

CyberPhysics Smart Elderly Care System

～IaaS・生活見守り自律制御ロボットの提案～

長尾嘉満*1*2 前田徳子 松本充司*1

早稲田大学国際情報通信研究センター*1
公益財団法人電磁応用研究所*2

ABSTRACT It is expected that a single life old man (target person) will be the people of 6 million soon, and a problem becomes serious with this increase in the near future. Care demand increases, and the lack of the helper is caused by acceleration of low birthrate and aging. There is this serious problem that should be settled in the Japanese society of the near future. This study is that I think about these measures, and an old man can continue living in peace at the place that lived so long in the old age. Like a human being, it is that it is made a help without an old man standing alone. It is to have you send relief and life of the security. It is planned to switch over from a collective nursing facility to the care of individual houses as a policy of the countries. About the measures, I think that it will become useful. I aim at becoming the generic technology to support an old man by low birthrate and aging by ICT and a fusion technology of care robot (RT) of RT. I fill the gap of a family and the helper visit and measure the health condition of the daily old man with a sensor and a device with a thing aiming at "the care without interruption" for 24 hours by, IaaS. I want to in this way try care to foresee a disease by accumulation of Vital Signs, when care RT gathered it beforehand more to support before an accident occurred, and to decrease an accident. Of course I press him and her for correspondence with a sound and an image by measures immediately and deal promptly again when the temperature rise of the old man was examined. Environment without the everyday accident must be provided to the old man. For the solution, it is to cope with an environmental change of the care quickly. Through development of these care RT, it will become the advanced home health care. Therefore, with the development of application and the OS, the way of the urgent notice and report may be necessary, too. In addition, I unify healthy information by computing, and big data should be able to utilize the care robot by becoming it. In a care service, reliable safe gentle old age society is seen.

1. はじめに

近く 600 万人になると予想される独居老人（対象者）の増加に伴い、この問題が日々深刻になりつつある。少子高齢化の加速による介護需要の増加やそれに伴う人材不足、近未来の日本社会が抱える解決すべき重大な問題がある。本研究はこの対策を考えるもので、対象者に対して住み慣れた場所で安心して暮らし続けることが出来、如何に人間らしく孤立させないで“見守られ感”を感じながら“安心・安全”の生活をおくって貰うことである。国の施策としても、施設での集団介護から自宅への個別の介護にシフトが予定されており、その対策についても有効になるであろうと考える。介護ロボット(RT)により、ICTとRTの融合技術により少子高齢化で人々を支える基盤技術となり、家族やヘルパー訪問の隙間を埋めて24時間「切れ目のない介護」を目指すもので、センサとデバイスで、IaaS(Infrastructure as a Service)により日々の対象者の健康状態を掌握しようとして

いる。これにより、事故が発生してから対応するというよりも、予め介護RTが集めたVital Signs(Vs)の蓄積により病気を予知して事故を減少させる介護を試みたい。勿論、体温上昇が診られた時は、速やかに処置を音声や画像によって対象者に行動を促すなどリアルタイムでの対処も行う。普段の事故を無くす生活を確保し、その解決と介護を取り巻く環境の変化にいち早く対応するため、自律で制御を行う介護RTの開発を通してこれからの先進的在宅介護と医療との連携が融合し、最新手法などに繋がれば良い。その為には、アプリやOSの開発と同時に、通知や通報のあり方も必要かも知れない。

また、健康情報のビッグデータ化にコンピューティングで統合し、生活見守りロボット活用出来れば尚良い。介護サービスする介護の安心安全な優しい老後社会が望まれている。

※本研究のCyberPhysics Smart Elderly Care Systemは、以後「ECR」。「CyberPhysics」は、「CHS」。家族・介護人・管理者・医療関係者は、「リモート」。

2. 目的

東京都における一般世帯総数は平成37年までは増加し、その後は減少していくことが予想されている。高齢単身世帯と高齢夫婦世帯は、世帯総数が減少に向かう同年以降も引き続き増加していくことが見込まれている。高齢単身世帯のうち、特に世帯主が後期高齢者である世帯の増加が顕著である。東京都における割合は全国平均と比較すると低い状況にあるものの一般世帯に占める高齢世帯の割合は、全国的に増加していく。

<高齢者保険福祉計画/東京都の10年後の予測>

高齢者の25%は要介護（4人に1人）			
1	高齢者10年間の推移	平成27年	平成37年
2	65歳以上の高齢者	289万人	315万人
3	要介護認定者	57万人	77万人
4	要介護認定率	18.9%	24.5%
5	介護保険給付費	8363億円	1兆2107億円
6	介護保険料（平均）	4982円	8436円
7	居住系サービス利用者	12万4千人	17万4千人
8	介護人材	15万人	25万人

(Table-1)

介護者の対象者介護の問題点で、家族の訪問が1,2か月に1度という調査報告もあり、ECRによってその間の空白を埋め、切れ目のない介護をしようというもので、公知な標準インターフェイス EL規格で ECR と連動して対象者の遠隔介護の提案をするものである。これは、Wearable Computing Device (WCD)の支援を受け、連動する仕組みとするもの。

ECR は、EL 規格各種センサを持つ Physics の一つで、対象者の生体調査情報を非接触でモニタリングし、対象者にストレスを与えないで健康調査をするインターフェイスである。以下は、神奈川県内にある幾つかの賃貸住宅での実際の事例の調査を基に作成した不測かつ突発的な事故による独居老人発見までの事故実事例である。

<CHS (CyberPhysics)の領域>



(Figure-1)

方法として、Infrared Thermograph を使い生体・環境情報モニタリングによって対象者の健康状態

を、リアルタイムで計測する。ECR をノードとする RT のモードを切替え被験者の「生体情報モニタリング」情報を集めて、将来的にビッグデータとして多目的に利用出来るサービスコンバージェンスを確立する構想を見据えて、EL 規格と OS の共通するアプリケーションや OS の開発によって標準化を考えるもの。ECR によって対象者本人の会話することにより機能としての癒しと心地よさを与えるものを目指すこととする。

<独居老人発見までの事故実事例>

項目	時期	平時の様子	発見の原因	経過時間(推定)	被害利用	発見状況及び症状	対応/処
1	2012年9月頃	自転車に乗るなど普通の生活	家電保証会社が訪問して異常を感じ、通報して発見。70代男性、無職	約1週間	所持 通報無	過飲酒による心不全。床上。最大8時間程生存の可能性。	家族が対応。火災保険適用。
2	2013年7月頃	ペットの犬を連れて、近所まで散歩に出ていた	ドアポストに新聞置りて同じ建物住民による通報。ペット(犬)は生存。80代女性、無職	約1週間	所持 通報無	エアコン作動なく、悪中病。最大6時間程生存の可能性。犬は生存。	家族が対応。火災保険適用。
3	2013年11月頃	自転車に乗るなど普通の生活	ドアポストに新聞置り、家族が発見して通報。50代男性、無職	数日間	所持 通報無	急激な体調悪化。洗面土間に最大3-5時間程生存の可能性。	家族が対応。火災保険適用。

(Table-2)

3. 自律制御介護ロボットを創る提案

(1)介護RTのこれまでの問題点

これまでの介護RT というものでは、カテゴリ別でも顔認識まではすることはあまりなく、それ以上の健康上の生体情報の取得・判定・指示も考えられていなく、安価でもない。また、空間にRFID、センサが取付けられるなど、機器の設置やシステム構成にインシヤルコストが大きく、対象者や家族が導入するには難しいハードルがある。

<iRobotの外観・機能をもつ自律制御介護ロボット>



(Figure-2 左↑、3右↑、4右↓)

現在のシステムでは、対象者を監視対象として考え、本人のプライバシーや受けるストレスが考慮されていない問題点がある。その為、対象者となる者が室内のセンサの電源を片端から切る等の行為の事例があったりしている。これまで、宅内にRTを入れるには、その空間がなくある程度の広さも必要であった。更に、ECRの家族の声紋によるものも生かされていない、機械的な応答であった。Service Convergence として、複数の施設群

で大量のセンシングデータを収集、蓄積、分析し、知恵を組合せる連動はあまりなく、「生体室内環境情報モニタリング」の個別情報をビッグデータと連動はない。今後の展開は十分に考えられるが、対象者を対象としたインテリジェント生体情報モニタリングを扱うカルテ管理方法は今のところなく、EL規格での遠隔介護RTを動かす仕組みもない。ICTやRTを使った介護には、機器やイニシャルコストに加えてメンテナンスの手間も掛かり、費用が過大になる欠点があるなど、取組が難しいところだ。システムとして手軽に安価に安全に使えることを考えて身近なDeviceとして構築する必要がある。

(2) ROS と制御アルゴリズムの構築

ROS (Robot Operating System) のスペックとセンサ実装構成は、以下のとおりである。

i) 移動ベースハードウェア

- ・ Kobuki モジュールプレート
- ・ Yujin Robot 製 Kobuki 移動ベース
- ・ インターフェイス : Wi-Fi, Ethernet, USB (PC 搭載) 通信

ii) システムと電源ボード

- ・ ニッケル水素バッテリーパック (2200mAh)
- ・ 1 軸ジャイロセンサ (180 度/秒)
- ・ 電源 (12V 1.5A)
- ・ Kinect for windows : 3D センサ (検出範囲 : 0.5 ~ 4m)
- ・ 顔認識, 音声認識, 生体・室内環境情報計測
- ・ 電源ボードアダプタケーブル
- ・ 制御用ノート PC
 - ・ 1.6GHz デュアルコアプロセッサ, 2GB メモリ, 250GB HDD
 - ・ インターフェイス : USB, Wi-Fi, Ethernet, VGA, HDMI, GPS

iii) ROS/プログラミング/OS

- ・ OS : Linux ベース Ubuntu 環境
- ・ 言語 : Linux Python

(3) ROS と制御アルゴリズムの構築

ECR 制御の主なソースコードの概要としては、まず、初期手続きとして EL 規格スイッチオンにして、RT が起動して自律制御行動を行う動作を開始する。EL 規格スイッチオフで、充電場所に自走で戻り、電源 OFF にする動作を行う。

<プログラム開発項目と開発期間>

開発項目	仕様	予想開発期間
顔認識	4名程度の顔をあらかじめ学習させ、Kinectカメラの映像から顔による個人認識を行い、認識結果(画像とログ)を記録する。	1ヶ月～
音声認識	マイクの音声を認識。認識結果(ログ)を記録する。	1ヶ月～
会話応答	音声認識された内容に応じて、適切な会話を合成音声によって応答する。	1ヶ月～ 音声認識機能の開発
サーモカメラ	ROSソフトプログラミング カメラソフトを作成し、画像制御。	なし 1ヶ月～
Smart Watch	ROSソフトをプログラミング カメラソフトを作成し、画像データ収集。	なし 1ヶ月～
異常検出 声かけ メッセージ送信 メール受信	センサー動作や画像を監視し、異常を見つければ、異常が見つかったら、声かけ・発信・通報する。	1ヶ月～ 会話応答の開発
自律制御 定時巡回 声かけ対話	周辺環境を認識する。(マップ作成) 巡回対象と行動をセットする。データを記録する。 定時巡回に巡回対象を設定し、データを記録する。 巡回中に声かけ対話を行う。	2ヶ月～ 会話応答の開発
リモート制御 モニタリング	遠隔地から、カメラ映像を見ながら、走行制御する。 ROS turtlebot標準機能を活用	なし
クラウド	DropBoxでのフォルダの自動同期を想定。	なし

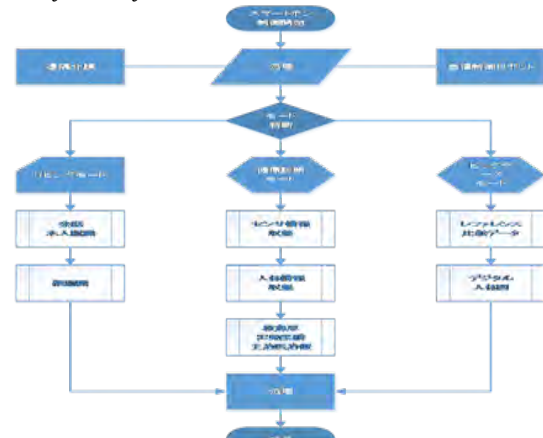
(Table-3)

また、一定時間ごとに、声掛け、カメラサーチ、モーションセンサに反応がなければ各部屋を移動し確認し、問いかける。Vsに閾値を超える異常をキャッチしたら、リモートへ警報メールする動作を行う(F-22, 23)。床上に障害物があった場合は、音声にて対象者へ伝える。訪問客に対応の上、顔認識により顔学習し、「挨拶」「画像記録」をし、クラウドでデータを同期する動作をする。日頃から対象者をイメージセンサ、Ir-thermographカメラで健康観察の為、生体情報を収集してチェックする動作を行う。

ECR が、居室走行時にフロア平面上に、障害物で走行出来ない事象、破壊される事象、その他の事象時に対してリモートへ警報メールする動作を行う。火事の発生により熱画像・室内環境情報で、異常温度上昇が発見されれば、対象者に警報音を発し、救命救急に Emergency Call を発動。GPS 位置情報により住所を先方に伝える。ECR の走行不能、転倒、復旧が困難な事象が発生した場合、リモートへメールで通知する動作を行う。

次にオプション的に家族代表の声紋を得て、コンピュータに登録し対象者の呼掛けに類似音声を照合し返す音声反応動作。家族との簡単な会話のやり取りが出来る会話動作で、繋がりを感じて貰う。更なるニーズがある場合、健康状態を幾つかの質問で、対象者へ聞き取る動作も検討されよう。
※ ECR 名称表記 ; (本件) “Labit” : 自己認識名

< CyberPhysics 遠隔介護システム >



(Figure-5)

(4) ECR の情報計測に対する具体的行動

対象者関連より、生体・室内環境情報計測を行う。Kinect, WCD, Ir-Interface からの生体 (Vital Signs) ・室内環境情報、声掛けにより反応状況を解析し、それに対応するプログラミングを入れる。

i) ECR からの反応は、対象者へ状況に応じてのサジェストが、以下の項目例が行われる。

- ・ 心拍数が上昇 (下降) しています。
- ・ 少し体調を整えて落ち着きましょう。
- ・ 一旦、布団の中で安静にしてお休み下さい。

- ・湿度が〇〇%です。〇〇%位が良いですね。
- ・温度が〇〇度です。熱中症の恐れがあります。
エアコンを付けて下さい。

・キッチンが高温です。火を止めましょう。
など、環境データに応じたメッセージを音声・画像で表示(F-2, 3, 4)機能を組む。

ii) この様に、WCD より VsPHR(Vital Signs for Personal Health Record)を作り、脈拍数、加速度、血圧、睡眠時間、呼吸速度、体温などの情報をクラウド管理することだ。対象者が常に持ち歩き、肌身離さずっていう意味では、携帯電話は紛失の可能性は高いので、WCD として腕へ取り付けの形態の方が本質的であろう。

iii) 3D イメージセンサでは、対象者の顔認識、感情認識、音声認識から機械学習し蓄積することであり、必要データを抽出し、クラウドサーバとデータを移転する。

iv) Ir-Thermograph カメラを使い Vs と室内環境データをモニタリングするが、居住空間の温湿度分布と対象者の体温測定で健康状態を計測し、ECR を配置し移動させながら分布するデータを取得する機能がある。応答音声では、家族の声紋に近づく工夫を施し、家族個性を ECR に移植し対象者に安心感と同時に家族の存在感を提供することも方法としてはあるのだろう。

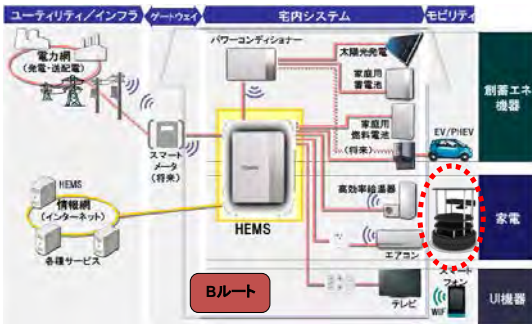
そして、これらの収集したデータは HEMS コントローラを通じて提案(F-6, 7)する HEMS と ECR の連携(B ルート)で、IaaS により仮想化にすることで切れ目のない非接触生体・室内環境情報計測が可能となる。

<提案する B ルート・HEMS と ECR >



(Figure-6, VII)

<多様な機器の接続と IaaS 自律制御 ECR >



(Figure7, VII)

4. HEMS・ECR インターフェイス標準化の検討 (1)家電の一つとしての ECR

現在、HEMS(Home Energy Management System)と家電製品との公知なインターフェイス標準化が十分にされておらず、異なる機器やメーカー間の相互接続も困難な状況でもある。このため、標準化が進められ、異なるメーカー間の機器の相互接続が可能となることで、「見える化」から「いじれる化」や自動制御によって節電や省エネの実現が見込まれる。SMA(Smart Meter)と HEMS との接続インターフェイスの標準化により、メータ情報と HEMS の連携が進み、更には ECR の遠隔制御や種々の介護サービスも可能となるであろう。(F-6, 7)

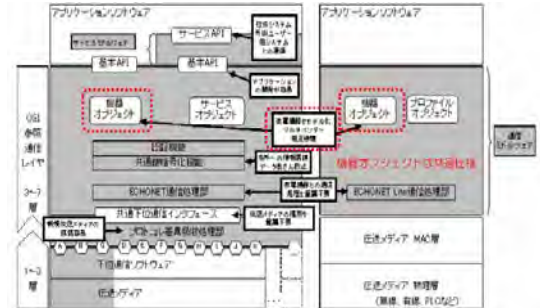
<HEMS と繋がる ECR のインターフェイス >



(Figure-8, VII)

EL 規格・通信レイヤ 5-7 の規定では、ECHONET 規格 ver. 4.0 では、OS 参照通信レイヤ 1-7 層を規定していた経緯があり、通信アドレスは、ECHONET アドレスを使用。次の EL(ECHONET Lite) 規格 ver. 1.0 では、OS 参照通信レイヤ 5-7 層を規定し、伝送メディアの Mac アドレスを使用するとされている。(F-9, 10)

<EL 通信レイヤ 5-7 規定・ECR への実装に向けて >



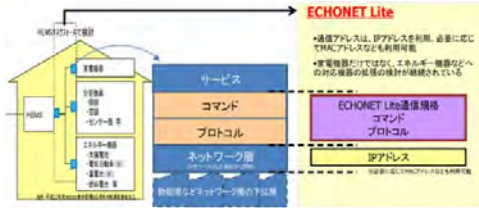
(Figure-9, VII)

(2)EL 規格を目的とした ECR の機能と狙い

EL 通信規格は、経済産業省・NEDO によって、また、ECHONET consortium が管理・開発する ECHONET Lite を HEMS として推奨している。この規格を備えるべく ECR は、Physics (Node) としてのデバイスを備えたスマート介護の重要な役割となるレイヤ部分でもある。

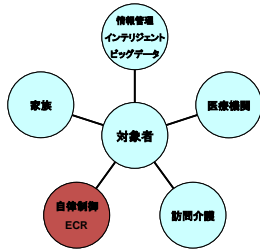
対象者の家族、ヘルパー、生活支援員等の訪問時までリモート側の一員となり、その間をシームレスに 24 時間埋めることで家族の存在を継続する仮想状態(IaaS)に創り出している。

< ECR 要求コマンドと応答コマンドの識別管理 >



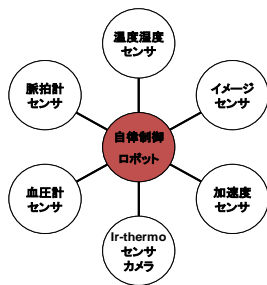
(Figure-10, VII)

< CyberPhysics Contiguous ネットワーク >



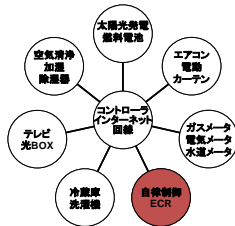
(Figure-11)

< Contactless CHS センサノード >



(Figure-12)

< CyberPhysics ノード家電 >



(Figure-13)

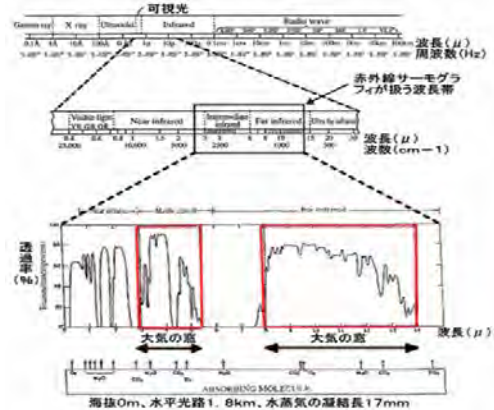
5. Ir-Thermo と 3D カメラを ECR に実装

(1) Ir-Thermograph カメラ

赤外線の見方は、イギリスの天文学者ハーシェルが 1800 年に太陽光をプリズムで分光している時に発見した。Ir-Thermograph は、ECR に実装して対象物からの Ir 放射エネルギーを検出し、温度に変換して可視化し、温度分布を画像表示する仕組みだ。装置と方法を分けて、装置について赤外線サーモグラフィ (Infrared Thermograph), 方法について赤外線サーモグラフィ (Infrared Thermography) と呼び、近年では分けて表記することは少ない様

だ。また、装置を「赤外線サーモグラフィ装置」、方法を「赤外線サーモグラフィ法」と表記されることもある。

< Ir-thermo が扱う波長帯 >



(Figure-14, VIII)

その電磁波は、波長を $0.7\mu m$ 以上で $1mm$ 以下、周波数が $300GHz$ 以上の透過率の高い波長帯は、赤外線サーモグラフィで検知する。センサデバイスでの二次元で温度分布測定では、一般的に、 $-20^{\circ}C \sim 1500^{\circ}C$ の温度域を非接触且つ二次元で可視化するので、ECR でも温度分布データを取り込み、自動で監視や検査。可視カメラモードでは、熱画像と同時に取り込み、熱画像とその計測数値を記録してクラウド上へ同期保存する。

最高温度、最低温度、平均温度、ホットスポット・コールドスポット検出して、2D チャート、ダイアグラムにて表示する。取得温度データは、BMP, JPEG, AVI 画像, CSV, XLS データ形式に変換して出力し、トレンドグラフ、ヒストグラム、ラインプロファイル等に表示して判定する。

Ir-Thermography 体表温度 (顔表面最高温度)、体内温度で、画像処理する為、Ir-Thermography 画像、Averaging 処理、又は可視画像との切替えを行う。

(2) 3D センサカメラ

Kinect for Windows, CR 用のゲームデバイス、RGB カメラと音声デバイスも使えるので、この ECR では顔認識に使用する。これにより、顔認識技術及び機械学習を確立し、ユーザのコンピュータの使用をアシストするアプリケーションの開発をすること。主な開発言語とし、Kinect for Windows SDK と呼ばれる Kinect のソフトウェア開発キットを使用して、顔認識を行うモジュールと、顔認識を用いてコンピュータを操作するアプリケーションを開発すること。

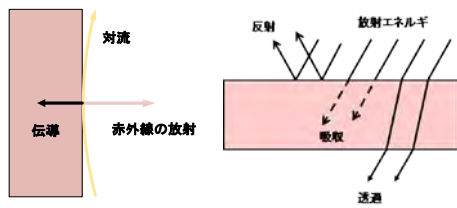
(3) 赤外線の性質と熱の伝導

i) 赤外線の性質

放射、反射、透過において、Ir をよく吸収する物体は Ir をよく放射する (F-17) と言われ、物体を暖める性質もある。従って、熱線と云う場合がある。可視光の明るさ、暗さに関係せず可視光より波長が長い為、目で見えない。絶対 $0^{\circ} K$ 以上の全て

の物体から自然に放射されており、あらゆる分野に適用可能である。光は、電磁波の一種であるが、真空中も伝わるのが可能で、Ir エネルギーと物体の温度は相関関係にあるので、物体や人間の温度を測定することも可能である。この性質を利用して、ECR に実装して対象者の Vs 情報を取得する。

<赤外線放射の性質と熱の伝導>

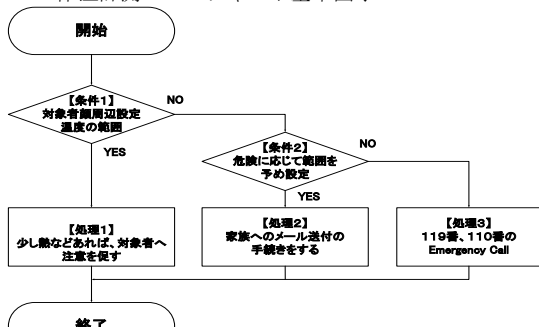


(Figure-15 左, Figure-16 右, VII)

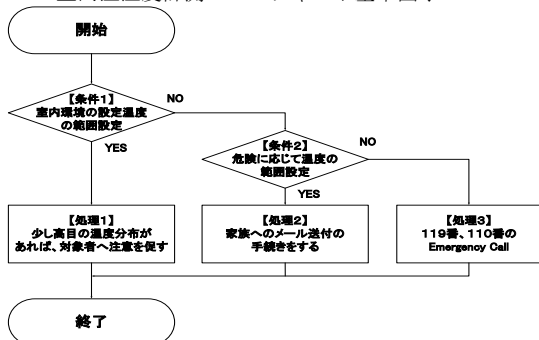
(ii) 赤外線放射の熱の伝導

Ir の熱放射物体面から直接、Ir エネルギーとして届く熱の伝わり方で、液体や固体では、対流気体や液体中で暖まったものが上昇することで熱が伝わり、固体は、固体中を伝導することによって、熱が伝わる。

<RT 体温計測フローチャート基本図↓>



<RT 室内温湿度計測フローチャート基本図↓>



(Figure-17 上, Figure-18 下, VII)

6. 顔表情と温度変化の可視化で感情認識

(1) 受動的安全 Device・Ir-thermo カメラ

非接触計測法も、MRI などでは、対象者の放射線曝露が問題になるうえに、対象者は長時間接触していなければならない。サーモグラフィからは何も放射せず、対象者から放射される赤外線を感知する受動的で安全な装置である。(F-22, 23)

(2) 対象者の生体体温計測

従来の神経科学の手法では、人間の社会的相互作用における神経血管要因を調べることは出来ない。電極など接触型の計測機器を被験者の皮膚に装着する方法が一般的だが、この方法では被験者の自然な行動が阻害される。この場合は、対象者の自然な生体情報を取得出来るというメリットがある。サーモグラフィ技術が、社会学的相互作用の神経生物学的基盤と環境と生物の関係を調べる生態学的的研究でも使えることが分かっているので、自律反応の共時性を確立したい。対象者への 24 時間付添が可能となる。(F-25)

(3) 室内環境温度計測

事故事例 (Table-2) から分っていることは、7 月の暑い時期であるにも拘らずエアコンの作動させていなかったことだ。これは、エアコンの人工的なクーリングを避けていたと考えられる。室内の異常な温度上昇に気が付かぬまま寝入ってしまったのではないだろうか。そこで、サーモグラフィ熱画像モニタリングによって、室内環境やペット温度情報を非接触モニタリングによって可視化することだ。EL 規格によって RT が電動ブラインドとも繋がれば RT が操作することも可能だ。(F-24)

(4) ECR に対する対象者の感情推定

感情と自律神経システムで、自律的な内蔵反応は感情体験と密接に関わっている。共感という代理反応は、一般的に、自分自身の感情と他者の感情の神経的共通認識であると言われていた。そのため、共感という個人間に生理的変化の直接的な共有があるという説がある。サーモグラムは、感情刺激が存在するときに特に活性化する身体内部プロセスを反映しているのだろう。対照的に、感情相の温度変化に何らかの相関がみられることから、ECR と赤外線により対象者の感情推定を考える。(F-22, 23)

(5) 日本人の平均体温の範囲

日本人の平均体温は 36.89℃である。健康な日本人の平均体温は、36.89℃を中心とした 36.55~37.23℃と言われている。年齢を重ねると体温は下がってくる。しかし、1 日の変動があるといっても、通常は 1℃以内の変動になる。寒い季節は体温が低く、暑い季節は体温が高くなる傾向がある。暑い季節でも、汗をかけば体温は下がり、食事の直後や運動の直後には体温が高くなる。RT に実装する Device では、筆者の体温を計測してみると 37.1℃を示していた。(F-22, 23)

(6) AVA による情動ストレス行動

対象者の動静脈吻合 (AVA) が開放して血流量が増加することにより、上肢末梢部及び下肢末梢部の皮膚温度が急上昇する際の室内温度を見て、一時的な発熱であるが、病気による発熱であるかは判断しなければならない。鼻部皮膚温度による Vs の変化は AVA (Arteriovenous anastomosis) を対象に Ir-Interface により生体温度であるサーモグラムを取得する。実験では、2 パターンの AB を考え、A では対象者に 2 タイプの短編映画を見せ、そ

の対象者の皮膚に Ir-thermo カメラで熱源を測定し、その温度変化を比較分析する。B では RT が存在する場合と存在しない場合の情動変化でサーモグラムの分析を行う。これにより、対象者の経時的な温度変化の相関性を測定する。計測結果からは、RT 作用による神経的なりラックス量の基礎的研究に役立つことを期待している。(II) (F-22, 23)

<実際に装着した WCD と光学心拍数モニタ>



(Figure-19 左, 20 右↑, 21 右↓)

(7) Ir-thermo カメラ熱源探知の仕様

インターフェイスに Ir-thermo カメラを FRIR one に、本体に iPhone5 を使用した。一般的に、利用ケースとされるのは、「エボラ出血熱、感染症、インフルエンザ等の多人数モニタ」「空き巣などの不審者を赤外線で見つけ」「水漏れの発見」「空調ダクトの配管、天井空調機器などの温度、異常確認」「製造ラインにおける移動物体の表面温度」「床暖房、IH ヒータなどの建物内電気機器」「配電盤、分電盤などの電気設備の異常」「住宅の温度差がある所を調べ結露の原因究明」「各種機械、自動車、船舶、電車の発熱状態の確認」「製造ラインにおける移動物体の表面温度チェック」「モータベアリング、ブレーキのフェード状態など異常による発熱チェック」「暖かい食料の選別」「焚き火やタバコの不始末の確認」など、目に見えない安全確認に利用されている。

(8) デバイス仕様

i) Ir-インターフェイス

「FLIR ONE iPhone5/5S 用ケース型」「範囲温度:0°C~100°C」「動作温度:0°C~35°C」「重さ:110g」「寸法:W61mm×L140mm×T22mm」「バッテリー容量:1400mAh の (最大熱イメージャ電池寿命:4H 連続使用で iPhone バッテリーの電力を消費はない.)」「コア:レプトンサーマルカメラコア」「可視カメラ:VGA (FLIR®MSX®ブレンディングに使用)」「感度:0.1°C 程度の温度差検出」「充電方法:microUSB と 1A の充電器」「iPhone との互換性:iPhone5, iPhone5S は iOS 7 以降を実行。」

ii) 携帯端末

「iOS:バージョン 8.0.2」「Apple:au iPhone 5」「MF150J/A A1456 32GB」「寸法:W58mm×L124mm×T10mm」

iii) WCD (Wearable Computing Device)

「心拍計・活動量リストバンド」「Fitbit ChargeHR」

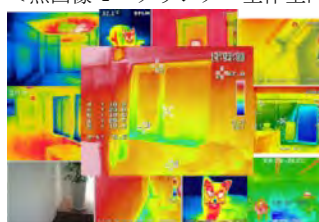
「計測内容:光学心拍数モニタ,3軸加速度計」

<携帯端末と Ir センサデバイス生体温度表示>

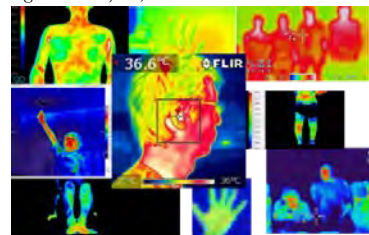


(Figure-22 左, 23 右)

<熱画像モニタリング・生体室内環境温度情報>



(Figure-24, Image Photo, XI)



(Figure-25, Image Photo, XI)

7. プランクの法則

(1) 理想体の温度と放射スペクトル

本研究で、対象者の V_s と室内環境情報は、この放射熱の原理を利用した装置となる。プランクの法則から導かれる理想体(黒体)の図(T-4)は、反射等が無く放射だけと見なせる理想体から放射される Ir のスペクトルを物体の温度を媒介変数として曲線で表したサーモグラムというもの。Ir の放射量が増加するにつれて、温度の上昇とは比例して、同時に波長のピークが短い方へシフトして行く。一つの波長に注目した場合は、Ir の放射量が温度と対応関係を持つ。Ir 単放射温度計は、これを利用している。Ir-thermo センサは、多数の微小な熱電対を面状に並べたものであるが、光学フィルタで特定波長の Ir を切り出し、複数の熱電対(thermocouple)と呼ばれるセンサで電圧に変換して、温度を算出する。

(2) 理想体放射の分光エネルギー分布

この法則は、理想体から放射される電磁波の分光放射輝度、又はエネルギー密度の波長分布に関する公式。ある温度 T における理想体からの電磁放射の分光放射輝度を全波長領域において説明するならば、単位面積当たり、単位波長当たりの光量を

分光放射照度照射された物体が受ける光強度を示す量である。ドイツの物理学者 Max Planck は、1900 年にこの法則を導き出した。放射場の振動子のエネルギーが、あるエネルギー量子 $\varepsilon = h\nu$ の整数倍になっていると仮定したもの。この法則において、理想体から放射される電磁波の分光放射輝度 I は、周波数 ν と温度 T の関数として表される。

$$I(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (1)$$

但し、ここで $I(\nu, T)$ は、放射面の単位面積、立体角、周波数あたりの放射束を表しており、 h はプランク定数、 k はボルツマン定数、 c は光速を表す。 I は $h\nu = 2.82 kT$ の位置にピークをもち、高周波数においては指数関数的に、低周波数においては多項式的に減少する。また、 I を全立体角について積分することで、分光エネルギー密度に関して、

$$u(\nu, T) = \frac{4\pi}{c} I(\nu, T) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (2)$$

<理想体と放射エネルギー>

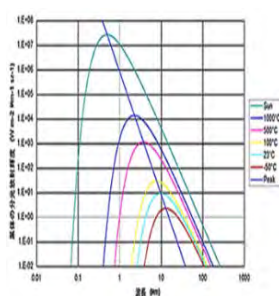


Table-4, IX

分光エネルギー密度 u は単位体積、単位周波数あたりのエネルギーの次元 (単位は $J/(cm^3 \cdot Hz)$) を持ち、周波数が ν と $\nu + d\nu$ の間に存在する単位体積あたりのエネルギーは $u(\nu, T) d\nu$ によって与えられる。この式を周波数について積分すれば、全エネルギー密度を得る。

理想体の放射場は光子気体と考えることが出来、全エネルギー密度は光子気体の熱力学変数の一つとなる。この法則において、分光放射輝度は波長 λ の関数としてという形で表すことも出来る。

$$I'(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (3)$$

波長 λ と周波数 ν は、波長 $\lambda = c / \nu$ 式による。この関数は $hc = 4.97 kT$ の位置にピークをもつ。これはヴィーンの変位則でより一般的に用いられるピークである。

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} \quad (4)$$

ここで λ_{\max} はピーク波長 (m)、 b は比例定数で、 $b = 2.8977721(26) \times 10^{-3} K \cdot m$ である。CGS 単位系では b は約 $0.29 \text{ cm} \cdot K$ である。また、分光エネルギー密度についても、波長が λ と $\lambda + d\lambda$ の間にあるエネルギー密度を $u'(\lambda, T) d\lambda$ とし、波長 λ の関数として表示すれば、次に表わされる。

$$u'(\lambda, T) = \frac{4\pi}{c} I'(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \quad (5)$$

分光エネルギー密度 u' は単位体積、単位波長あたりのエネルギーである。

周波数範囲 $[\nu 1, \nu 2]$ または波長範囲 $[\lambda 2, \lambda 1] = [c / \nu 2, c / \nu 1]$ において放射される放射

輝度は、 $I(\nu, T)$ または $I'(\lambda, T)$ の積分として求められる。尚、周波数が増加するとき波長は減少するため、2つの積分では上限・下限が入れ替わっている。

$$\int_{\nu 1}^{\nu 2} I(\nu, T) d\nu = \int_{\lambda 2}^{\lambda 1} I'(\lambda, T) d\lambda \quad (6)$$

そこで、ここでは、プランクの方射式から出発して、これを色々な角度から分析する。それらを行なうべく定量的にグラフ化させて理解を容易にし、次の機会に詳細なデータや解析で、現行の生体(対象者の動静脈吻合 AVA)・環境情報の分類を整理する。今回は、原理や仕組みの紹介に留めておき、効率の良い環境を捉え、対象者の「RT による快適さの仕組み」を明らかにしたいと考えている。

8. あとがき

本研究では、RT が対象者の Vs 情報から閾値を検出した場合に 119 番 110 番、又は地区行政府の介護部署への通報が一つの問題として浮上する。つまり RT が人間を介しないで通報することが許されるのかという問題が生じ、この点については、何らかの標準化が望まれるところであろう。

また、これまでお掃除ロボットを使う考えやサーモグラフィを使う研究の個別の研究はあったが、それを統合して介護において遠隔計測と自律制御ロボットに実装する試みはまだなかった。BNC (Broadband Network Convergence) により『伝気通心』として、この試みによって、一つの新しい形が出来ればと考えている。

謝辞 本文の執筆にあたっては、(公) 電磁応用研究所の富永英義氏に多大なるご指導を頂いた事を感謝します。

参考文献

- I. Arnold Daniels, Field Guide to Infrared Systems, The Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, 2006 published
- II. 野沢明雄, 井出英人, 鼻周辺の温度による感情認識 青山学院大学, 検査技術 2003. 9
- III. 中嶋貞雄, 量子力学 I, 原子と量子, 岩波書店, 2010. 11. 25 発行
- IV. 戸田盛和, 熱・統計力学, 岩波書店, 2008. 10. 6 発行
- V. 阿部龍蔵, 量子力学, サイエンス社, 2012. 2. 25 発行
- VI. エコーネットコンソーシアム <http://www.echonet.gr.jp/index.htm>
- VII. JSCA 国際標準化 WG EMS-SWG 第 2 回スマートハウス標準化検討会 事務局資料
- VIII. R. D. Hudson, Jr. 『INFRARED SYSTEM ENGINEERING』 (John Wiley & Son, 1969)
- IX. <http://www.infrared.avio.co.jp/jp/products/ir-thermo/what-thermo.html>
- X. 前田憲子, 携帯型近赤外分光分析装置による黒色プラスチックの識別法に関する研究, 2003. 3. 15
- XI. FLIR image photo 資料, FLIR Systems, Inc. <http://www.flir.jp/home/>
- XII. Wikipedia <http://ja.wikipedia.org/wiki/>