラブルデバイスから取得したRRI (R-R Interval) 時系列データを周波数解析することで得られる自律神経指標であるHF (High Frequency), LF (Low Frequency)/HF, ローレンツプロット (LP: Lorenz Plot) の面積を算出して評価する[8, 9]。また、専用のチップを使用して取得した唾液アミラーゼからも、実験協力者のストレスレベルを評価する。

心理指標では、気分プロフィール検査 (POMS2全項目版) [10], 温熱感覚アンケート, 不快度アンケート, 臭気強度の回答結果を評価する。臭気強度は環境省から発行されている臭気指数規制ガイドラインで示されている6段階臭気強度表示法[11]を利用し、アロマの香りに対する主観的な評価を行う。温熱感覚アンケートには、寒い(-3), 涼しい(-2), やや涼しい(-1), 普通(0), やや暖かい(1), 暖かい(2), 暑い(3)のASHRAE7段階温冷感申告尺度を使用した。不快度アンケートには、非常に不快(-3), 不快(-2), やや不快(-1), 快適(0)の4段階項目によって評価する。

なお、今回の実験では実験室のネットワークの制約によりクラウドからiHAC Hubへ機器制御命令を送信することができなかつたため、表1に記載の各機器は実験管理者が手動で制御した。また、アロマオイルには、交感神経を低下させ、リラックス効果がもたらされるラベンダーの香り[12]の精油を使用し、空気の圧力でアロマオイルの原液をミスト状にして空間に噴霧させた。

### 3.3 実験結果

#### 3.3.1 温熱指標

図4に実験日毎の温度および湿度の時間変化を示す。横軸は経過時間を示しており、実験協力者が実験室に入室後、15分後に動画を視聴し始めた時点を0分としている。また、図5に実験室のPMV・PPDの時間変化を示す。縦軸のPMVおよびPPDは5分毎に算出したPMVとPPDの平均を示している。実験1日目はPMV, PPDの値が共にISOの推奨値内であったため、常時快適な温熱空間であったと言える。また、2日目はPPDが60~80の範囲であり、6割の人が不快に感じる環境であったことから、常時不快な温熱環境であったと言える。3~6日目はスマート家電などを稼働させる前の不快な温熱環境暴露時間帯でPMV, PPDが他の時間帯と比較して共に高い値であり、スマート家電などを稼働させ始めてからの温熱環境変化時間帯にて減少し、その後の快適な温熱環境暴露時間帯においてISOの推奨値内に変化した。

以上の結果より、エアコンを稼働させることにより室内の温熱環境が改善され、サーキュレータを組み合わせると改善効果がより高まることが確認できた。また、図4の5日目と6日目を比較すると、PMVおよびPPDは湿度よりも温度の影響を大きく受けていることがわかった。

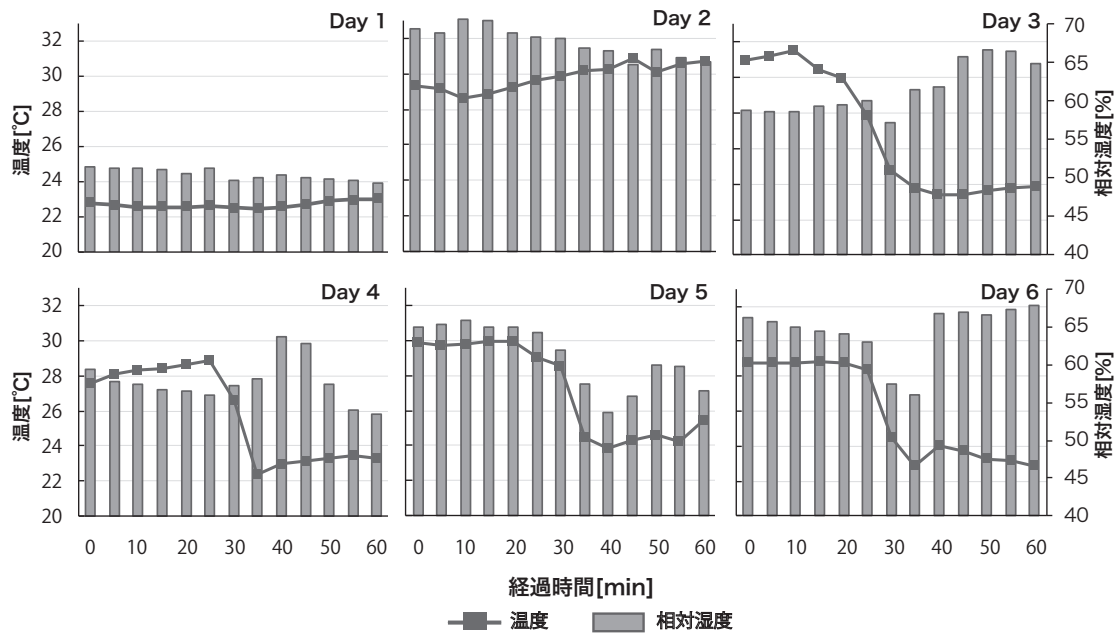


図4. 実験日別の温度と相対湿度の変化

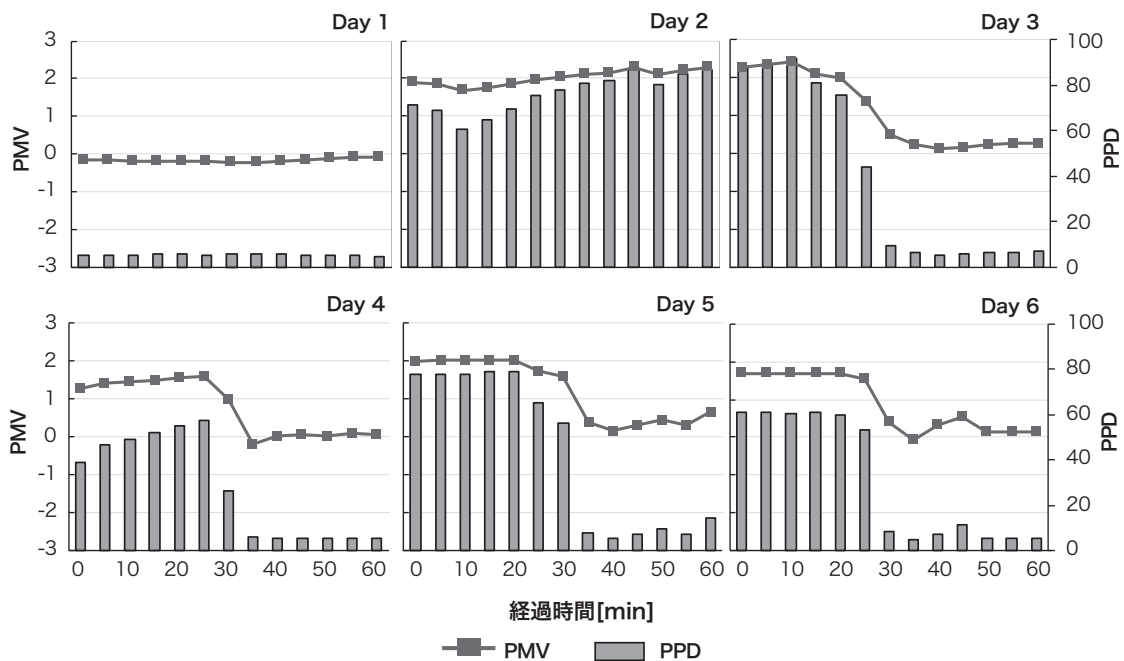


図5. 実験日別のPMVとPPDの変化

### 3.3.2 主観アンケート

図6、図7および図8に実験協力者毎の温熱間隔アンケート、不快度アンケート、臭気強度アンケートの結果をそれぞれ示す。これらのアンケート結果を図4および図5からわかる温熱環境状態を比較すると、次のことが読み取れた。

実験日	Day 1			Day 2				Day 3				Day 4				Day 5				Day 6				
	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
経過時間	0分	-3	0	0	3	2	2	3	2	3	3	2	1	2	3	2	3	2	2	2	2	3	3	2
	5分	-1	0	0	2	1	2	1	2	3	3	1	0	2	3	2	2	2	2	1	1	3	3	2
	10分	-1	-1	0	2	1	2	0	2	3	3	1	0	1	3	2	2	2	1	1	3	3	3	2
	15分	-1	-1	0	2	1	2	0	1	2	3	1	0	1	3	2	1	2	1	1	2	2	3	2
	20分	-1	-1	0	2	1	2	0	1	2	3	1	0	1	2	2	1	1	0	0	2	1	3	2
	25分	0	-1	0	2	1	2	0	-1	2	1	0	0	1	2	2	1	2	0	2	-1	0	2	0
	30分	-1	-1	0	1	1	2	0	-2	1	0	-2	-1	0	0	-2	0	-2	-2	1	-1	-2	-3	0
	35分	-2	-1	0	2	1	2	0	0	0	0	0	-1	-1	0	-3	-2	-1	-1	-2	-2	-1	-3	0
	40分	-1	-1	0	2	1	2	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-3	-1	-2	0	-1	-2	0
	45分	-1	0	0	1	1	2	0	0	-1	0	0	-1	0	-1	0	0	-2	-2	0	0	-1	-1	-1
	50分	-1	0	0	1	1	3	0	0	-1	-1	0	0	-1	-1	-1	0	-2	-1	0	-2	-2	-2	0
	55分	0	0	0	1	1	3	0	0	0	-1	0	0	-1	-1	-2	0	-1	-3	0	-1	-2	-2	0
60分	-1	0	-1	1	1	2	0	0	0	-1	0	0	-1	-1	-2	0	-1	-1	0	0	-1	-1	0	

3 暑い      2 暖かい      1 やや暖かい      0 普通      -1 やや涼しい      -2 涼しい      -3 寒い

図6. 実験協力者の温熱感覚アンケート結果

実験日	Day 1			Day 2				Day 3				Day 4				Day 5				Day 6				
	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
経過時間	0分	-1	0	0	-3	-1	-1	-2	-1	-2	-2	-1	0	-1	-3	0	-2	0	-1	-1	-2	-2	-1	-1
	5分	0	0	0	-2	-1	-1	-1	-1	-2	-1	-1	0	0	-2	0	-1	-1	-1	-1	-2	-3	-1	-1
	10分	-1	0	0	-2	-1	-1	0	-1	-2	-1	0	0	0	-2	0	-1	-1	0	0	-2	-1	-1	-1
	15分	0	0	0	-2	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	0	-2	0	-1	-1	0	0	-2	-1	-1	-1
	20分	0	0	0	-2	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	0	-2	0	-1	-1	0	0	-2	-1	-1	-1
	25分	0	0	0	-2	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0	0	-2	0	0	-1	0	-1	0	0	-1	0
	30分	0	0	0	-2	-1	-1	0	0	-1	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0	0	-1	-2	0
	35分	0	0	0	-2	-1	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1	0	-1	-1	0	-1	0	-2	0
	40分	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	0	-1	0	-1	0
	45分	0	0	0	-1	-1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	0	-1	-1	0	0
	50分	0	0	0	-1	-1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	-1	0	-1	0
	55分	0	0	0	-1	-1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	-1	0	0	0
60分	0	0	0	-1	-1	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	

0 快適      -1 やや不快      -2 不快      -3 非常に不快

図7. 実験協力者の不快感アンケート結果

実験日	Day 5				Day 6				
	17	18	19	20	21	22	23	24	
経過時間	25分	0	0	0	2	3	5	1	0
	30分	3	3	1	3	1	3	1	2
	35分	2	2	3	3	0	3	1	3
	40分	2	3	4	2	2	3	0	3
	45分	2	4	4	1	1	4	0	3
	50分	2	4	1	1	0	2	0	3
	55分	3	4	1	1	1	3	0	3
60分	3	3	1	1	0	3	0	3	

0 無臭  
 1 やっと感知できるにおい  
 2 何のにおいかわかる弱いにおい  
 3 楽に感知できるにおい  
 4 強いにおい  
 5 強烈なにおい

図8. 実験協力者の臭気強度アンケート結果

- ① 温熱感覚と不快感は個人差があるが、室内の温熱環境状態を改善することにより、実験協力者の不快感を和らげる効果がある。
- ② 室内の温熱環境状態が暑くも寒くもない状態の時、9割以上の実験協力者が快適であると感じている。
- ③ 室内の温熱環境状態が快適な状況であっても、アロマの香りの影響で不快感を示す実験協力者が一部いる。

### 3.3.3 唾液アミラーゼ

図9に唾液採取(2回目と3回目)における唾液アミラーゼの結果を示す。1日目はどの実験協力者も唾液アミラーゼの変化がバラバラであり、2日目は実験協力者5, 6, 8で唾液アミラーゼ値が減少したが、実験協力者7は増加した。従って、室内の温熱環境を変化させなかった場合、快適な温熱環境および不快な温熱環境の両方でストレスの変化に違いが生じることを確認した。

次に、3～6日目の結果を見ると、エアコンのみを制御した4日目はどの実験協力者も唾液アミラーゼ値が減少していた。従って、室内の温熱環境を不快な温熱環境から快適な温熱環境へと変化させることにより、ストレスを減少させることができていると思われる。

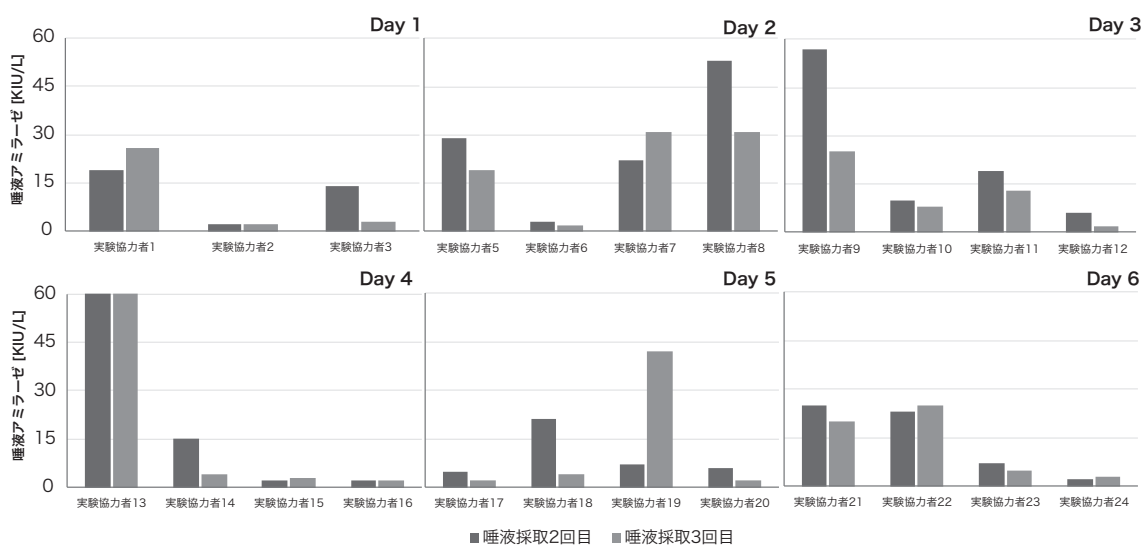


図9. 唾液アミラーゼ結果

### 3.3.4 LF/HF・HF・LP面積

LF/HF, HF, LP面積の3つのストレス指標のうち、最も有用な指標に関する考察を行う。不快・快適の両温熱環境時間にて算出した各指標に対して、Wilcoxonの符号付順位和検定を用いて統計解析を行った。なお、有意傾向を $p < 0.1$ 、有意水準を $p < 0.05$ および $p < 0.01$ とした。図10, 図11, 図12に実験日毎の各実験協力者におけるHF, LF/HF, LP面積の統計解析結果を示す。これらのストレス指標によるストレス増減判定結果と、唾液アミラーゼによるストレス増減判定結果との一致率を算出した。なお、偶然性の傾向を反映しないため、NSを含めない一致率を算出した結果、LF/HP, HF, LP面積の一致率は、それぞれ37.5%, 43.8%, 75.0%であった。従って、ウェアラブルデバイスをを用いたストレス指標として、LP面積が最も有効であることが示された。

## 4. まとめ

本研究では、ユーザのストレスの改善や予防が図られるデータ駆動型ヘルスケアを実現する次世代スマートホームシステムについて提案した。ウェアラブルデバイスで取得した心拍変動から推定したストレス推定の結果に基づいて、スマート家電およびIoTデバイスを制御して空間を快適化することにより、ストレスの改善が期待できる基礎的な知見が得られた。今後は温湿度だけでなく、空気質や二酸化炭素濃度など、ストレスに影響を及ぼす他の環境要因の改善がストレス緩和に与える影響などを調査し、スマートホームとヘルスケアを組み合わせたサービスの実現を目指す。



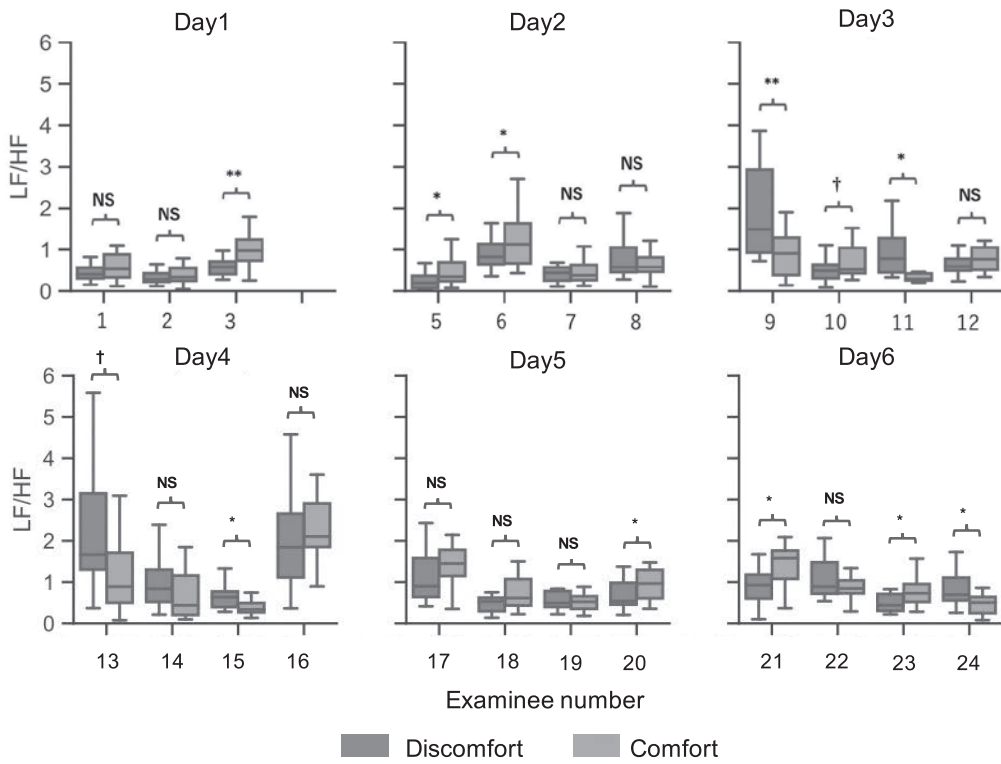


図10. LF/HFの統計解析結果

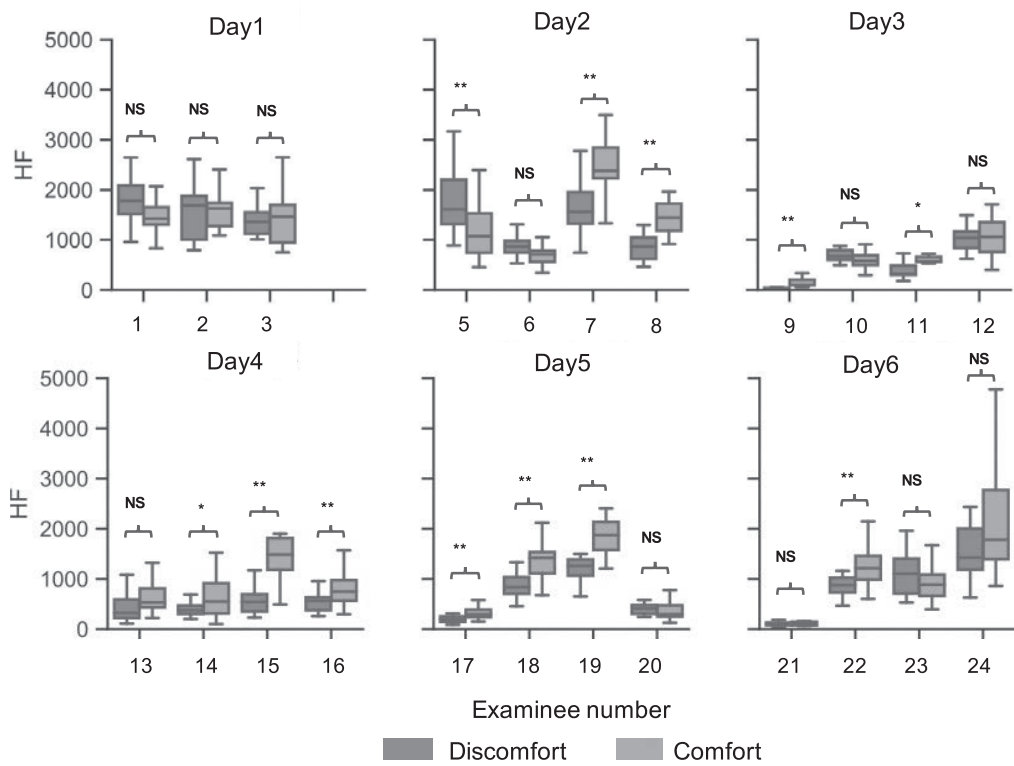


図11. HFの統計解析結果

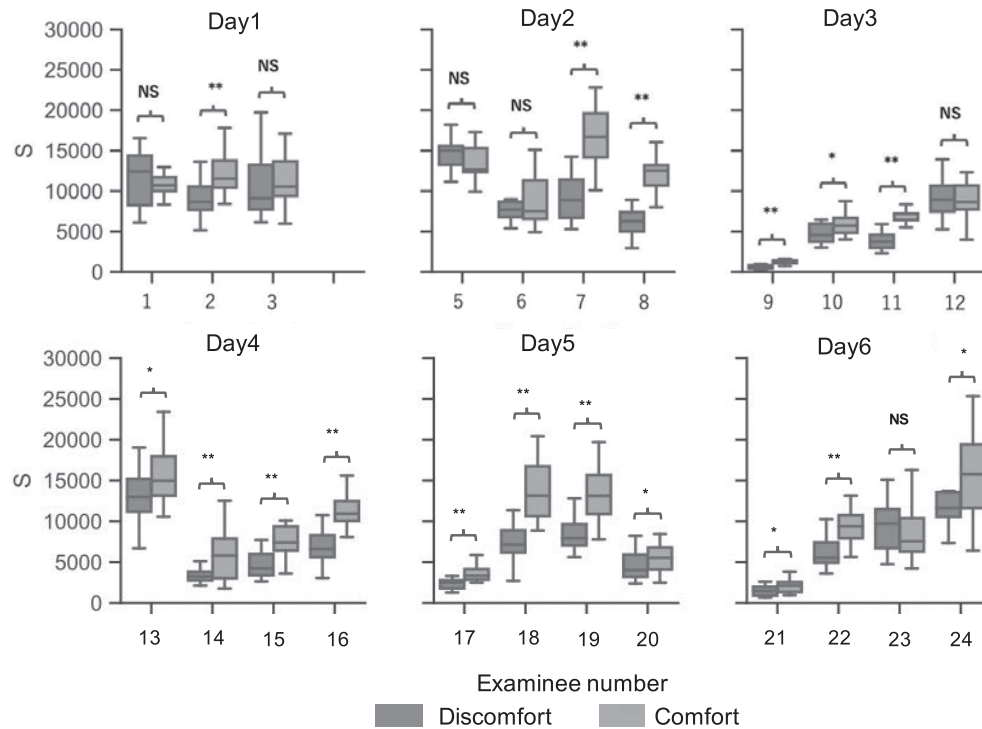


図12. LP面積の統計解析結果

#### 参考文献

- [1] 厚生労働省：令和2年「労働安全衛生調査(実施調査)」の概況， p.4 (2021).
- [2] 国土交通省：令和2年度 テレワーク人口実態調査， p.10 (2021).
- [3] 林宏輔， 鈴木秀和：環境情報に基づいて異種規格のIoTデバイス連携をサポートするiHAC Hub， 情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス&システム(CDS)， Vol.10， No.1， pp.40-49 (2020).
- [4] エコーネットコンソーシアム：ECHONET Lite規格書 Ver.1.14(日本語版) (2022)
- [5] F. Shimano, M. Ohsuga and H. Terashita: Method for assessment of mental stress during high-tension and monotonous tasks using heart rate, respiration and blood pressure, The Japanese Journal of Ergonomics, Vol.34, No.3, pp.107-115 (1998).
- [6] 萩野谷浩美， 佐伯由香：ストレス評価における唾液 $\alpha$ アミラーゼ活性の有用性， 日本看護技術学会誌， Vol.10， No.3， pp.19-28 (2012).
- [7] ISO 7730: Ergonomics of the Thermal Environment Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria.
- [8] 高田晴子， 高田幹夫， 金山愛：心拍変動周波数解析のLF成分・HF成分と心拍変動係数の意義， 総合健診， Vol.32， No.6， pp.504-512 (2005).
- [9] 豊福史， 山口和彦， 萩原啓：心電図RR間隔のローレンツプロットによる副交感神経活動の簡易推定法の開発， 人間工学， Vol.43， No.4， pp.185-192 (2007).
- [10] J. P. Heuchert, D. M. McNair, 横山和仁， 渡邊一久:POMS2 日本語版， 金子書房 (2015).
- [11] 環境省:臭気指数規制ガイドライン (2001).
- [12] M. Itoh, T. Sasaki, X. Duan, K. Watanabe, S. Seto, M. Yasushi, K. Kumagai and K. Yamaguchi, A Physiological Study on the Effects of Lavender Aroma, Journal of International Society of Life Information Science, Vol.22, No.1 pp.109-116 (2004).