





業務シナリオセッションA

IVIシンポジウム2019-Spring

我々は大量なセンサとデータに埋もれていくのか？

2019年3月15日

# 設備故障予知におけるリスクと損失に 基づく意思決定の見える化

- |  |            |        |                    |
|--|------------|--------|--------------------|
|  河田 健一   | ダイキン工業 (株) | 片根 敦   | (株) 日立産業制御ソリューションズ |
|  梅原 淳二   | 日本ユニシス (株) | 谷山 勝俊  | シスコシステムズ合同会社       |
|  松井 貴男  | (株) ニコン    | 浜野 克久  | 日東電工 (株)           |
|  高橋 伸充 | (株) アーレスティ | 浅井 宏一  | (株) アーレスティ         |
| 呉 仕強   | 華為技術日本 (株) | 天沼 光太郎 | アルティープ (株)         |

IoT、AIの進化により、モノづくりの現場における設備予知保全が実用レベル



当初目指したのは・・・

設備総合稼働率の向上

ゼロダウンタイム

改めて現場の困りごとの棚卸し

- どんなに手を尽くしても、突発故障は避けられない
- 投資対効果を見たときに予知保全がベストな選択でない場合も多い
- 予知保全を導入したとして、生産を止める判断が実際にできるのか疑問

参考：保全方法の分類

予防保全

予知保全（状態基準保全）

定期保全（時間基準保全）

事後保全

緊急事後保全（想定外の故障に対する後追いの保全）

計画事後保全（あらかじめ壊れるまで使うことを想定した保全）



## 予知保全の導入時

- ・**潜在するリスク**は、どこにあって、どれくらいの重要度？
- ・導入したときの**改善効果**としてリスクがどの程度軽減されるか？

Before, After の  
比較ができない

予知保全を試行、導入できず  
現状を変えられない。

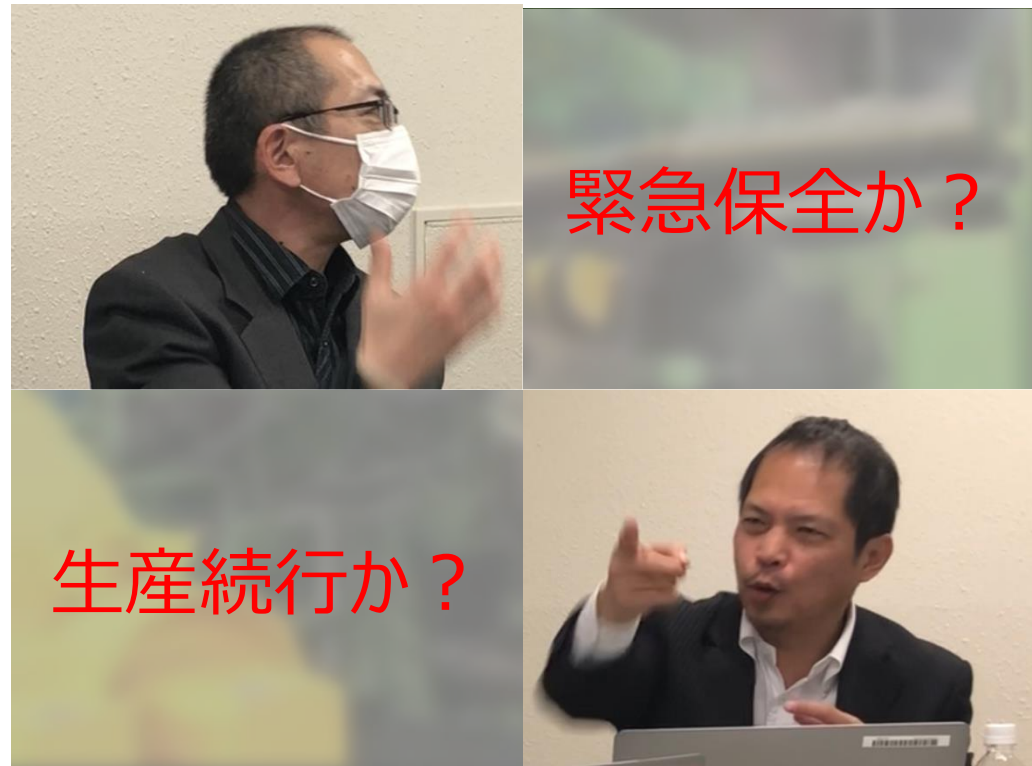


## 予知保全の運用時

- ・故障が予知されたときにどう行動するのがベストか？
- ・保全作業を入れたときの効果と放置したときリスクは？

To do, Not to do の  
比較ができない

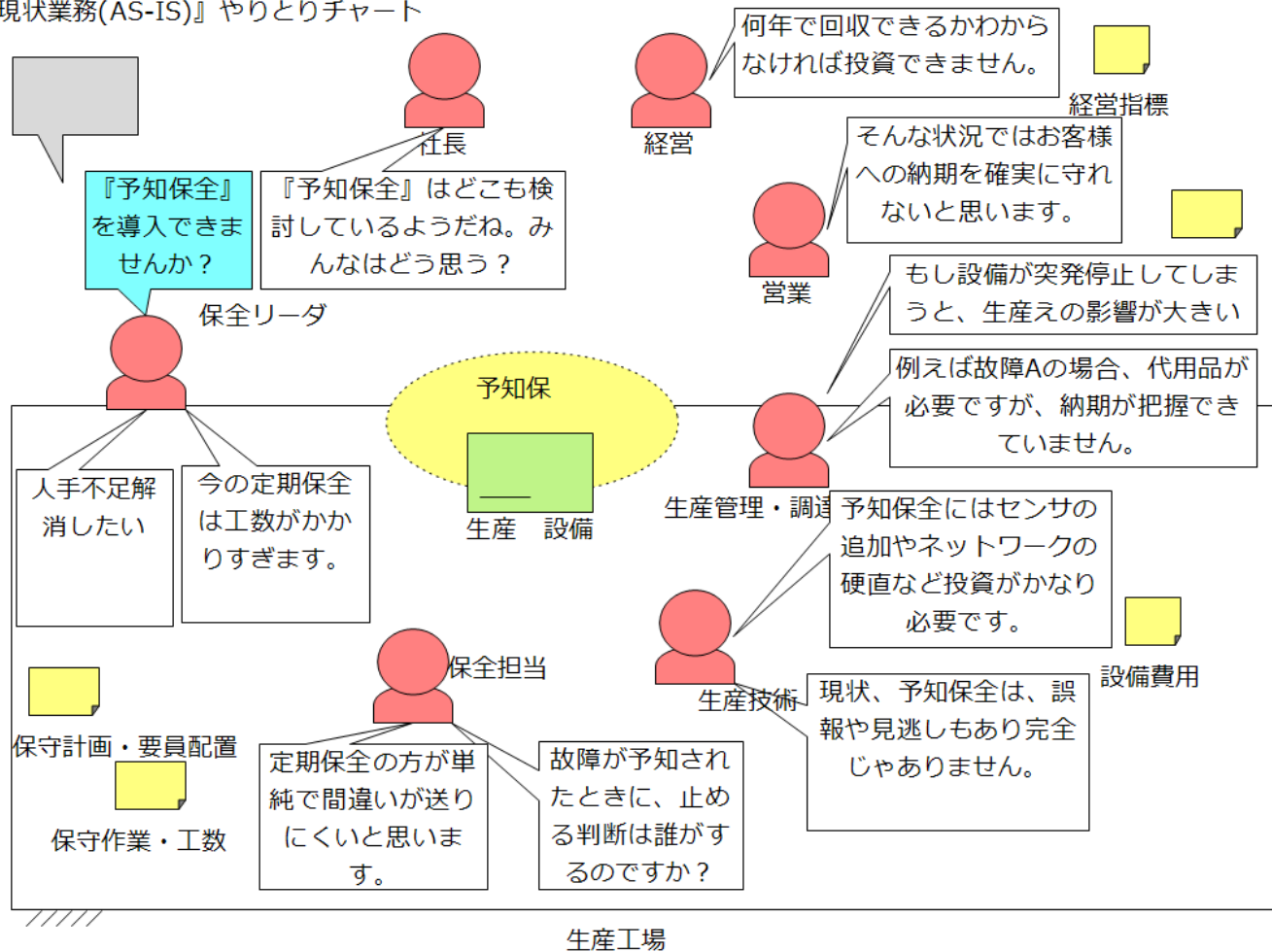
営業部門、保全部門間で、  
合意形成できない。



# 課題の分析 やりとりチャート(AS-IS)

ありそうな場面を想定し、各々の主張を整理することで、困りごと、課題を抽出  
各部門からの主張は相反することが多く、全員の合意が得られない、意思決定ができない

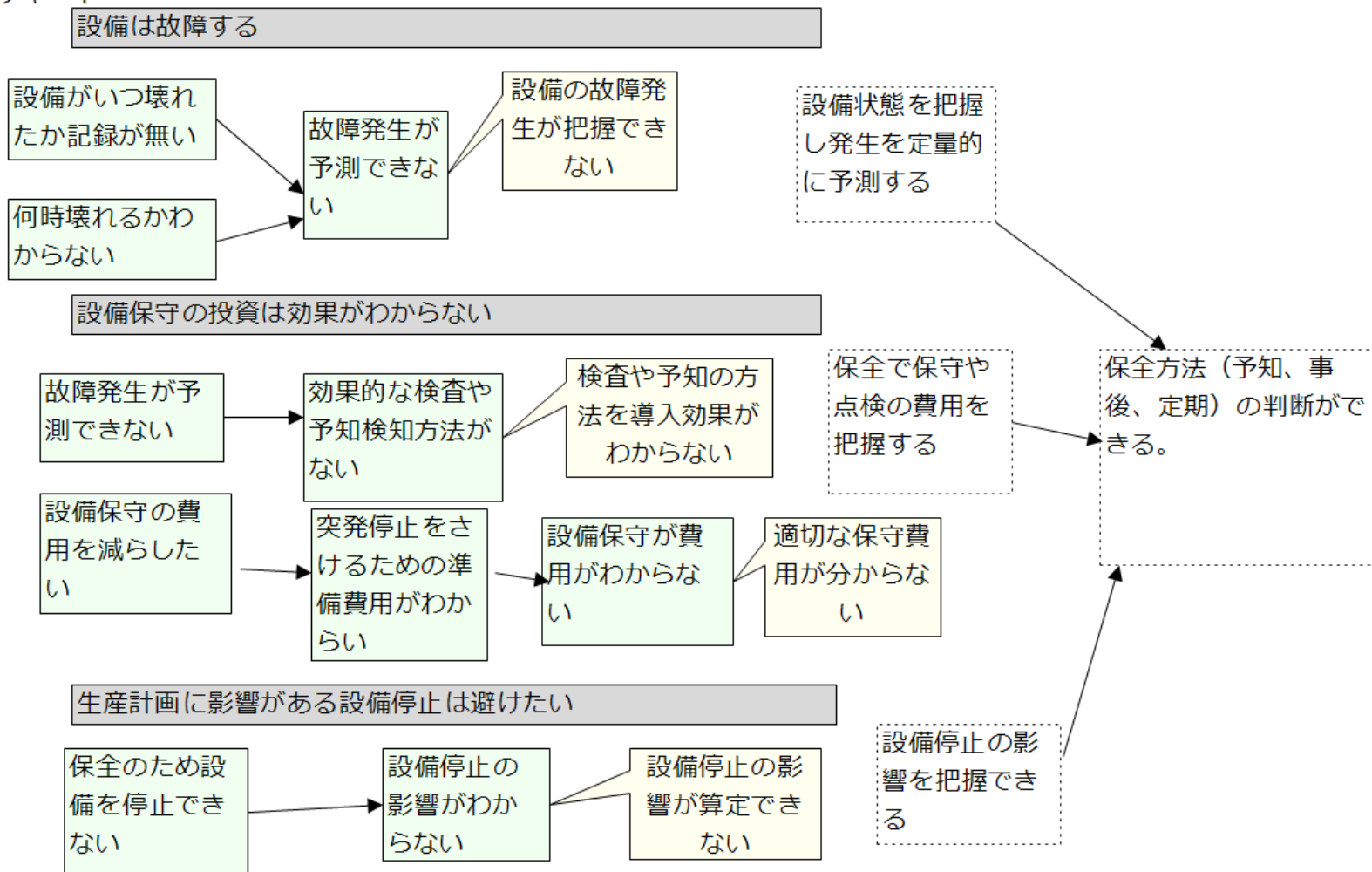
『現状業務(AS-IS)』やりとりチャート



# 課題の分析② なぜなぜチャート

予知保全導入・運用においては、「設備の故障リスク」、「発生したときの経営的な損失」、「損失回避の効果」を見える化し意思決定をスムーズに行える環境を整えることが重要

なぜなぜチャート

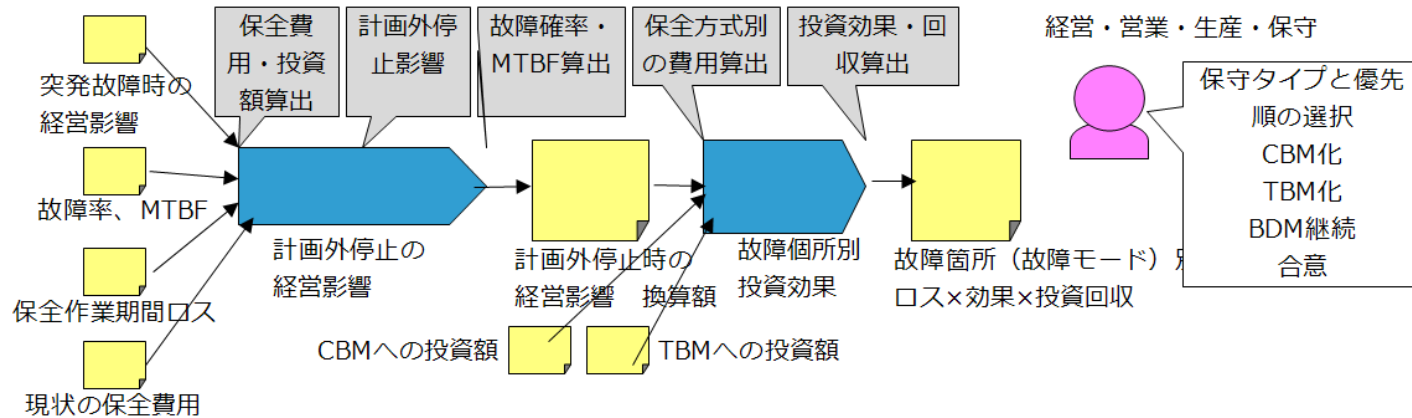


# 目指す姿② ロジックチャート

ワーキング前半にロジックを一旦完成させた  
後半では、このロジックが機能するかを実際の故障事例を用いてケーススタディー

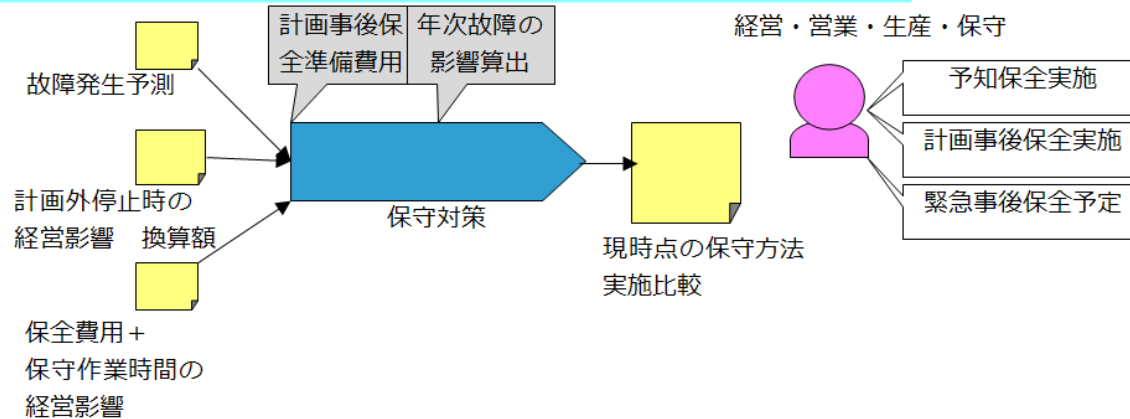
ロジックチャート

## ① 保全方式の決定ロジック



ロジックチャート

## ② CBM (予知保全) 運用時の対策実施判断ロジック





## ケーススタディーのステップ、目標

### STEP1

実際の生産ライン、実際に発生している故障について  
現状把握、分析、あるべき姿を明確化

### STEP2

意思決定には **何をどのように「見える化」すればよいのか？**  
そのプロセスを **見える化システム** (イメージ) として具現化



意思決定に必要な情報は、業種ごとに様々であり、**汎用的なロジックの構築**は難しいため、まず特定ケースでの見える化を目標  
**具体例で有効性を検証**できれば、各業種ごとにアレンジする際に  
ひな形となる「**考え方のプロセスの確立**」を目指す





# ■ ケーススタディー実施場所

本WGメンバーの（株）アーレスティ高橋様にご協力いただき、実際の生産現場における設備故障に関連する課題をヒアリング。



高橋さん

<（株）アーレスティ様概要>

エンジンブロック、トランスミッションケースなどのアルミダイカスト製品を生産し、おもに自動車メーカーに供給

ダイカストマシンを多数所有  
予知保全導入の検討中



（株）アーレスティ本社  
所在地：愛知県豊橋市

頻度は低いが、長時間のライン停止になる故障が経営的に大きな課題

- 例：（１）ダイカストマシンの重要構造部品が金属疲労にて破断
- （２）ロボットの信号ケーブルの断線

特に（１）を最重要視

- ・同一設備 1 1 台中 3 回発生
- ・ダウンタイムが最悪 2 カ月  
（金額換算で4000万円）
- ・補用部品の製作費400万円

ダイカストマシン



# ■ 本故障の4つの特性と現場の声



- (1) 発生頻度がごく稀だが、発生すれば大きな損失
  - ・効果を把握には長期化を要するが、まず**何らかの対策**を講じたい
- (2) サンプル数が少なく故障リスクの定量化が困難
  - ・**誤差が大きくても、まず何らかの故障リスクの定量化**を行いたい
- (3) 景気変動や納入先の状況により、生産数、稼働率などが変化
  - ・**何年先まで**を考えて対策するのかを、適切に判断する必要
- (4) 故障による損失額、予知保全などの費用は状況によって変化する
  - ・生産復旧までの時間は、**代用部品の新作**には2ヶ月、**代替設備がある場合、中古部品が入手可能な場合**など 0.5～1ヶ月
  - ・設備停止時の時間当たりロス額（設備故障、点検、整備）は、生産品目、設備稼働率で変化

注：以降のページでは具体的数値は課題検討・評価に支障のない範囲で仮想のデータに置き換えています



## (1) 効果を把握するのに長期化を要するが、まず**何らかの対策**を講じたい

3つの視点で検討中

### 【① 予防的措置】

4本ある部材の伸びを測定し  
定期的にバランス調整  
・・・効果把握には時間を要す



### 【② 予知保全の導入 (CBM化)】



超音波診断を導入し、欠陥が見つかった段階で代替部品を発注し交換  
・・・診断にはライン停止が伴うため、**故障リスクが高くなる**まで実施したくない。また診断の間隔は極力長くしたい（当面は年1回）

### 【③ 定期保全 (TBM化)、計画事後保全】

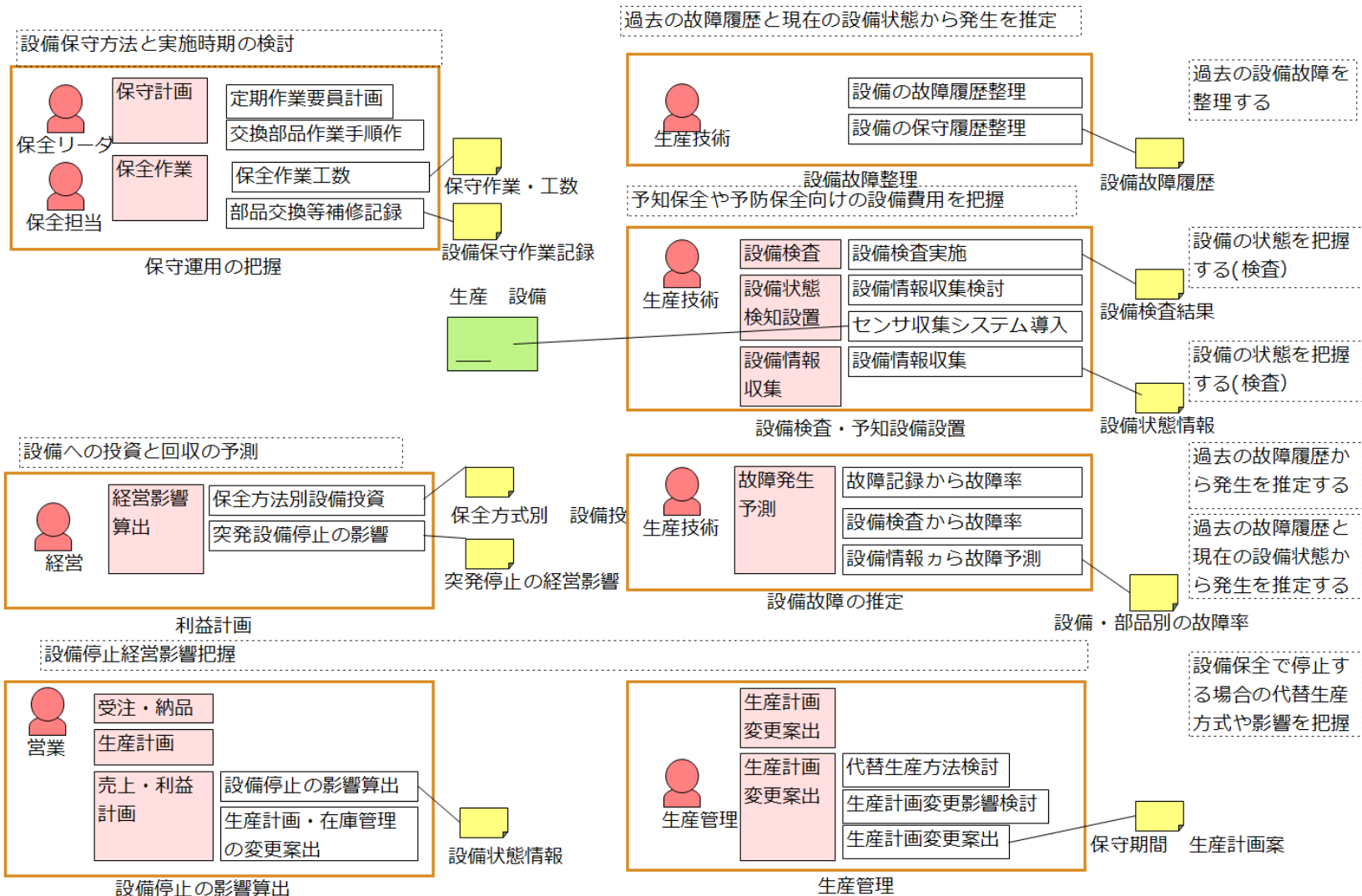


ある時期を基準に交換、または、代替部品を製作しておく  
・・・代替部品製作には、多大な費用（400万円）がかかる、  
保管に費用がかかるなど、**判断の根拠を明確**にする必要

# 目指す姿① 活動展開チャート

活動展開チャート

各部門の守備範囲を明確にし、課題解決のための必要な行動、情報を整理



## (2) 多少誤差が大きくても、何らかの故障リスクの定量化を行いたい

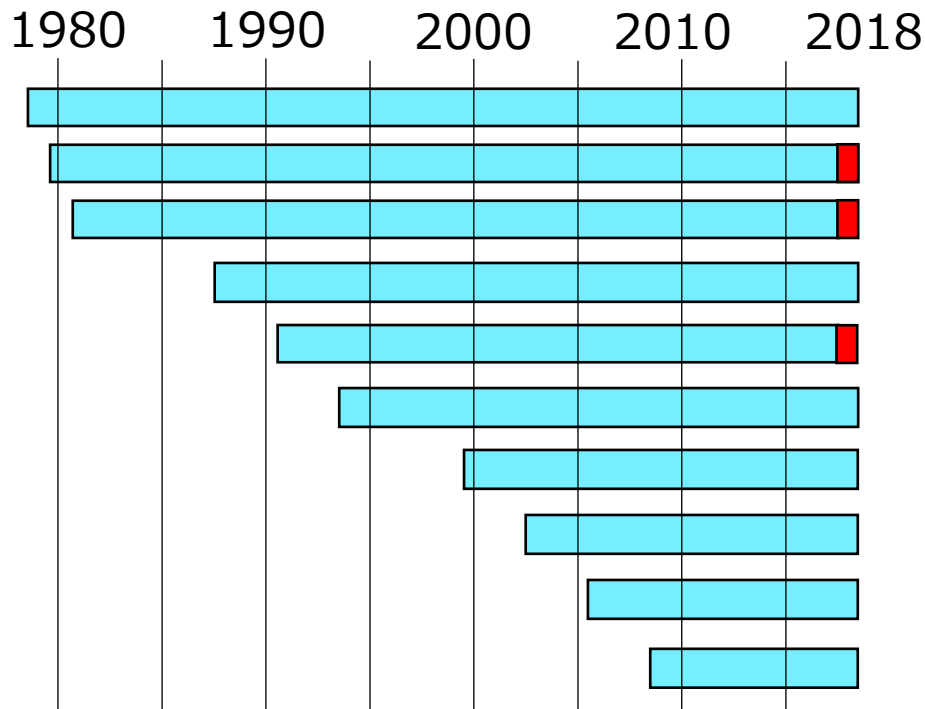
同一設備 10 台 (稼働開始時期は 10 年前～ 40 年前で大きな幅を持つ)  
 故障発生 3 台 → 39 年目、38 年目、28 年目 (最近立て続けに発生)

未故障で稼働している実績を加味し、稼働開始からの時間と故障率を関数で近似

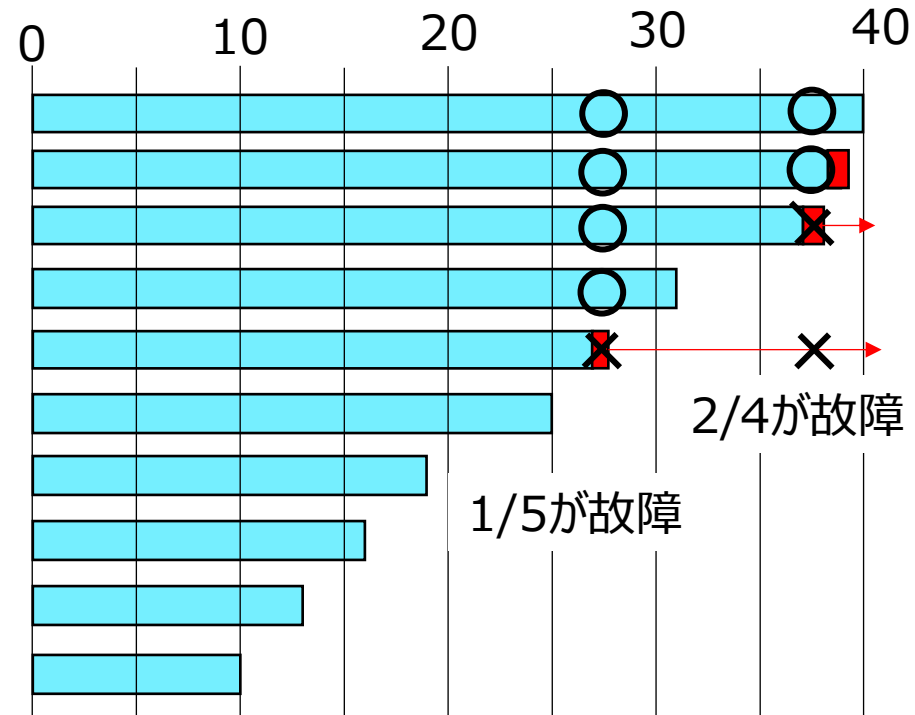
稼働開始から現時点までの状況

■ 赤は故障発生

現時点



稼働開始からの時間に置き換え



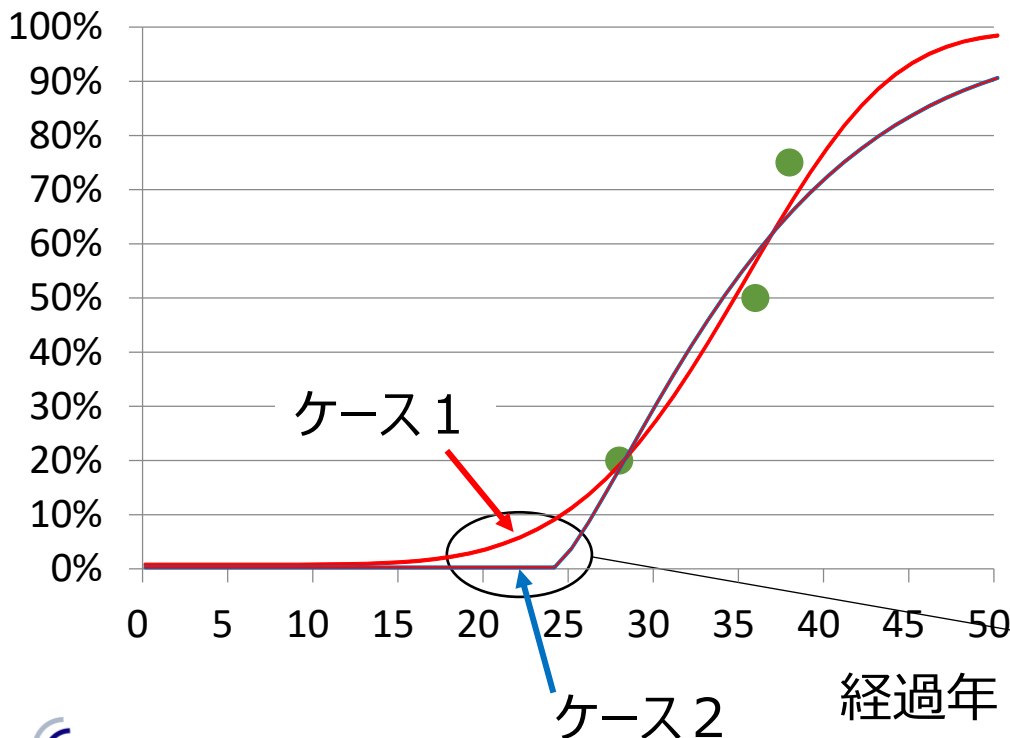


本WGは、信頼性工学を深く掘り下げるのが目的ではないため単純なモデルを使用（※1）

ケース1：なだらかに確率が増加  
（バラツキが大きい設定）

ケース2：ある時期から直線的に増加

経過年／累積故障率の関数



（※1：参考）ワイブル累積分布関数  
累積故障率が、ある時期から上昇し1に収束する関数で、信頼性工学で一般的に使用されている  
 $f(t) = 1 - \exp[-\{(t-\gamma)/\eta\}^m]$   
ここで  $m$ :形状パラメータ、 $\eta$ :尺度パラメータ  
 $\gamma$ :位置パラメータ（保証期間に相当）  
 $\log\{\log(1/f(t))\} = m \log(t-\gamma) - m \log(\eta)$   
と書き換えることができるので、  
 $\gamma$ :位置パラメータを決め、 $x = \log(t-\gamma)$  ,  
 $y = \log\{\log(1/f(t))\}$  をプロットし直線近似すれば  
 $m, \eta$  を求めることができる

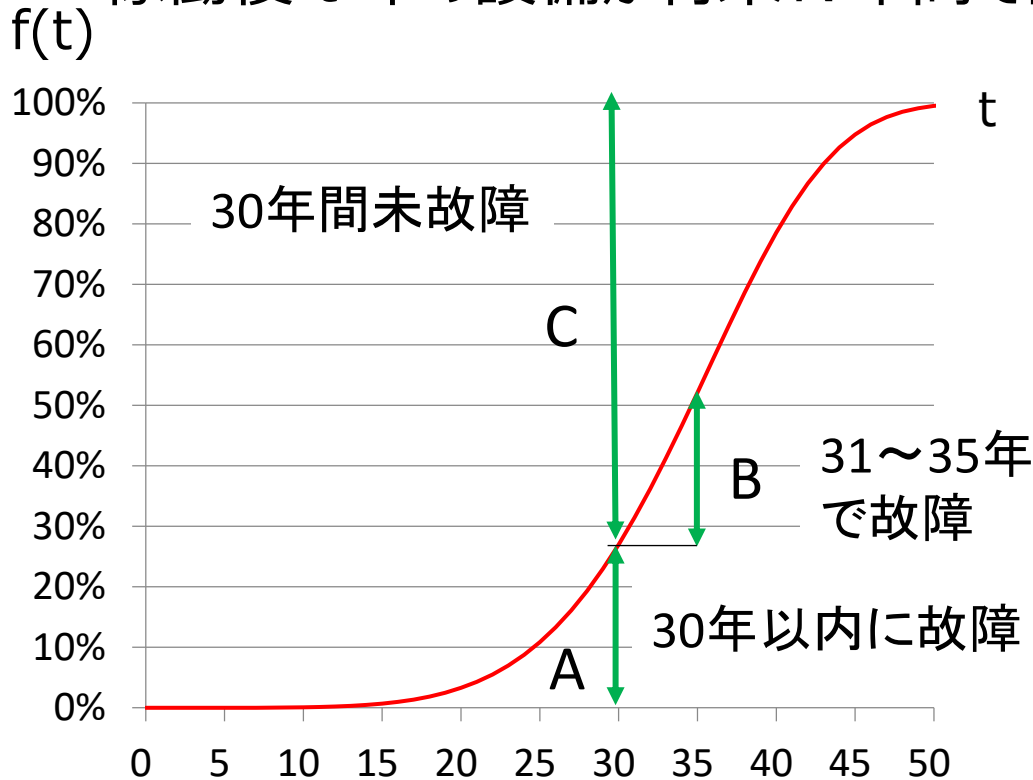
## 見える化のポイント①

確率は低いが発生すれば被害が大きく、どの関数を使うかで結果が大きく変わる。  
故障の特性や被害の大きさかなど加味し全員の合意形成



## (3) 何年先までを考えて対策するのかを、状況に応じて適切に判断

稼働後 t 年の設備が将来 N 年間で故障する確率を計算



稼働期間 t 年時点で未故障であり、これから N 年以内に故障する確率は左の図から (※2)

$$r = \frac{C}{B} = \frac{f(t+N) - f(t)}{1-f(t)}$$

例：30年目まで未故障だった設備が35年目までに故障する確率

### 見える化のポイント②

経営環境を踏まえ、この「何年」を決める。予知保全など定期的に費用が発生するでは、N年は検査の間隔

(※2 参考)

くじを引いていて、ある時点まですべてハズレだったことが既知であり、次にあたる確率がいくらかと類似の考え方

(ハズレくじは戻さないの、後になるほど当たる確率が高い)

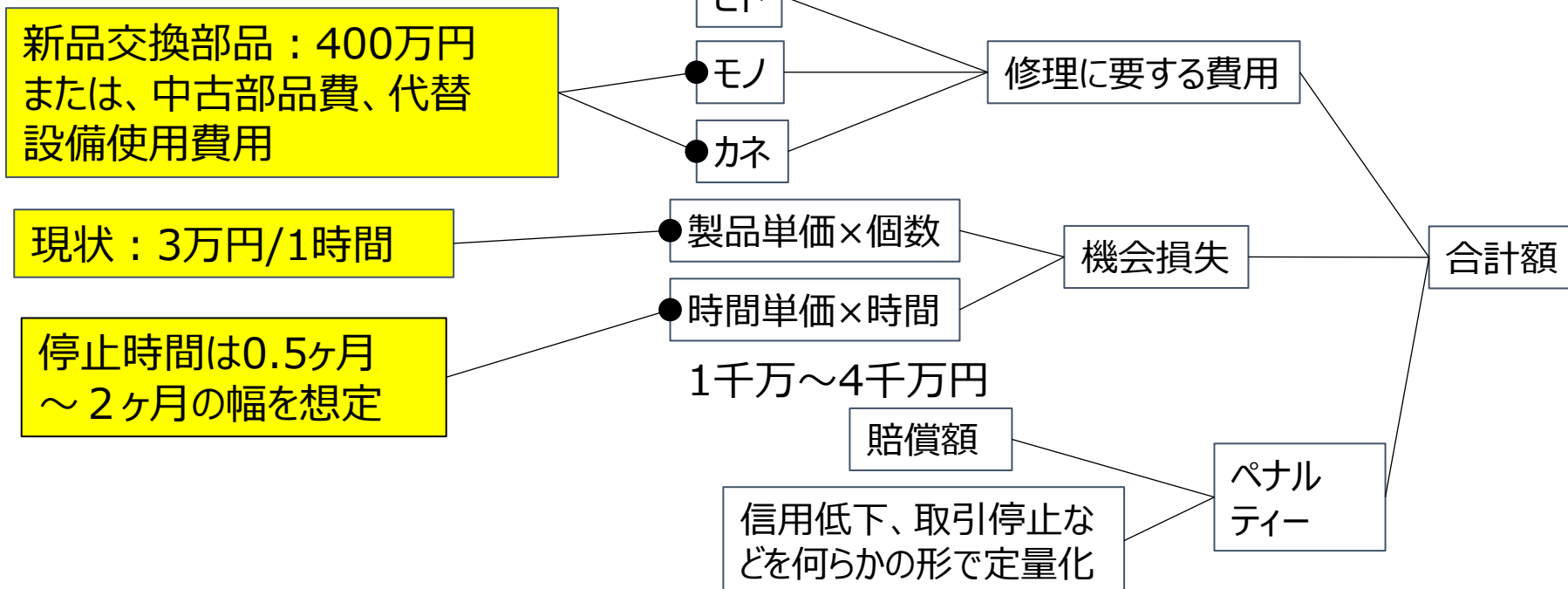


## (4) 定期的に損失額、対策費用の更新が必要

設備が故障したとの経営への影響は、大きく分けて以下の3点

- ①修理に要する費用 (ヒト、モノ、カネの合計)
- ②設備が停止することによる機会損失
- ③製品が納入できなかったことによるペナルティー

影響が大きいものに限定





# 見える化システムに求められる機能

- ①故障リスクの設定（関数化、定量化）における全員の合意形成  
グラフを見ながら（**見える化**）妥当性評価ができる機能
- ②将来何年先までを考えるのかで結果が変わることを全員が認識  
**インタラクティブ**に設定値を変え、結果を評価できる機能
- ③意思決定の仕組みづくりにおける関連全部門の協力体制  
必要情報を**定期更新**し、損失額などを自動計算できる機能

見える化ツールの操作メニュー例

|         | 設備稼働状況 | 故障リスク    | 各種コスト  | 参考写真   | 結果保存 |
|---------|--------|----------|--------|--------|------|
| メインメニュー |        |          |        |        |      |
| サブメニュー  | 設備リスト  | 故障実績     | 計画事後保全 | 対象設備   |      |
|         | 故障履歴   | 故障実績グラフ  | 時間基準保全 | 故障状況   |      |
|         | 稼働状態   | 累積故障関数   | 状態基準保全 | 超音波検査器 |      |
|         | 設備停止影響 | N年以内故障確率 |        |        |      |



# 見える化システム表示例①



## 設備リスト

|     | 稼働開始年 | 稼働期間 (年) |
|-----|-------|----------|
| 1号機 | 1979年 | 40年      |
| 2号機 | 1980年 | 39年      |
| 3号機 | 1981年 | 38年      |
| 4号機 | 1988年 | 31年      |
| 5号機 | 1991年 | 28年      |
| :   | :     | :        |

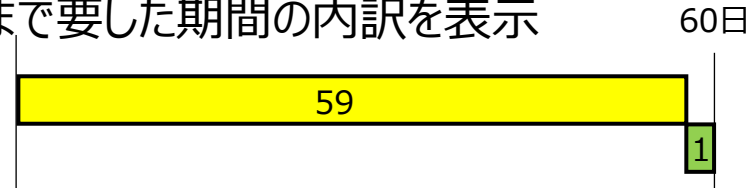
## 故障履歴

対象とする故障モードのみを抽出

|     | 稼働開始年 | 故障発生時期 | 故障時経過年 | 停止期間 |
|-----|-------|--------|--------|------|
| 2号機 | 1980年 | 2018年  | 39年    | 30日  |
| 3号機 | 1981年 | 2018年  | 38年    | 15日  |
| 5号機 | 1991年 | 2018年  | 28年    | 60日  |

さらに復旧まで要した期間の内訳を表示

代替部品の製作  
交換作業



## 稼働状態

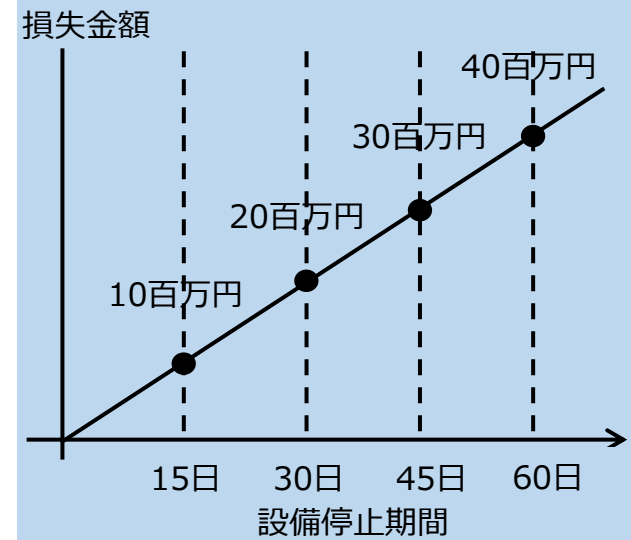
1時間、1日設備が停止したら  
どれだけの損失になるか

|     | 生産高<br>(円/時間) | 平均稼働時間<br>(時間/日) |
|-----|---------------|------------------|
| 1号機 | 35,000円       | 22時間             |
| 2号機 | 28,000円       | 23時間             |
| 3号機 | 32,000円       | 21時間             |
| 4号機 | 30,000円       | 22時間             |
| 5号機 | 29,000円       | 23時間             |
| :   | :             | :                |

## 設備停止影響

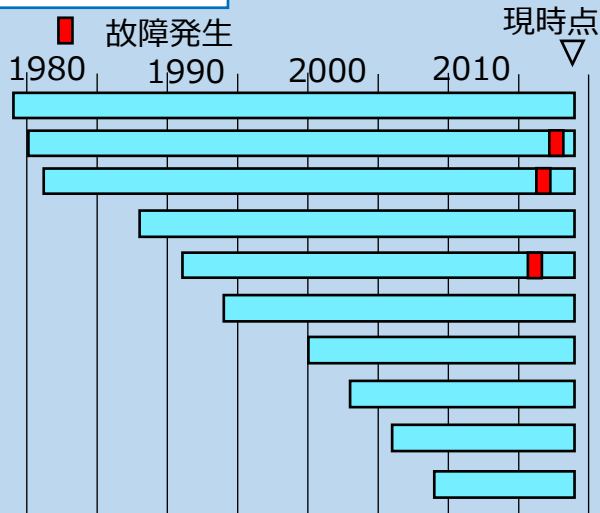
現時点で想定される金額  
だけでなく、将来の最悪  
状況も合わせて表示

例えば4号機が15日～  
60日止まれば金額で  
いくらになるか



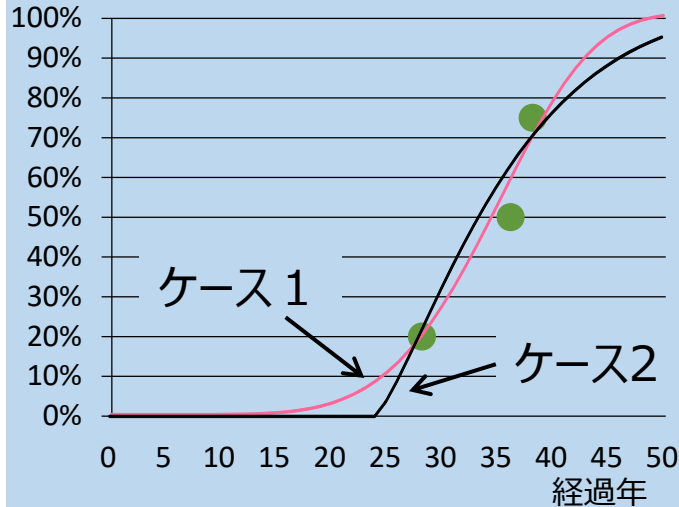
# 見える化システム表示例②

故障実績



故障実績グラフ

累積故障関数



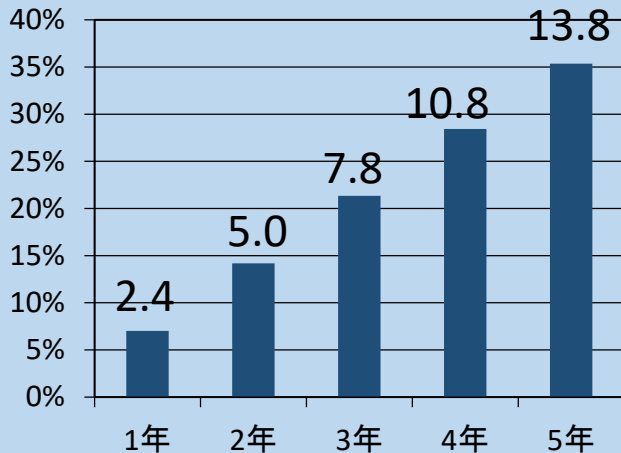
推定に幅があるときは範囲で表示

<ケース1>  
徐々に確率が増加

<ケース2>  
直線的に増加

N年以内故障確率とリスク額

百万円



使用期間

30

年

損失金額

40.0

百万円

使用期間を設定すれば、N年以内に故障する確率をグラフ表示

損失金額を設定すれば、故障リスクを金額表示  
損失額の期待値を

$(\text{損失金額}) \times (\text{故障確率})$  で計算

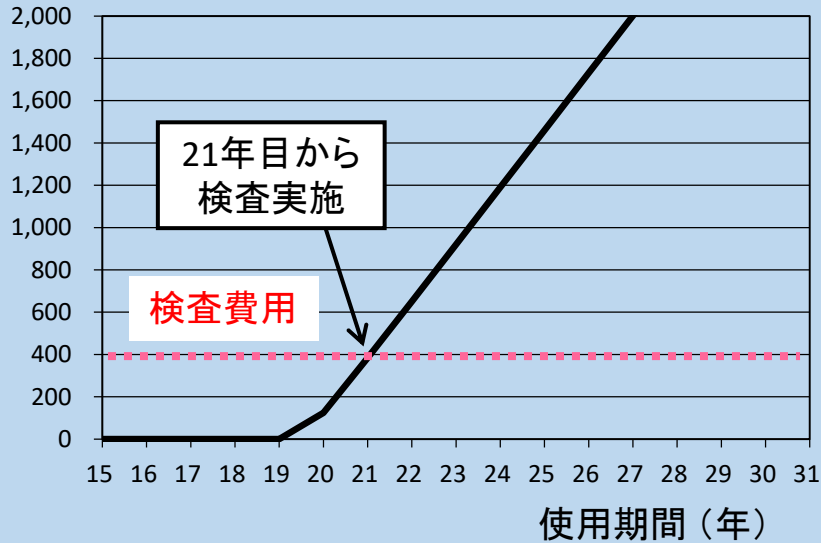
- ・損失額の金額イメージを共有
- ・代用品を新作しても5百万円程度なら、3年以内に元がとれる計算



# 見える化システム表示例③

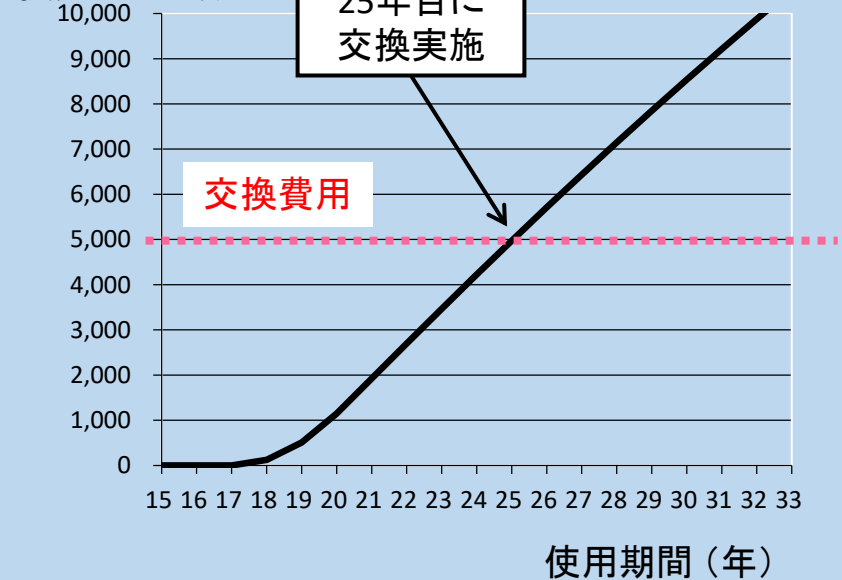
## 状態基準保全

損失リスク額



## 時間基準保全

損失リスク額



超音波検査は、1年おきに実施するため、「使用期間  $t$  年の設備の1年以内の損失リスク」と「検査費用」を比較

最終判断として

- ・予知保全（超音波検査）は21年目から実施
- ・予知保全が評価段階で不安が残るので、25年目には新作部品へ交換
- ・ただし、この判断は現在の状況に基づくものであり、定期的に判断基準を更新する必要あり

新作部品への交換については、関連部門の合意事項として将来3年を基準に判断

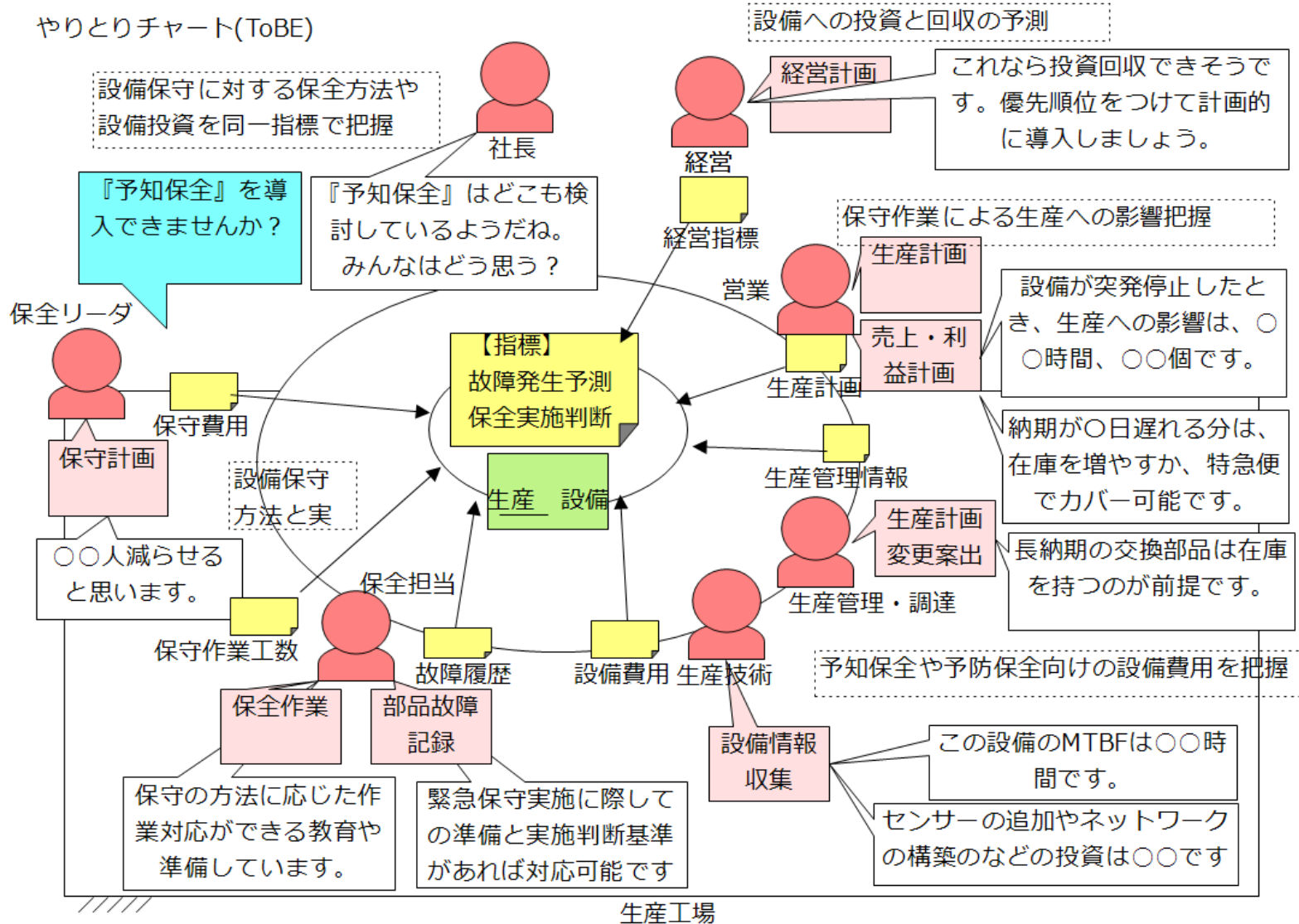




# あるべき姿 やりとりチャート(TO-BE)

全員参加の体制、みんなが当事者意識を持ちPDCAを回すことが重要

やりとりチャート(ToBE)



# ■ ケーススタディで得られた知見と今後の課題 IV

- ① 実際の現場においても、設備保全に関連する判断に困る場合が多く、「見える化システム」の重要性が確認できた。
  - ② 1つのケースに特化し、見える化システムのひな形を作り上げた
  - ③ 日々変化する情報を適切なタイミングで更新することが重要
- 今後の課題は、情報収集・加工の仕組み、UIに汎用性を持たせること

## まとめ ～ 4 D02からの提言～

状態基準保全の、「状態」とは設備の状態だけでなく、モノづくりに関連する様々な状態に基づく判断が必要！ 「もっと広い範囲で捉えよう！」

### アドホック実施記録

- 8/2 ダイキン工業(品川)
- 9/10 シスコシステムズ(六本木)
- 11/26 アーレスティ(豊橋)
- 1/21 日本ユニシス(豊洲)



【協力メンバー】松岡 康男（東芝）アドバイザー

