



# Mita Lab.

Laboratory of Structural Health Monitoring & Biofied Building  
Department of System Design Engineering, Keio University

## 生命化建築 Biofied Building

居住者一人ひとりにとって安全・安心・快適な空間を実現するため、自ら適応する建築

### 背景

1. 超高齢社会
2. ライフスタイルの多様化
3. コンピュータ・センサ技術の発達

### 特徴

1. 生命体の適応機能に着目したシステム
2. センサエージェントロボットの使用



### 見守りシステム

住宅内での事故や居住者の病気を日常生活の些細な異変の検出により未然に防ぎ早期予防を促すシステム

### 癒しシステム

居住者の好みやその時々のお気分によって最適な照明・音・香りの制御を行い癒し空間を実現するシステム

## 構造ヘルスマモニタリング Structural Health Monitoring

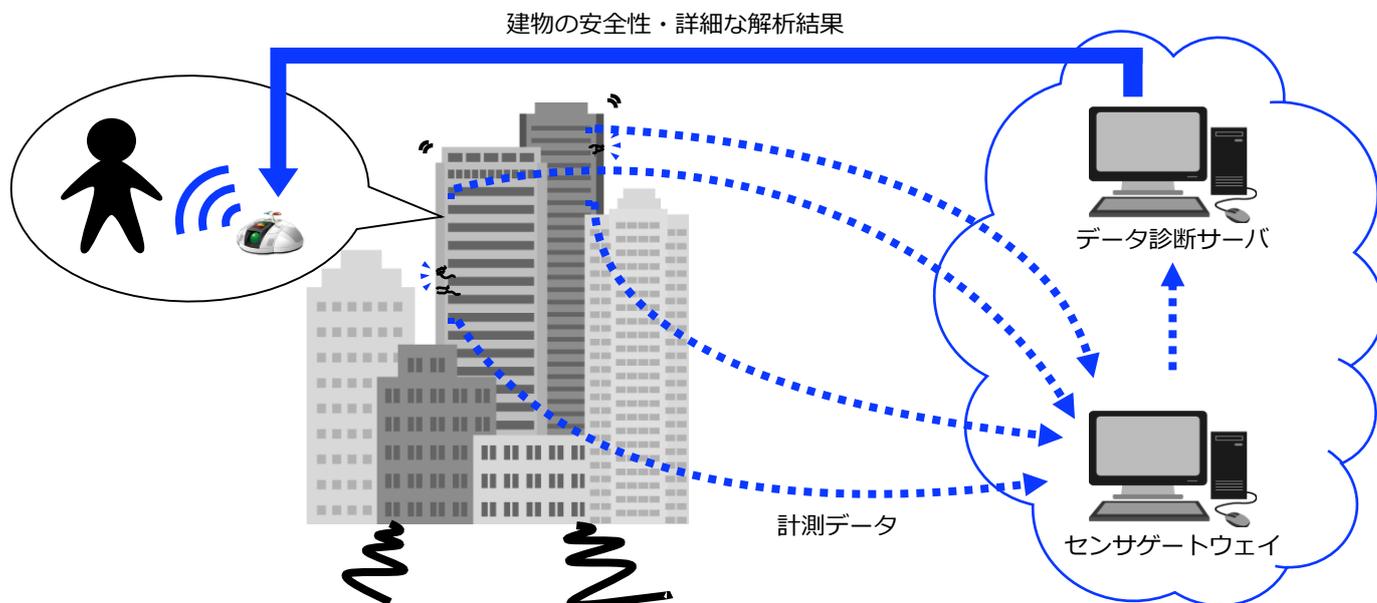
建物の健康診断を目的として、構造物にスマートセンサを設置し振動解析から健全性を判定

### 背景

1. 度重なる大地震
2. 建物の安全性評価へのニーズ
3. 地震時の建物利用者への避難誘導の必要性

### 特徴

1. 処理能力を持つセンサにより設置容易で建物内に収録装置が不要
2. 2台のサーバからなるシステムで、データ取得から解析までを自動化



# 生命化建築が応用する生命の環境適応能力

## 生命化建築と生命の環境適応能力

生物は右の4つの環境適応機能によって環境変化に適応している。生命化建築では中でも、生理的適応と進化的適応に焦点をあて研究が進められている。

**生理的適応**  
恒常性の維持  
季節や加齢など環境の変化に適応した制御  
ex) 居住者の気分や感情によって空調・照明環境を変化させる

**感覚的適応**  
五感・反射  
感覚器の情報に基づいて行われる適応  
ex) 人を検知すると照明がON/OFFされる

**進化的適応**  
遺伝・突然変異  
長期間の情報蓄積と遺伝情報の選別  
ex) ライフログの中で重要な情報を抽出・伝達する

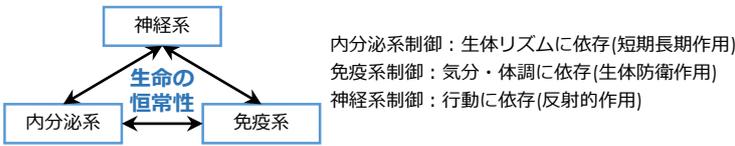
**学習による適応**  
環境との試行錯誤  
センサから得たデータを蓄積、分析により学習  
ex) 居住者が帰宅する時間を学習し照明を点灯する

## 生命の生理的適応を応用した研究：空間ホメオスタシス制御

空間ホメオスタシス制御では外部環境の変化に対し内部環境を一定に保つ恒常性維持の仕組み(ホメオスタシス)を応用する

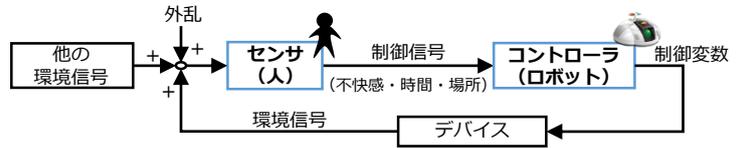
### 1. 生物のホメオスタシス(恒常性)に基づくアルゴリズム

ホメオスタシスは3つの系の相互作用によって成り立ち、それぞれ次の建築空間制御法に置換えられる。3つの制御方法を内包することで個人差をリアルタイムにとりいれることが可能となる。



### 2. 人とロボットを組み込んだフィードバックシステム

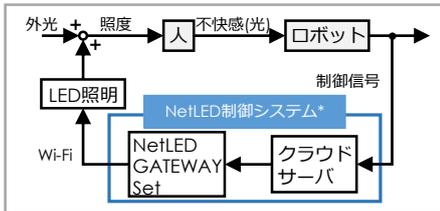
ホメオスタシス制御では人がセンサとして組み込まれ、ロボットが空間内の居住者情報や環境情報を取得するコントローラの役割を果たす。これにより初期条件として明確な目標値を必要としない制御を可能とする。



## Research

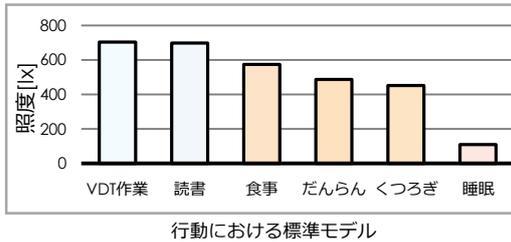
### ホメオスタシス制御アルゴリズムの構築

本研究ではホメオスタシス制御モデルの構築を目指し、ホメオスタシスにおけるホルモンを人間の不快感に置き換えたシステムを作成した。室内の機器は各々、制御信号の濃度に応じて作動し、空間全体の制御を可能にした。



### センサとしての人モデルの構築

ホメオスタシス照明制御における人モデルを構築する。各行動において好まれる光環境の検討や個人毎に人モデルを構築した。提案手法を用いて構築された人モデルを適用した新しいホメオスタシス照明制御アルゴリズムを提案した。

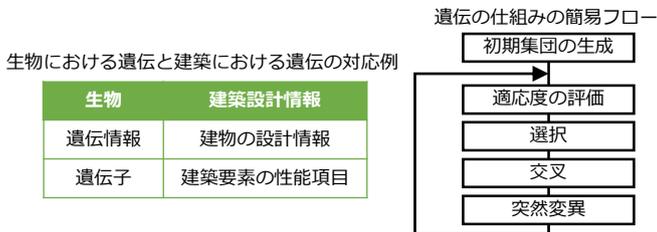


## 生命の遺伝的適応を応用した研究：建築設計情報遺伝メカニズム

建築設計情報遺伝メカニズムでは生物の設計図を遺伝子という形で表現し子孫に伝える手段である遺伝の仕組みを応用する

### 1. 生物の遺伝(情報の遺伝子化)に基づくアルゴリズム

生物・建築空間情報を対応させ建築仕様を数値化(遺伝子化)し表した後に遺伝のフローを模した数値処理を経ることで、前世代の設計情報の中から、より優れた情報のみを抽出し次世代設計に活用できる。



### 2. 居住者ライフログを反映した過去の事実に基づく設計

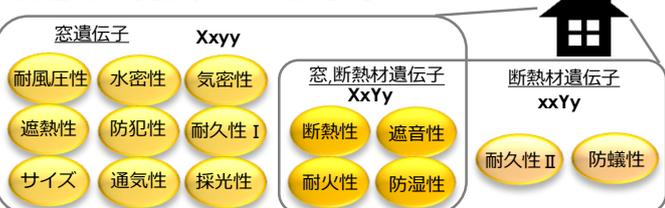
設計情報遺伝メカニズムではライフログや環境情報などの過去の事実から居住者の要望を見つけ居住者の好みを反映した快適な空間の創造を可能とする。



## Research

### 建物の性能情報を遺伝子としたメカニズムの提案

建築設計情報の中の窓情報に焦点を置き、遺伝情報とした。窓遺伝子要素を窓性能13項目と定義した。また、生命における環境要因を、人の不快・消費電力・危険の3つのストレスに置き換えた。環境要因によって遺伝子修飾が行われ、その修飾量によって遺伝制御ON/OFFを決定する。



### 人の行動を遺伝子としたメカニズムの提案

居住者の行動を建物の遺伝子と定義した。居住者ライフログと同時に利用された照明器具情報を収集。これらは建物の遺伝情報に変換され蓄積される。家のリフォームのタイミングで、蓄積された遺伝子のなかから、より優秀な遺伝子が選ばれ、設計案に反映されるシステムを作り出した。



# センサエージェントロボット

## 生命化建築とセンサエージェントロボット

生命化建築において、センサエージェントロボットは居住者とデバイスとの仲介役としての役割を果たす。センサエージェントロボットが居住者の感情や状態、室内環境を取得し、デバイスコントロールを行うことで安全・快適な空間を実現する。



Ebio N

慶應義塾大学中澤研究室と共同開発したセンサエージェントロボット。速度性能が大幅に改善され、人の平均速度を大きく上回る110m/分という速度で走行可能。

形状を丸みを帯びた形に変更することで人にやさしいデザインを実現。速度性能についても改善され、PCとのBluetooth通信も安定化。

人追従 デモンストレーション



- ① 制御基板
- ② 電源変換 / 電源監視基板
- ③ I/F基板
- ④ 距離センサ
- ⑤ 焦点センサ
- ⑥ モータードライバ/アンプ
- ⑦ ステッピングモーター
- ⑧ リチウムイオンバッテリー
- ⑨ 電源スイッチ
- ⑩ モーター制御スイッチ
- ⑪ スピーカー
- ⑫ 電源監視LED



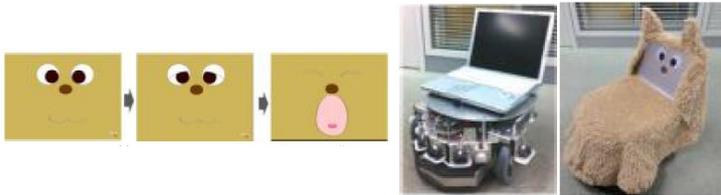
Ebio Q

e-bio Qは株式会社広大ハイテックにより製作されたセンサエージェントロボット。各種センサが搭載されており、ロボットの操作は上面に置かれたノートパソコンで行う。

## Research

### ロボットとのコミュニケーション

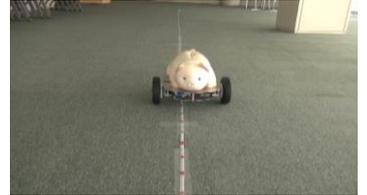
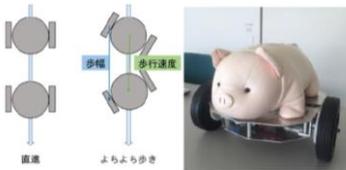
居住者とロボットの日々のコミュニケーションは、居住者の癖や趣向を考慮できる・毎日行う行為である・センシング対象となる行動を対ロボットに限定できるといった点から重要である。ロボットが居住者に対して働きかけることで、ただ観察しているだけでは得られない感情情報を引き出すことができると考えられる。そのために有効なロボットのしぐさを検討している。



### 親しみやすいロボット

住宅内で居住者の情報を取得する上で、センサエージェントロボットは親しみやすいロボットである必要がある。本研究では乳幼児のかわいらしさに着目し、その特徴を抽出し実装することで、ロボットが親しみやすい特徴をどの程度得られるか検証を行っている。

乳幼児的特徴実装方法



### 環境コントロール実験室

居住者から取得した生体状態に基づき、センサエージェントロボットが適切なデバイスコントロールを行う。本研究室では、照明、音楽、香りのコントロールに関する研究に取り組んでいる。照明には色温度・照度を制御することのできるPhilips HUEを導入し、環境コントロール実験室に設置されている。



### 照明・音楽コントロール

音楽と光色が空間の印象にどのような影響を与えているのかを明らかにすることで、環境情報に基づいた空間の印象を制御するシステムを構築している。また、小型ロボットを利用して居住者の呼吸数を測定し、それに応じて音楽をコントロールすることで、より快適な仮眠環境を実現するシステムを構築している。



### 顔色測定による温熱的快適性推定

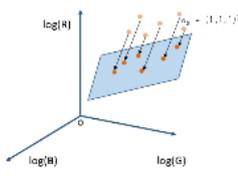
「暑い」「寒い」といった温熱的快適性は有効な居住者情報の一つである。屋内での熱中症患者の多くは、居住者が自身の体調の変化に気付かなかったことが原因である。温熱的快適性は顔の色に顕著に表れることから居住者の顔色を観察することで、居住者の温熱的快適性推定を行っている。



Microsoft Kinect sensor



顔色解析手法



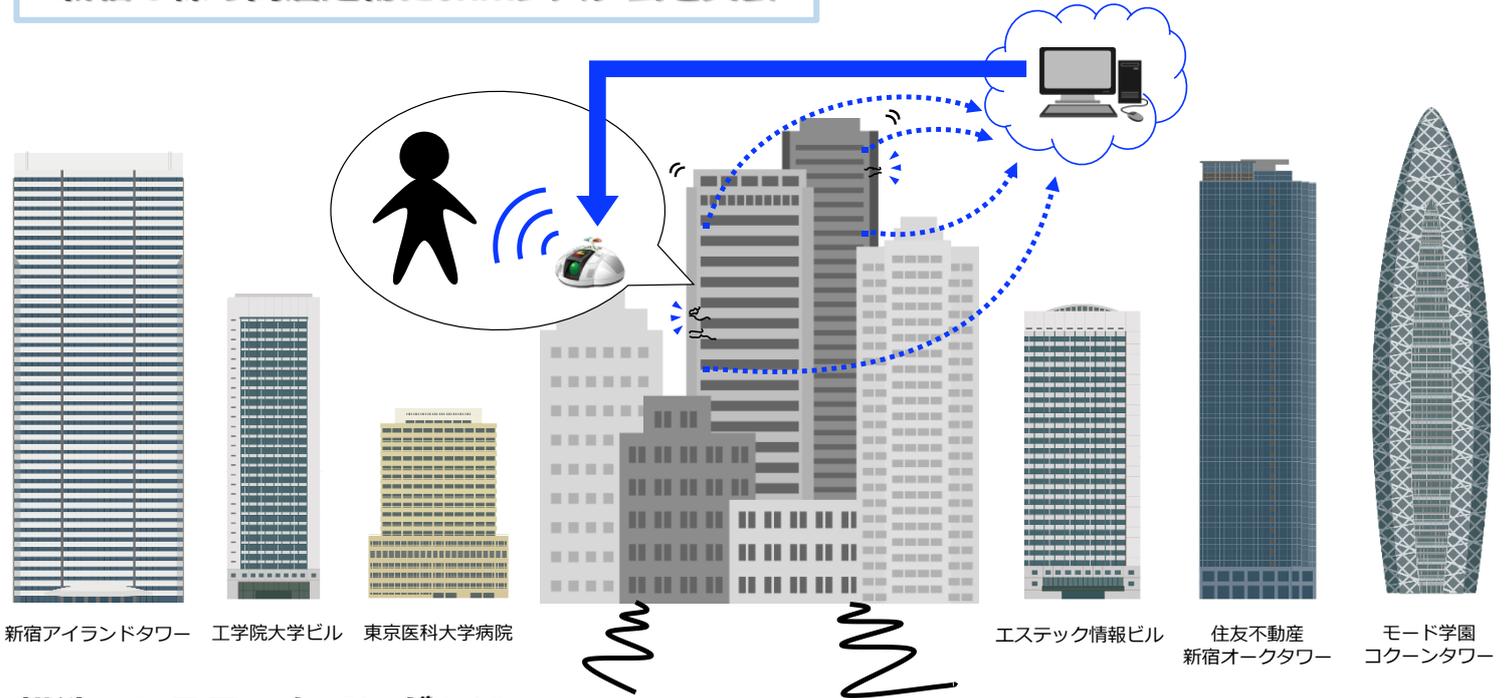
### 歩行パラメタ推定

老化の指標として、歩幅や歩行速度に代表される歩行パラメタが用いられる。歩行パラメタは老化により低下する運動能力の状態に直結しており、認知障害や転倒を予測できる可能性が示唆されている。そこで、本研究室では小型ロボットが人追従を行い、歩幅、歩行周期、歩行速度をはじめとする歩行パラメタの推定を行っている。



# 新宿副都心における高層ビル耐震診断に基づく 帰宅困難者行動支援システムの社会実装プロジェクト

## 新宿6棟の高層建物にSHMシステムを実装



## 構造ヘルスマモニタリングとは

加速度センサによって地震時の揺れを計測し、解析をすることで、建物の健全性を「見える化」する技術。地震による損傷や経年変化のモニタリングを行うことで、適切な補修ができ、建物の長寿命化に貢献する。

## プロジェクト概要

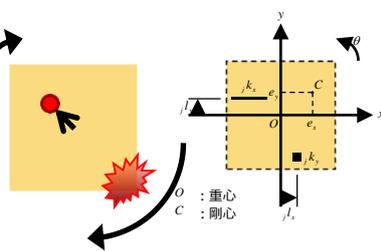
首都直下型地震が発生した場合、多くの人々が帰宅困難者となることが予想される。このプロジェクトでは、新宿の大規模高層ビルに構造ヘルスマモニタリングシステムを導入している。大地震発生後に耐震診断を行い、それぞれの建物使用の可否及び収容できる人数などの情報を共有し伝達することで、帰宅困難者の行動を支援することを目指している。

## Research

### 損傷検知

#### 剛心位置の変化に着目した多層構造物の局所損傷推定

この研究では、モデルの複雑さと推定精度とのバランスを考慮して、損傷による剛心（回転中心）の移動に着目した多層構造物の局所損傷推定手法を提案した。この手法では建物の損傷箇所と剛心の移動の関係を利用する。建物のねじれ振動を解析することで損傷前後での剛心の移動を検知し、その移動方向に基づいて損傷箇所を層の4分の1に絞り込むことを達成した。



### 損傷検知

#### 固有振動数の変化を用いた損傷検知手法

SHMシステムの普及に向けた課題としてコストの問題が挙げられる。この研究では、固有振動数の変化のみを用いて損傷評価を行う基準を新たに定義し、せん断構造物における損傷の位置と大きさを検知する損傷検知手法を提案している。提案手法で必要とされる加速度センサの数は2台のみであり、低コストで損傷検知を行う手法の実現を達成した。

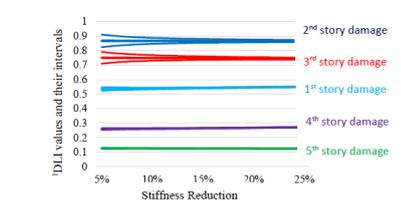
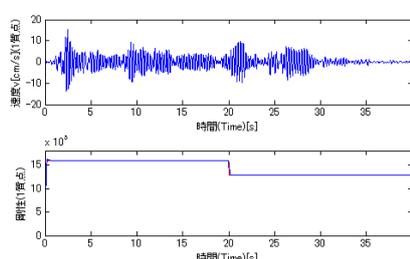


Figure 2. DLI values and their intervals of the 5-story shear structure

### 地震応答推定

#### 適応型カルマンフィルタを用いた地震応答推定

この研究では、建物の全層の地震応答を少数のセンサを用いて行う手法を提案した。拡張型カルマンフィルタを用いることによって、時刻歴でのパラメタの変化を追従することが可能になった。また、従来の手法よりも高次モードを考慮することが可能になり、それによって従来手法よりも推定精度が高い手法を実現した。高層建物への適用が期待される。



### 避難誘導

#### 小型ロボットを用いた避難誘導システムの提案

生命化建築で使用されるロボットを用いて加速度を計測し、居住者に避難の必要性を報告するシステムを提案した。ロボットが計測した加速度の補正を行うことで精度の良い推定が実現された。これは生命化建築とSHMをつなぐ研究の1つである。

