

# BIM・IoT・AIによる予知保全について

2023年4月27日（木）

株式会社FMシステム  
代表取締役社長 柴田 英昭

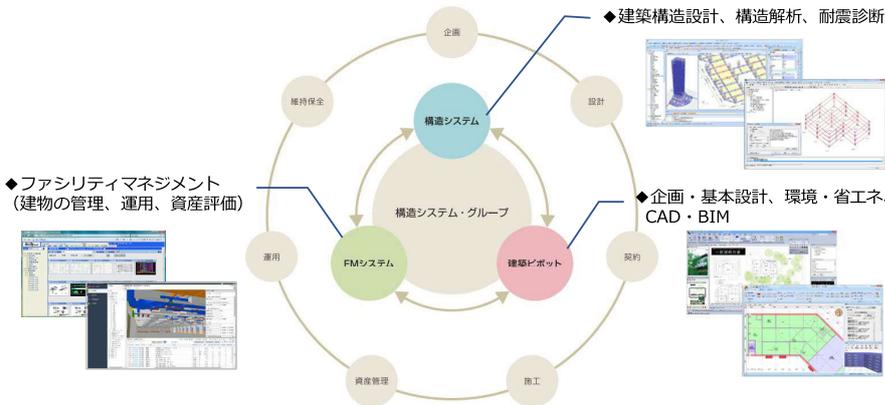


## 株式会社FMシステム 会社概要

2

### 構造システム・グループ

建築と情報の両分野を専門とする構造システム・グループは、  
建築のライフサイクル全体をITでサポートする唯一の企業グループとして事業を展開しています



**株式会社FMシステム**は、構造システム・グループの中で、ファシリティ・マネジメント分野のソフトウェアを開発する会社として設立。  
建物や施設の管理・運用分野の業務システムやパッケージ・プログラムを企画・開発し、お客様の建物資産の有効活用に貢献することを企業目的としております。



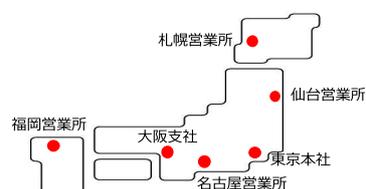
### 会社概要

社名	株式会社FMシステム
所在地	東京都文京区関口2-3-3 目白坂STビル
設立	2008年11月11日
代表者	代表取締役 柴田 英昭
事業内容	FMパッケージソフトウェア開発、販売 FMソリューション開発 FMクラウドサービス FMコンサルティング

### 沿革

年月	弊社・グループ沿革
1982年7月	株式会社構造システム設立
1987年5月	CADとFMの普及を目的に株式会社バス設立 JFMA設立に関与（初代事務局長：石神純夫）
1998年3月	バスが事業拡大し株式会社バスプラスワン設立
2004年6月	計画系開発部門を独立、株式会社建築ビボット設立
2008年11月	FM系開発部門を独立、株式会社FMシステム設立
2020年10月	統合プラットフォームFM-Integrationサービス開始
2021年1月	PLANON（IWMS）日本での販売代理店契約

### 支社・営業所



### 主要取引先



## 代表者 柴田英昭 経歴

### 現職

株式会社FMシステム 代表取締役社長、株式会社構造システム 取締役（兼務）

### 略歴

1997年 株式会社構造システム 入社  
2008年 株式会社FMシステム 取締役  
2013年 株式会社FMシステム 代表取締役社長  
建築及びFM関連のソフトウェア開発、研究に従事し、現在に至る。

### 著作

ファシリティマネージャーのためのBIMガイドブック（共著）公益社団法人日本ファシリティマネジメント協会 2015年4月  
ファシリティマネジメントのためのBIMガイドライン（共著）公益社団法人日本ファシリティマネジメント協会 2019年1月  
ファシリティマネジメントのためのBIM活用 事例集（共著）公益社団法人日本ファシリティマネジメント協会 2022年7月

### 論文

BIMによるFMシステムのデータ構築とその目的（共著）日本建築学会 情報システム・利用・技術シンポジウム 2017年12月  
修繕・更新工事履歴の分析方法（共著）日本建築学会 情報システム・利用・技術シンポジウム 2017年12月  
BIM-FMによるデジタルハンドオーバーの仕組み その1 - デジタルハンドオーバーの概要 - （共著）日本建築学会 2022年9月  
BIM-FMによるデジタルハンドオーバーの仕組み その2 - 建築生産情報と維持管理情報の連携 - （共著）日本建築学会 2022年9月  
BIM-FMによるデジタルハンドオーバーの仕組み その3 - 修繕保全連携と「建物の使い方」「保全の方法について」 - （共著）日本建築学会 2022年9月

### 他団体での活動

（社）日本ファシリティマネジメント協会 BIM/FM研究部会 委員  
（社）日本建築学会 設計・生産の情報化小委員会 委員  
（社）日本建築学会 設計・生産の情報化小委員会 情報連携共通化 WG 主査

## 目次

- FMシステムの取り組み事例
- 劣化とコンピュータ
- 劣化予知のプロセス
- BIM・IoT・AIの応用例
- まとめ

# 建築業界が直面する4つの重要な課題

Sustainability  
サステナビリティ

~40%

世界のCO2排出量のうち、建築物からの排出が占める割合

Resiliency  
レジリエンス

>350

2019年に世界で発生した自然災害+人為的災害

Efficiency  
効率性

>30%

のエネルギーが建物内では無駄に浪費

People-centricity  
人間

~90%

屋内で費やされている私たちの時間

Source:  
1 Architecture 2030, 2020  
2 Facts + Statistics: Global catastrophes, Insurance Information Institute, 2020  
3 U.S. Environmental Protection Agency, 2020  
4 Joseph G. Allen, Healthy Buildings Program, Harvard University, 2019



## FMでどのように対応するか

### FMでの対応

運営、維持保全、ワークプレイス、エネルギー、CO2、健康、安全、BCP、快適性、診断、評価、予測、サービス・・・

### FMに関係する人

施設のオーナー、経営者、社員、利用者、設計事務所、建設業、ビル管理会社、清掃会社、警備会社、・・・

### FMを推進するキーワード

クラウド、IoT、AI、DX、5G、BIM・・・



# FM

# BIM

# DX

# CO2

# IoT、AI

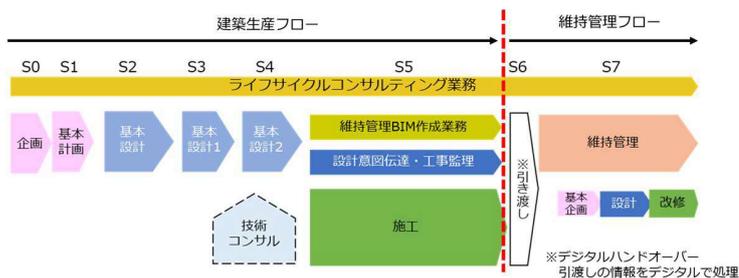


FM-Integration

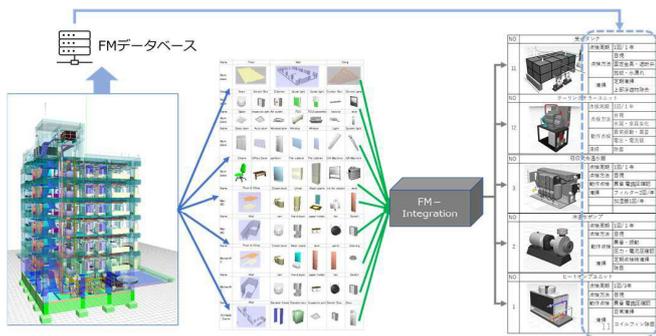


# BIM

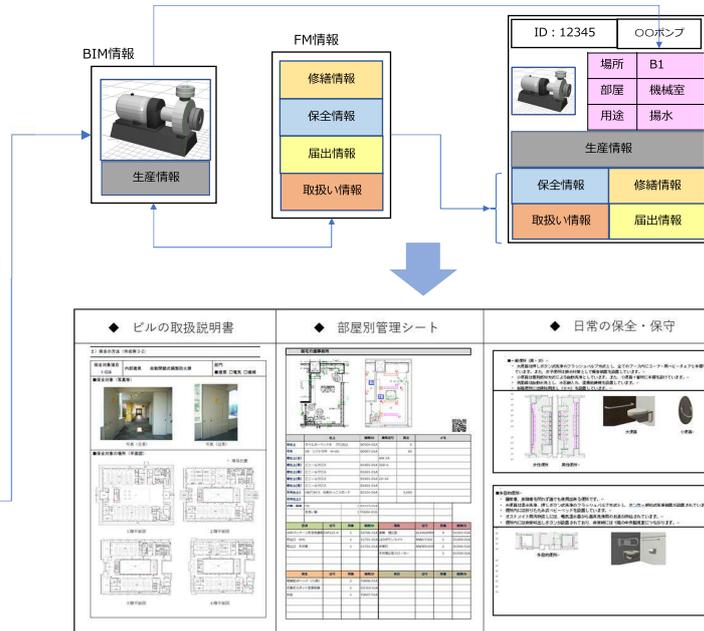
## 1. ライフサイクルでの情報の引き渡し

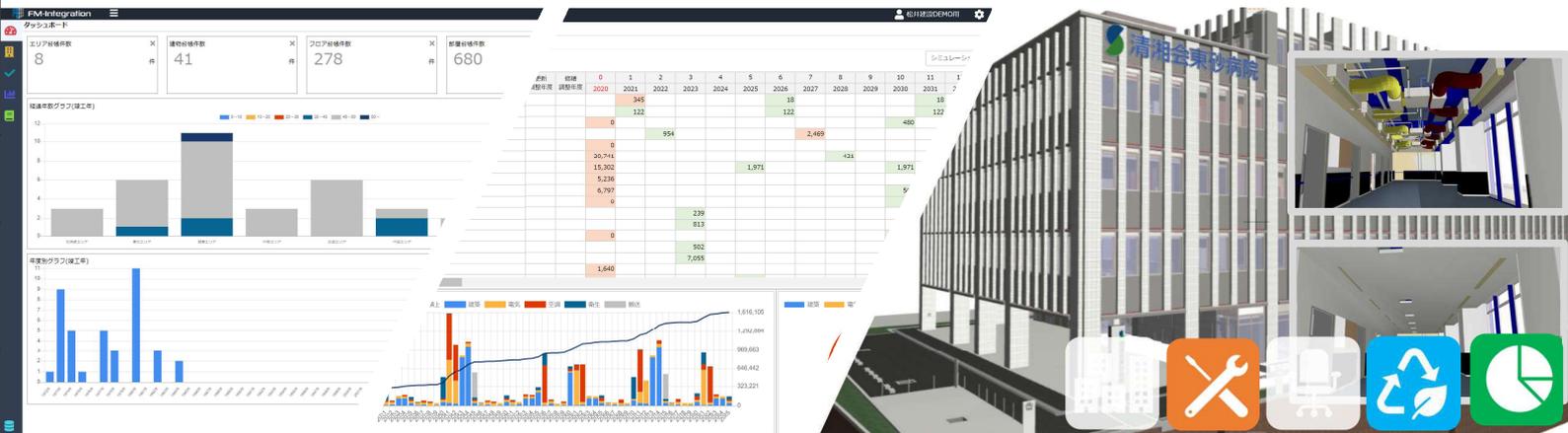
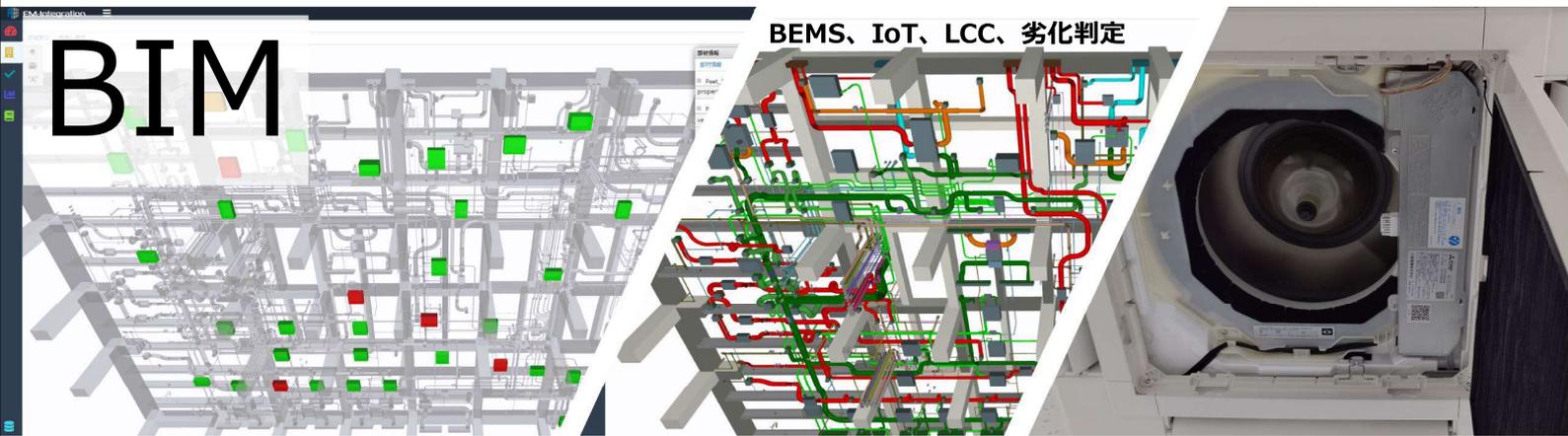


## 2. ライフサイクルでの情報の引き渡し

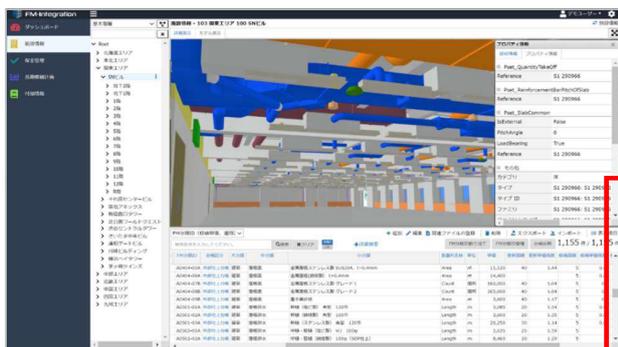


## 3. デジタルハンドオーバー (DHO) の生成

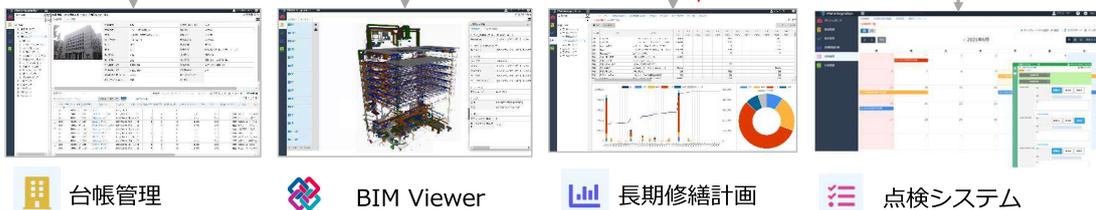




**FM-Integration**



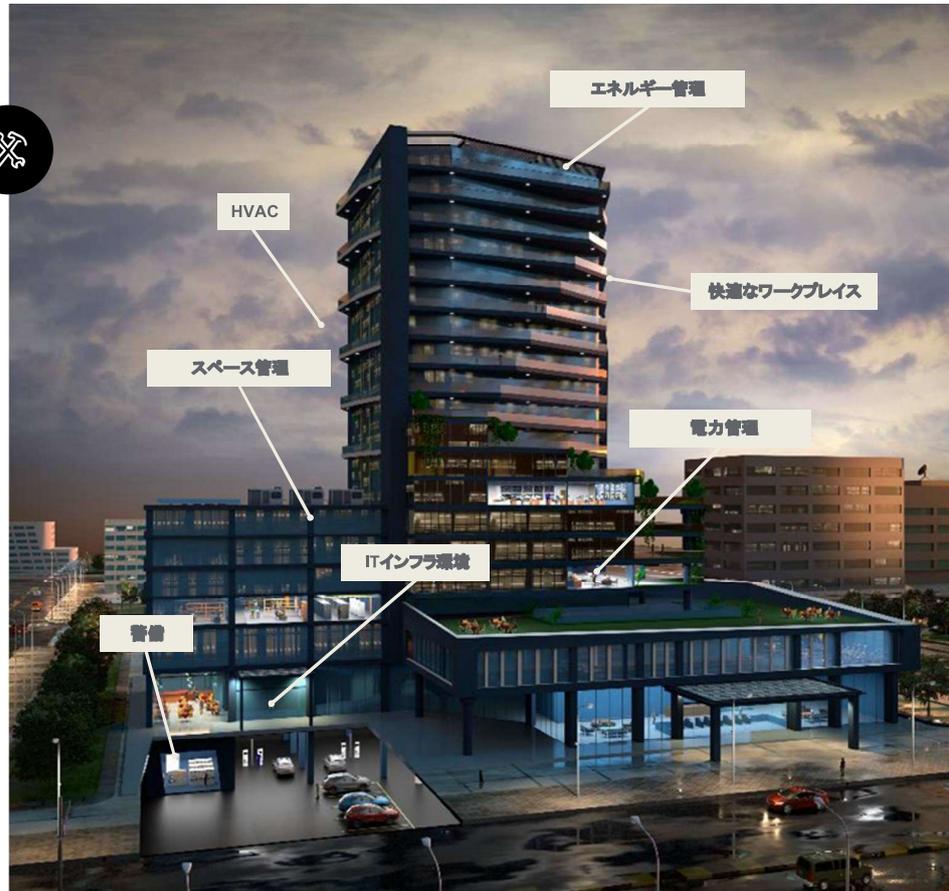
データインポート



# DX

## スマートビルディングによる運用・保守管理

- 電源の状態・品質の監視
- HVACシステム負荷の最適化
- 居住環境と空気質センシングの改善
- ワークスペースの稼働状況の把握
- 太陽光発電とその他のエネルギーをリアルタイムで最適化
- ダウンタイムを最小化するための予測分析の活用



# CO2

## ISO/TS23764

「非住宅用ゼロエネルギー建築物（ZEB）達成のための方法論」

### 6つの要素

- ① 計画段階ではZEB Ready→Nealy ZEB→net ZEBという3 stepで実現
- ② デザイン段階では材料や機械を国際標準、ローカル標準にできるだけ合わせる。
- ③ 建設段階ではデザイン段階で決めた材料や機械を選定する。
- ④ デザイン段階で決めたターゲット値を確認する。
- ⑤ オペレーション段階でデザイン値と実際の値と年間を通して何回も比較し誤差を検証。
- ⑥ 竣工後時々シミュレーションソフトを使って基本的消費量を計算してみる。

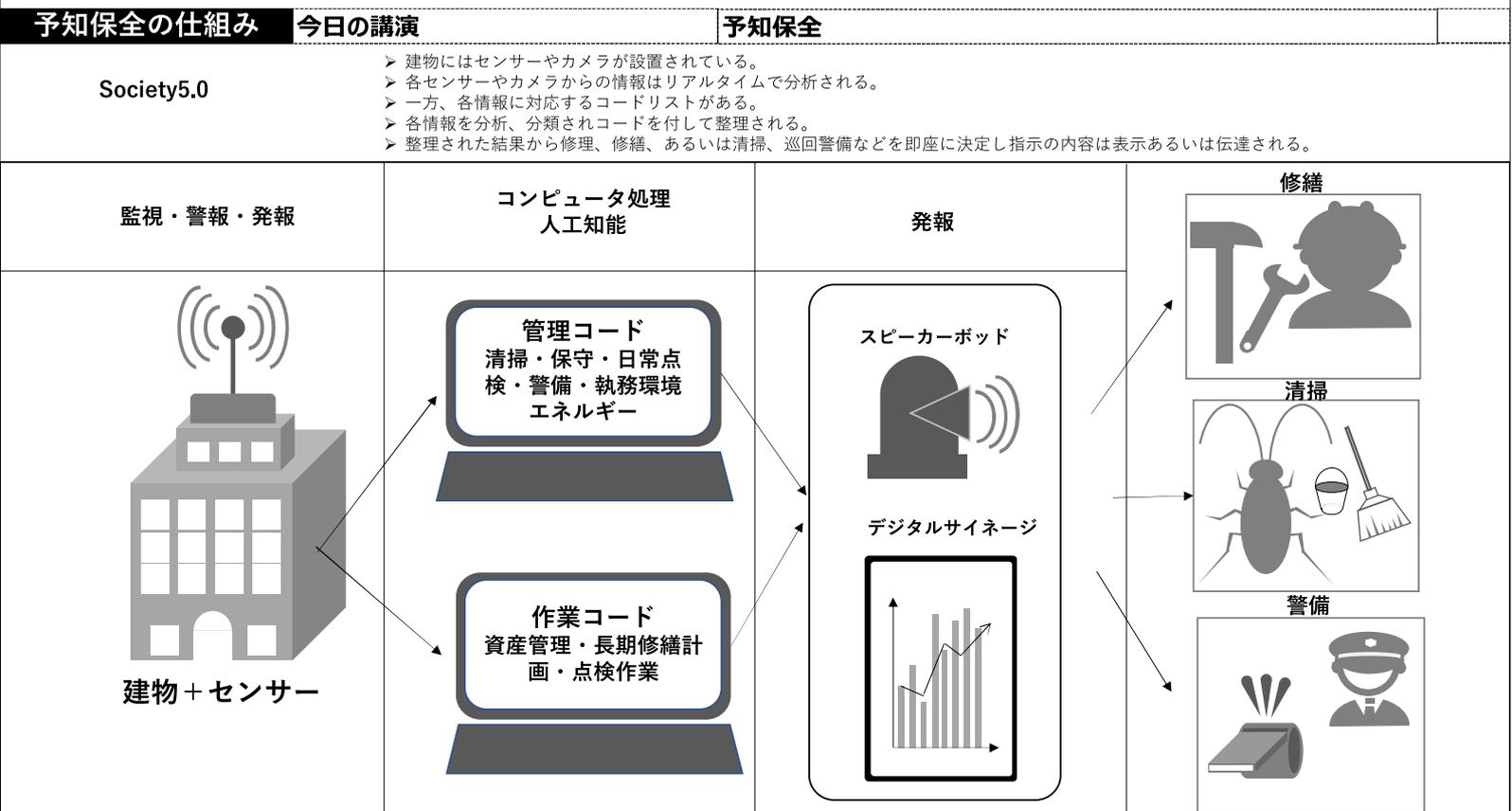
### Six core elements of ISO/TS 23764

#### Methodology for achieving non-residential zero-energy buildings

- ① **At planning stage**, to have clear policy to achieve ZEB by three steps, ZEB Ready → Nearly ZEB → (net) ZEB, but not to achieve it by only one step to (Net) Zero Energy Building.
- ② **At the design stage**, to select proper materials and equipment, which are certified by the domestic standard or international standard, as much as possible.
- ③ **During construction**, to install the selected materials and equipment correctly according to the drawings and specifications.
- ④ **After completion of building**, to realize the energy consumption targeted at the design stage.
- ⑤ **After operation start**, to inspect actual energy consumption continuously (suitable times pre year) whether there is any difference of energy consumption between targeted at design stage and measured at actual operation.
- ⑥ **After completion**, to calculate the primary energy consumption periodically by using simulation software, if possible.

# 目次

- FMシステムの取り組み事例
- 劣化とコンピュータ
- 劣化予知のプロセス
- BIM・IoT・AIの応用例
- まとめ



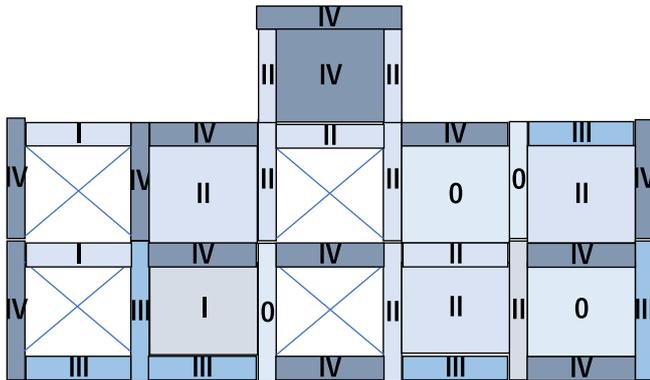
劣化の評価

➤ 建物の劣化は建物全体で評価する時と部分的な箇所の評価とがある

- 建物は部材や機械で構成されている。
- 劣化は不均一に進行する。
- 劣化0、劣化1、劣化2が混在する。

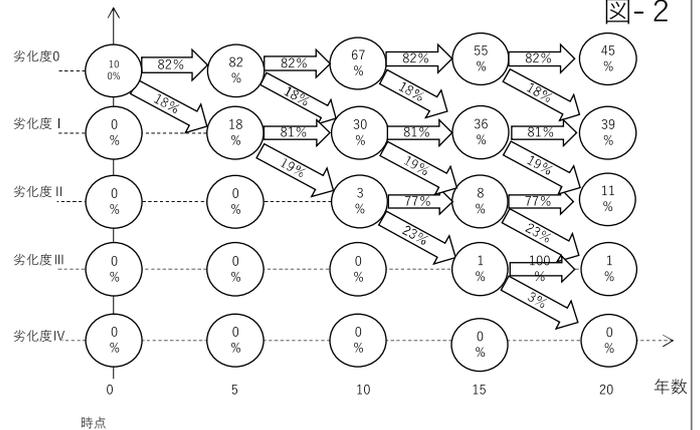
建物構成部材の劣化度図

図-1



劣化度の分布割合図（マルコフ連鎖）

図-2

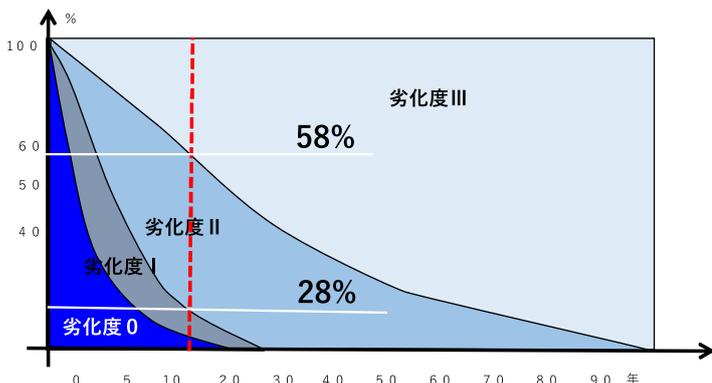


劣化についての話

ポアソン確率過程（ある時間内に起こる確率）

劣化とは時間と共に性能・品質が変化することをいう。

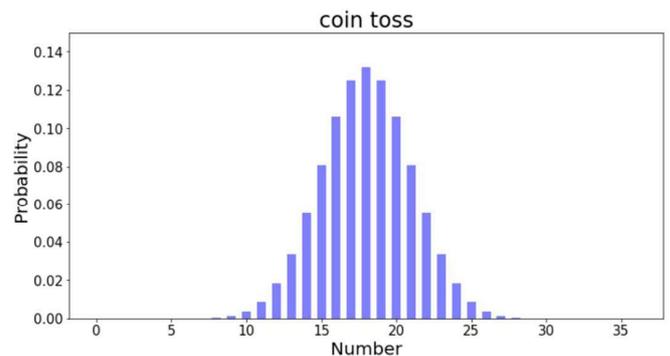
図は建物全体の劣化状態の構成をグラフ化した。各劣化度の機械が機能している割合を示す。横軸は経過年数、縦軸は各状態が占める割合を表す。



二項分布（時間には関係なく事象の起こる確率）

時間に関係なく事象の結果の確立を表現する。

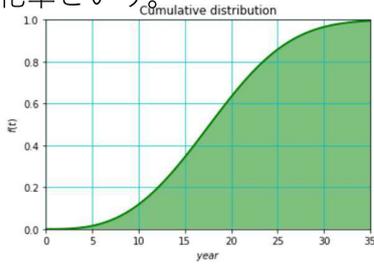
下図は時間に関係なく事象（ことが起こること）が起こる確率を表したグラフである。これはコイン投げのように、時間に関係なく、トス回数のうち表がでる確率を表す。



- 劣化率は劣化状態がどの程度進んだかを表す。
- 残存率は劣化していない状態の割合を表し、更新までの寿命を表す。
- 劣化率と残存率はWeibull分布という統計解析から求まる論理である。
- これらの関数から

劣化状態の分布グラフ

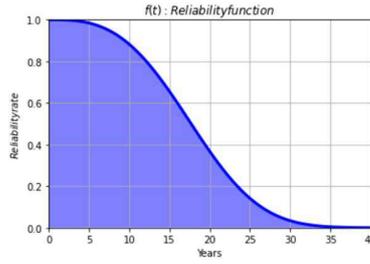
(a)劣化状態は竣工時は新品であるので劣化はしていない。**年が経つに従って劣化状態は増える**。これをグラフで表すと下図になる。縦軸は劣化状態の割合、横軸は経年数である。これを劣化率という。



製品の劣化率（故障確率）を表す曲線を示す

$$\text{劣化率} = \frac{\text{劣化状態にある数}}{\text{対象数}}$$

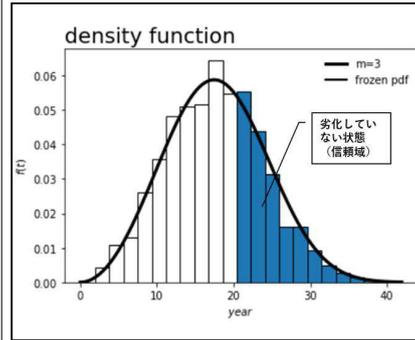
(b)劣化率の逆は残存率と言う。これは劣化していない状態の割合を言う。残存率は劣化率の逆になり、**劣化していない状態が徐々に減少**してゆく割合を言う。この現象は単品では劣化状態の進行で表される。



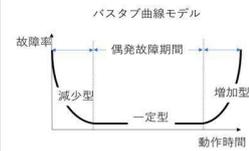
製品の残存率を表す曲線を示す

$$\text{劣化率} = \frac{\text{残存数}}{\text{対象数}}$$

(c)劣化率や残存率の曲線は論理的に述べると **Weibull分布** という確率密度関数から求まるグラフである。確率密度関数の x 軸と曲線で囲まれた面積が劣化率を表す（累積分布関数）。白抜きの棒グラフは劣化状態の確率を表し、0～20年までの面積が劣化した割合で、(a)で20年のところでは約60%が劣化していると表される。青の棒グラフは劣化していない状態を表し、(b)のグラフの20年を読むと40%ほどある。



製品の劣化率曲線は舟形の**バスタブ曲線**と言われるカーブでわされることが多い。

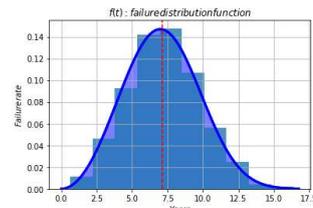


Weibull分布とは

参考文献： A Statistical Distribution Function of Wide Applicability By WALODDI WEIBULL,1 STOCKHOLM, SWEDEN

Weibullは**鎖が切れる確率**を数式で表現した。これが**バスタブ曲線**の元になった。

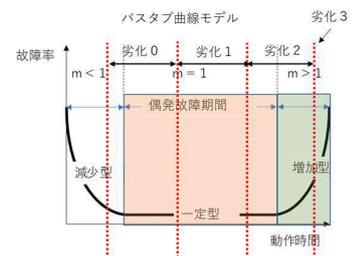
Weibull分布とは鎖がある力で切れる確率を表す数式である。式で書くと  $f(t) = \frac{m}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{m-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^m}$  となる。力が加わる代わりに時間が経つと錆びて切れる。上式をグラフにすると下図になる。



このグラフは横軸に時間を表す。時間が経つと山形が増加する。これは鎖の切れる確率が増加することを意味している。

Weibull分布を変形すると**単位時間の故障率を表す関数**になる。この故障率を表すグラフを時間を追って見ると下図のような曲線になる。設置して初期の期間は故障が多い。これを**初期故障期間**、その後安定しているので**安定期間**（偶発故障期間ともいう）**最後は故障が多発**するので摩耗期間などと称す。

この関数をバスタブの断面の形に似ているのでバスタブ曲線という。



予知保全の仕組み

建物の仕組みと人間の仕組み

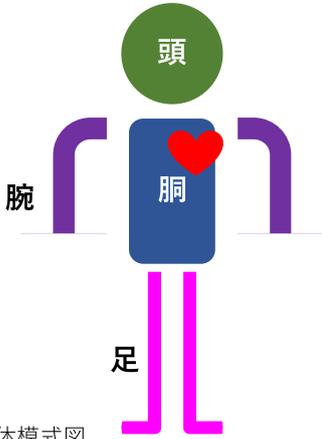
人間も建物も同じような構成である。

人間と建物の比較

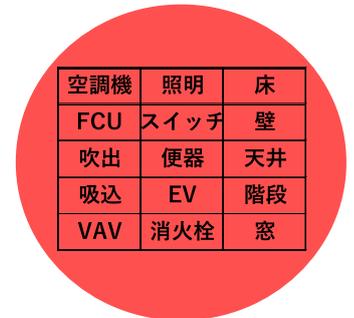
- 人間も建物もそれぞれゾーン、部位などの塊として存在する。
- 部位の中には人間ではいろいろ臓器が格納されている。
- 建物の仲にも機械や部品、部材などが格納されている。

身体は頭、胴、腕、足などの部位がある  
部位には肺、胃、脳、心臓、肝臓、脾臓などたくさんの臓器がある。

建物には執務室、会議室役員室、廊下、玄関、ホール、便所、パイプスペース、階段室など部屋がある。  
部屋には空調機、FCU、吹出し、吸込み、VAV、消火栓、EV、床、壁、天井などがある。



人体には多くの器官や臓器がある



ビルには多くの部位や機械がある

予知保全の仕組み

健康診断と建物点検

センサーによる状態把握と診断

- 人間の健康診断はウェアラブルデバイスの発達により、常時自動把握と適宜健康予測が行われる。
- 建物のIoTセンサーによる劣化診断、故障把握など常時状態把握が可能となる。

人間

健康診断（健康予防）

建物

定期診断（予防保全）

- 年一回の健康診断
- レントゲン、血圧測定、血液検査、採尿検査などによる定期的解析
- 検査装置が大掛かり。
- 検査間隔が長いので、状態変化の把握が不正確

常時診断

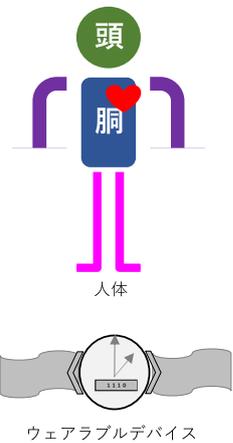
- ウェアラブルデバイスとAIを組み合わせた仕組み。
- 健康の状態監視と健康予測。
- 健康予測による行動メニューの提示
- 常時データ測定・AIの解析による将来予測



- 定期点検による状態把握。
- 目視による劣化判定と進捗測定
- 人による判定のバラツキ。
- 人力によるコスト高
- 点検間隔が長いので、状態変化の把握が不正確
- 点検対象の整理区分の煩雑さ

常時診断（予知保全）

- **IoTセンサーとAI**の組み合わせ。
- 常時、部位・機械の状態把握
- 常時状態把握による障害予測
- コンピュータ制御による障害認定と修繕手配の自動化



数学的統計理論により検討

- 二項分布
- ベータ分布
- ガンマー分布
- 正規分布
- ポアソン分布
- 逆ポアソン分布
- ワイブル分布

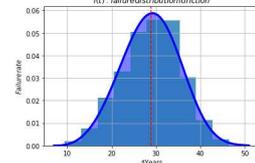
AIにより検討

- 線形回帰
- ロジスティック回帰
- サポートベクトルマシン
- 決定木・ランダムフォレスト
- ナイーブベイズ
- ニューラルネットワーク (深層学習)
- PCA(Principal Component Analysis)
- LSA(Latent Semantic Analysis)
- LDA (Latent Dirichlet Allocation)
- K-means(クラスタリングの一種)

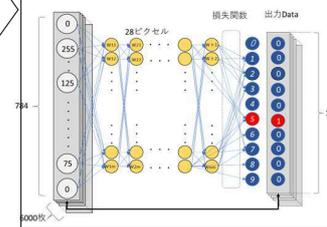
パラメータを決めることで統計モデルを構築する

統計モデルの確率密度関数

$$f(t) = \frac{3.711}{24.172} \left( \frac{t-7}{24.172} \right)^{2.711} e^{-\left( \frac{t-7}{24.172} \right)^{3.711}}$$



たくさんのデータから特徴を抽出し、結果を出す。



## 目次

- FMシステムの取り組み事例
- 劣化とコンピュータ
- 劣化予知のプロセス
- BIM・IoT・AIの応用例
- まとめ

予知保全の仕組み

劣化状態の把握と予防保全の仕組み

定期的な診断が必要

建物の異常把握

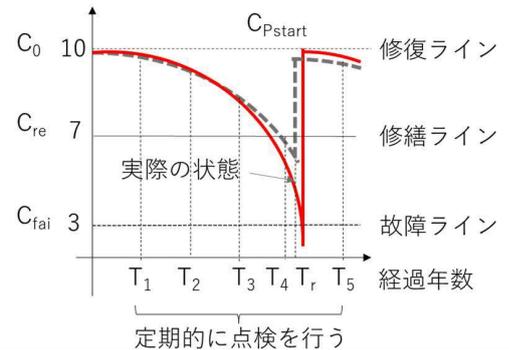
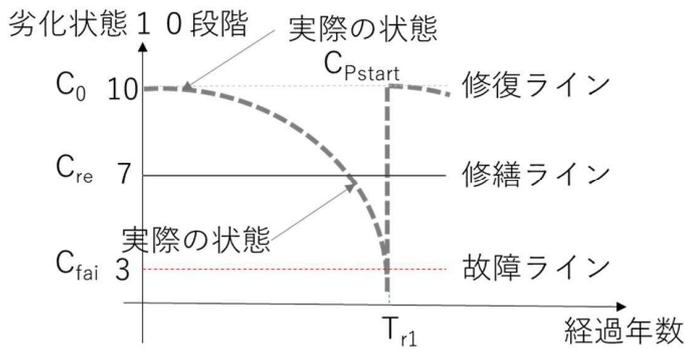
- 劣化進行のモデル、Weibull分布で説明した理論的仕組みで検討する。
- 予防保全の仕組み。定期的に点検をし、故障時期を予測する。

建物の劣化状態

予防保全とは

建物の劣化状態を説明するモデルを示している。縦軸は状態の劣化度を表し、横軸は経年数を表している。劣化状態は10段階で評価するものとし、記号Cで表す。例えば健全な状態はC<sub>0</sub>、修繕しなければならない状態はC<sub>re</sub>、故障状態はC<sub>fai</sub>で表している。通常、劣化の進行は経年と共に灰色破線のように下降し、故障して更新され新品の状態（C<sub>pstart</sub>）へ戻る。劣化分布で述べたように劣化状態が進行してゆく。

予防保全は定期的な点検において、対象の判断をする仕組みである。人間の健康診断は年1回の定期健診であるが、建物も同じ一定期間ごとに点検を行う。予防保全は定期的に点検を行い修繕ラインの付近で劣化状態を検出する。しかし、定期的な点検がタイミングよく修繕ライン近くで行われれば問題はないが、修繕ラインを超え故障ライン近くで劣化状態を把握した場合、更新手配をしている間に故障する可能性がある。また、定期的な点検を行うので、点検費用も掛かる。コストメリットを考慮して予知保全が今後重要な仕組みと言える。



予知保全の仕組み

予知保全の概要

コストメリットが大きい

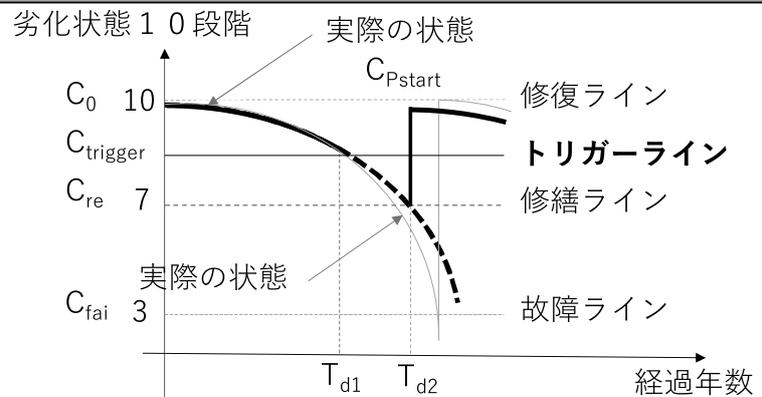
予知保全とは

- 予知保全は人工知能を使って劣化進度を予測する。
- 人工知能は分類や予測をする仕組みである。
- 人工知能の分類はトリガーラインを超えたか超えないか状態を区分する
- 何時頃トリガーラインを超えるか予測する。

予知保全とは、予防保全との違い

予知保全の概念

予防保全の図と異なる点はC<sub>trigger</sub>ラインを付加してある。このラインはトリガーラインと言い、予測する時期を表している。最初の劣化状態は予防保全の図と同じ下降線をたどる。T<sub>d1</sub>で予測を行い劣化下降の曲線を破線のように予測したとすると、T<sub>d2</sub>で修繕時期を超えることになる。その時点で更新すれば、故障が起きる前に修復され、今まで通りの状態で運用される。これが予知保全である。



予防保全と予知保全の違いはコストである。予防保全は故障時期が近づいていてもそうでなくとも定期的な点検を行う必要がある。

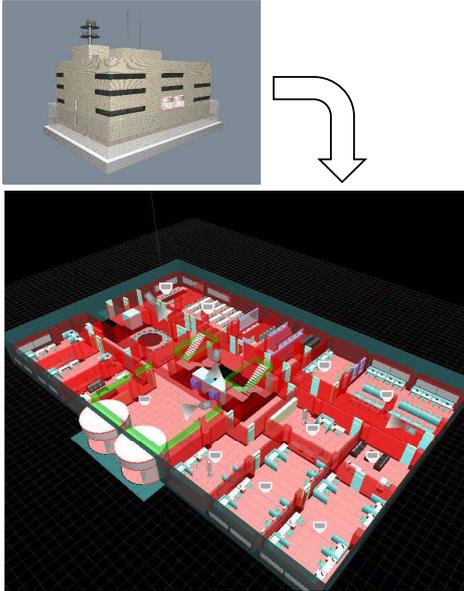
トリガーラインを設置し、劣化進行がトリガーラインを超えるあたりで、劣化進度の予測を行う。

予知保全を行うためには人工知能の仕組みを使うことが一般的である。

センサーや画像による建物の状態把握

- 機械の運転状態をセンサーを通して収集
- 仕上げ部材の劣化状態を画像の分析で判断

BIMデータ

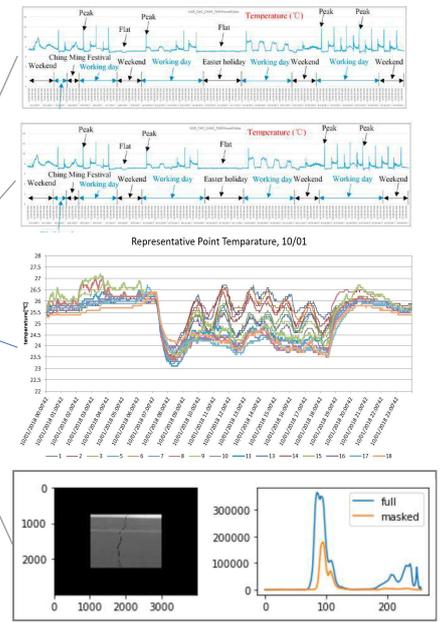


実際の建物から取り込まれた計測データを持つBIMモデル

センサリング項目

- 室内温湿度情報
- 室内風量風速
- 在籍数密度
- Co2濃度
- 衛生環境
- ...
- 空調機運転時間
- 吹出・吸込み温度
- 換気回数
- 外気温湿度
- 天気
- ...
- 仕上げの劣化度
- 部位の損傷

アウトプット



センサー情報の収集の他に点検情報の分析グラフが必要

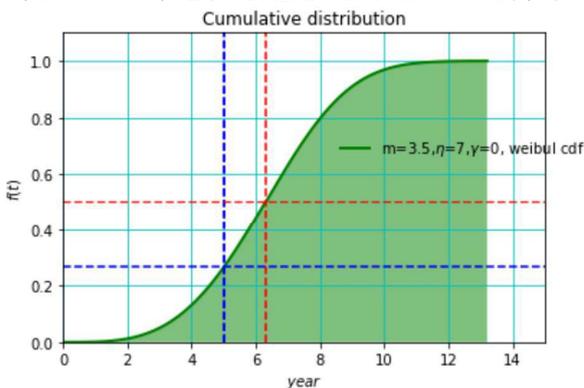
- センサーで把握した異常データが点検情報の分析グラフにより耐用年数のどのあたりの故障か把握する必要がある。

劣化予測位置の特定

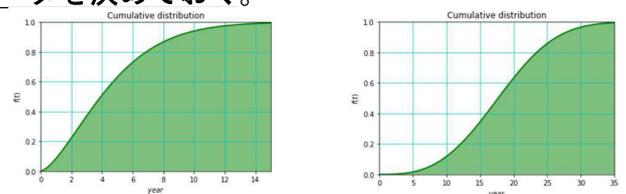
劣化予測の差異

例えば、仕上げ材はWeibull分布に従い徐々に劣化が進む。予知保全として仕上げ材をいつ頃更新するかは劣化3～4の深度で行う。累積分布で言うと50%の信頼性を超えたあたりであり、下記グラフでは赤のラインが50%である。経年数では6年を少し過ぎたあたりが更新時期だ。

設備機械はたくさんの部品で構成されている。鎖で言うなら一つひとつの輪がそれぞれの部品ということになる。これらが一つでも故障する確率はやはりweibull分布で計算すると良く合う。鎖は引っ張る力の増加により切れるが、機械は運転時間が増えれば故障しやすくなる。力が増加する代わりに運転時間が長くなる。**故障する確率は同じWeibull分布**の論理になる。設備機械は置かれた場所や使い方により特性がある。あらかじめ点検をし、その結果でWeibull分布の**パラメータを決めておく**。



上図では現在は青線（5年）で示す。



上図は空調機のWeibullの累積関数である。同じ設備でも置かれた環境で耐用年数が変わることを示す。つまりパラメータが異なる。

予知保全の仕組み

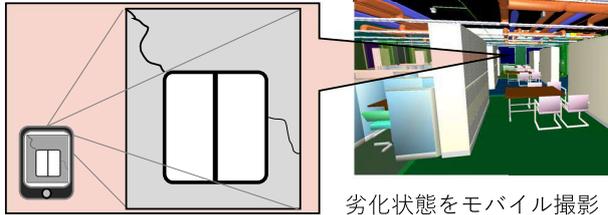
仕上材などの劣化判定の説明

仕上材の劣化判定と更新時期予測

- 収集した画像を状態別に分類する
- 分類された状態を劣化進度別に分類する
- 劣化進度別に区分された状態が経年数を考慮して更新時期を予測する

区分フェーズ

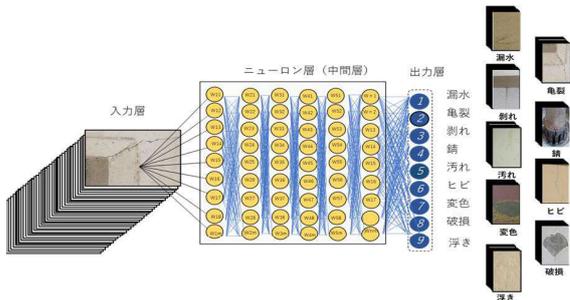
室内の壁と窓を撮影し写真画像の位置情報をBIMから取得



劣化状態をモバイル撮影

AIを使い膨大な画像を状態別に分類

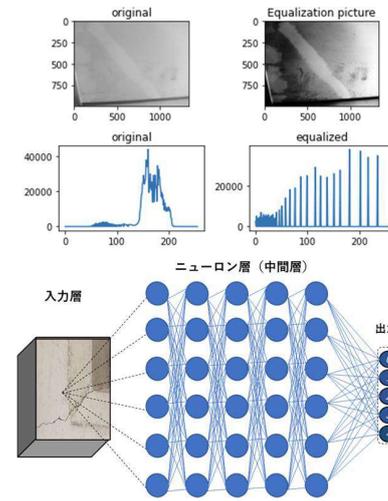
例として漏水、亀裂、剥れ、錆、汚れ、ヒビ、変色、破損、浮きなど



評価フェーズ

劣化状態の進度を特定する

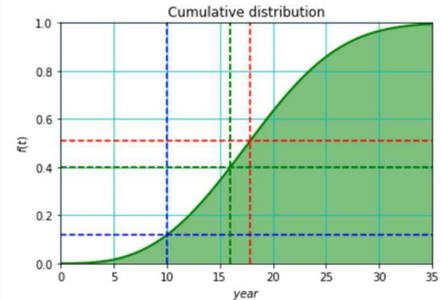
状態別に分類された写真から、劣化の進み具合を判定する。



予測フェーズ

画像の劣化進度から更新時期を予測

劣化進度別に分類された対象の経年数を調べあらかじめ学習して置いたWeibull関数の累積分布を使って更新時期を予測する。



ヒビを映した画像の進度が1だとする。その対象の経年数が12年とすると、更新時期（赤い点線）は18年であるから6年後に更新時期を迎える。

予知保全の仕組み

設備の場合の予知

設備機器に設置されたセンサーやBIMの属性データを使う

設備機器の予知保全の仕組み

- 設備にはたくさんのセンサーが取り付けられている。これらのセンサーからある一定期間の定常状態の情報を取得する。
- センサー情報はCSV等で取得されると測定対象がたくさんあるので分からない。したがって、BIMをとおして測定対象の特定をする。
- システムを構成している機器の異常情報はAIなどによる分類によって特定する。

入力情報

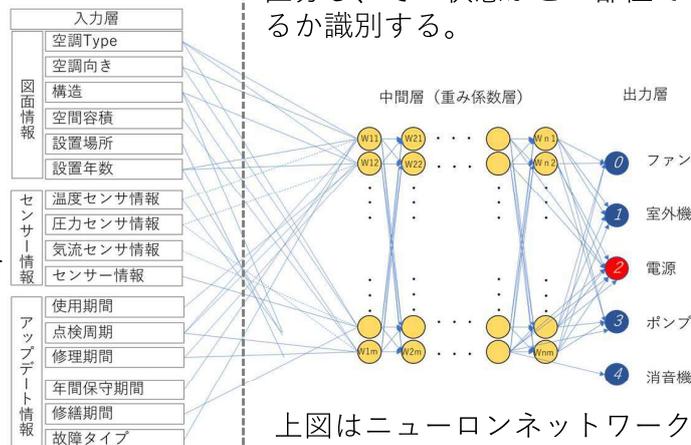
図面情報

数か月のデータ収集例

アップデート情報：異常値

情報分類

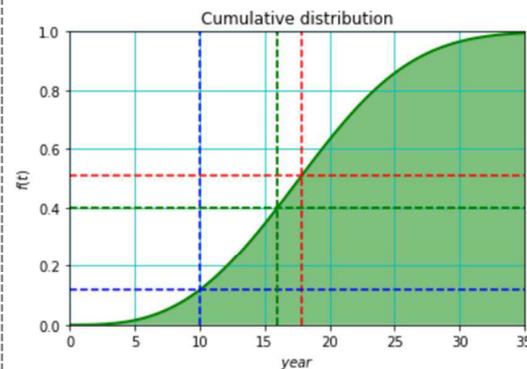
情報分類は通常状態か異常状態か区分し、その状態がどの部位であるか識別する。



上図はニューロンネットワークで説明しているが、SVM（サポートベクトルマシン）かRF（ランダムフォレスト）などの人工知能を使ってもよい。

更新予測

異常状態の区分された内容は偶発状態か稼働限界の摩耗期か時期を特定し、更新か修理か判断する。



# 目次

- FMシステムの取り組み事例
- 劣化とコンピュータ
- 劣化予知のプロセス
- **BIM・IoT・AIの応用例**
- まとめ

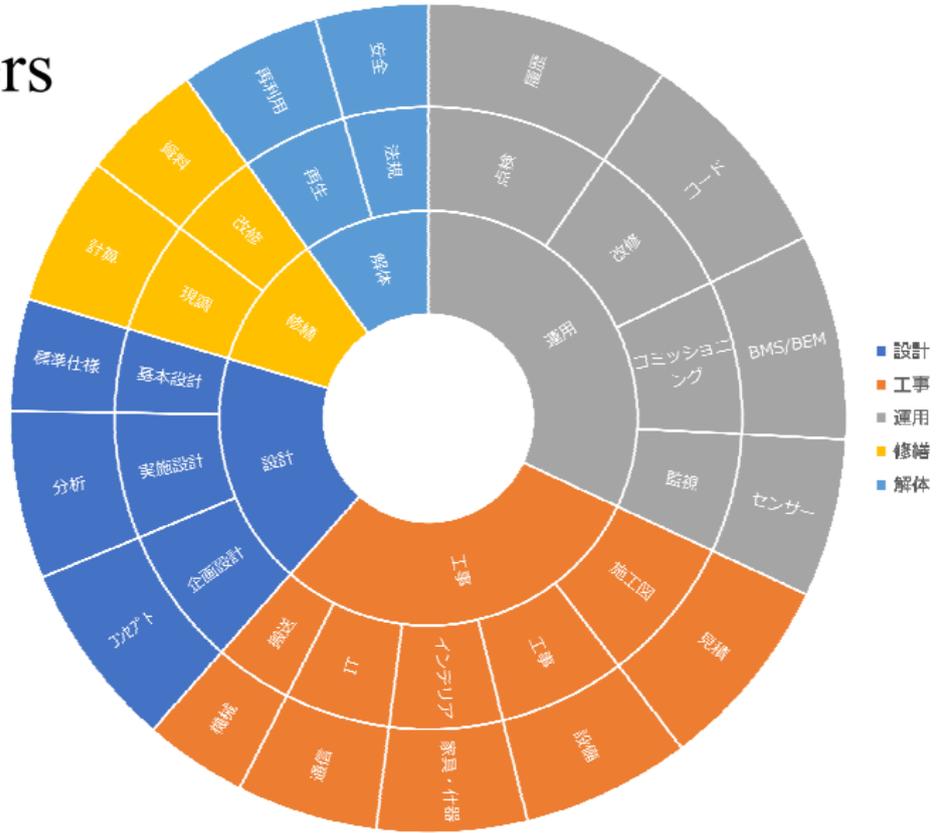
施設に関する  
ステークホルダー



# Professional Partners

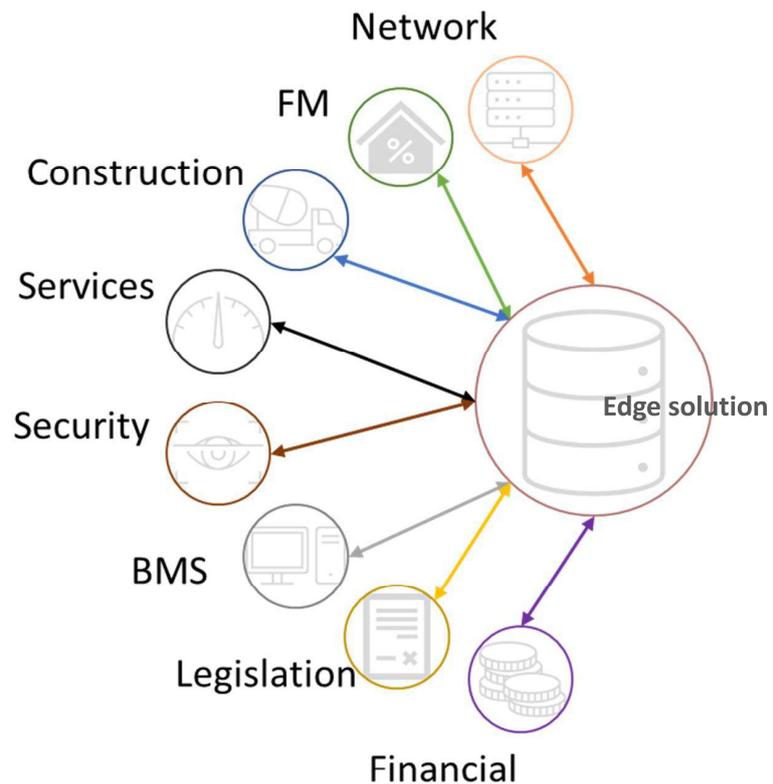
- 建物のライフサイクルを通じて、さまざまなステークホルダーが建物の機能を高めるために関与しています。
- 設計前の段階から解体まで、建物の性能を最大限に引き出すために、多くのアクション、プロセス、ソリューション、技術、サービスが実行されます。

Main Partners of Building Sector



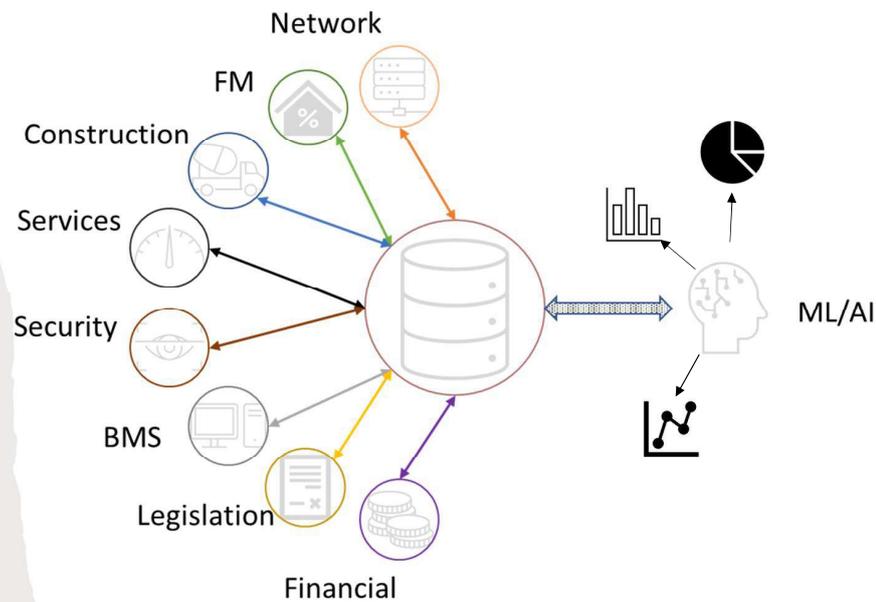
## Proposed Concept

- 共通言語/プロトコルを使用したエッジクラウドシステムに建物のデータを格納すること。
- すべての関係者からのデータ・情報への迅速、堅牢、スムーズなアクセスを強化する。
- このイニシアチブをすべての新築ビルと既存のビルに可能な限り展開する。



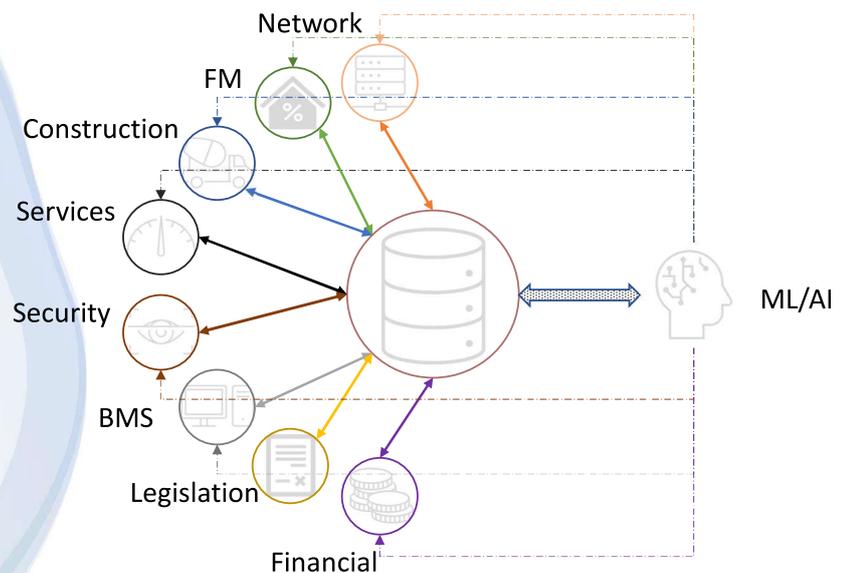
# Using AI/Machine Learning

- エッジソリューションと効果的な統合により、外部システムからのスムーズで容易なアクセスにより、AIや機械学習などの高度なソリューションの活用を促進します。
- AI/MLを活用することで、強力なデータマイニングと高速な分析が可能になります。



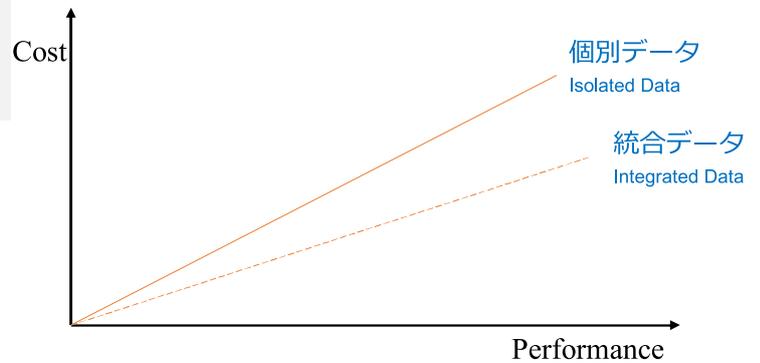
## Future Solution

- 自律的なソリューションの時代には、自己管理、制御、意思決定のためにAI/MLを活用することが可能です。
- データ統合とエッジソリューションの期待される成果は、建物のすべての用途と職種に適用することができます。



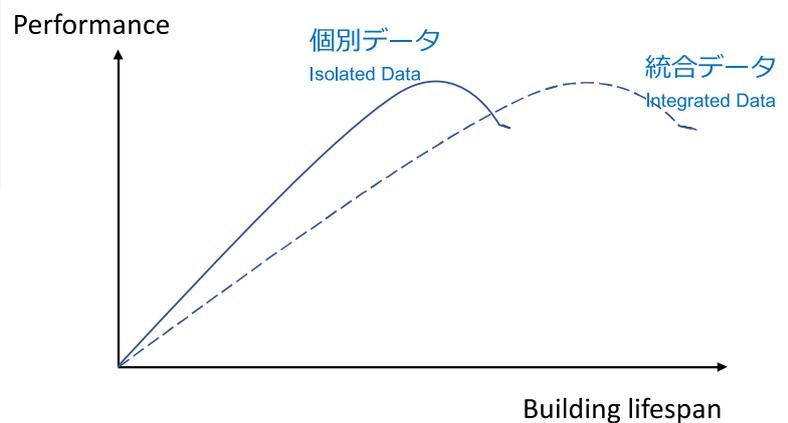
# Building's Performance

- 建物の総合性能は、建物内の各機能、アプリケーション、プロセス、ソリューションの性能の総和である。
- 個別に高い性能を確保しようとすると、全体の統合を達成することなく総コストが増大する。
- したがって、すべてのパートナーが協力することで、より低いコストで建物の最高の性能を向上させることができます。



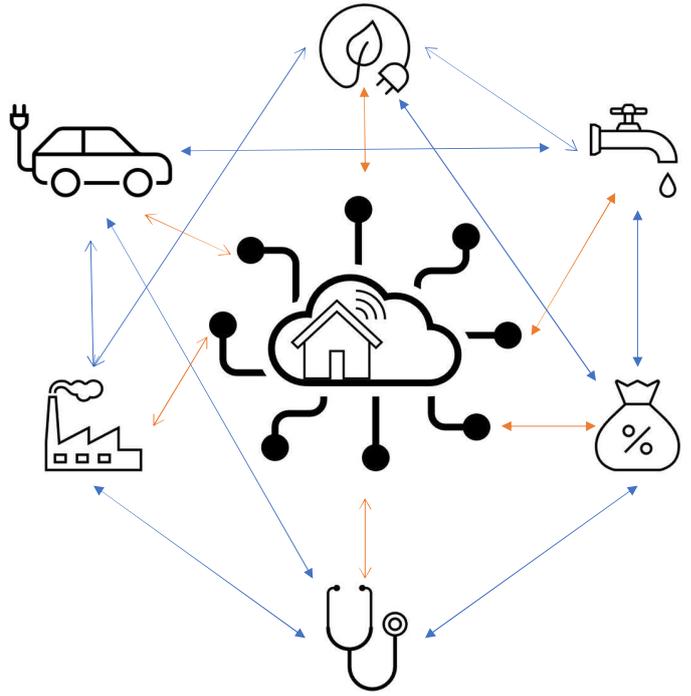
# Building's Performance

- このことは、建物の寿命全体に対する性能という点でも同じことが言える。
- 完璧な統合は、高性能な建物の寿命を延ばすことになるのです。



# Vision of Society 5.0

- エッジソリューションを使って、ビルすべてのプレイヤーから効率的にデータを統合することで、統合された資産を生み出すことができます。
- この統合された資産（建物）は、ローカルまたは地域スケールの他のスマート/統合されたシステムと接続する高い能力を備えています。

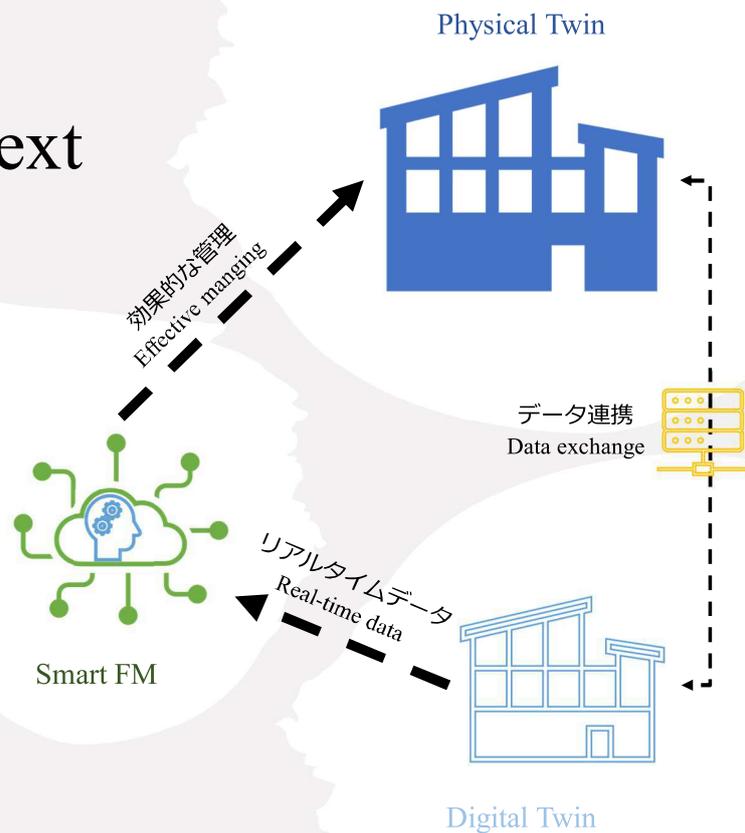


# FM within Society 5.0 context ～Society 5.0におけるFMの位置づけ～

- "スマートFMとは、技術、人、プロセスを統合し、コミュニケーションの改善、応答時間の短縮、コストとマンパワーの削減、そしてより重要な生産性の向上を実現することです。"

\*Tony Khoo, President, Singapore International Facility Management Association (SIFMA)

- Society 5.0の文脈では、スマートFMは上記の定義を表し、施設のライフサイクルにおけるすべてのプロセスや機能をカバーします。
- 効率的で信頼性の高いデータ交換は、生産性、コスト、環境、耐久性の面で施設のパフォーマンスを最大化します。



## まとめ

- FMシステムの取り組み事例
- 劣化とコンピュータ
- 劣化予知のプロセス
- BIM・IoT・AIの応用例