

基礎から学ぶ！ インダストリアルIoTの実現に必須の センサ計測と予知保全の動向

日本ナショナルインスツルメンツ株式会社

シニアテクニカルマーケティングマネジャー

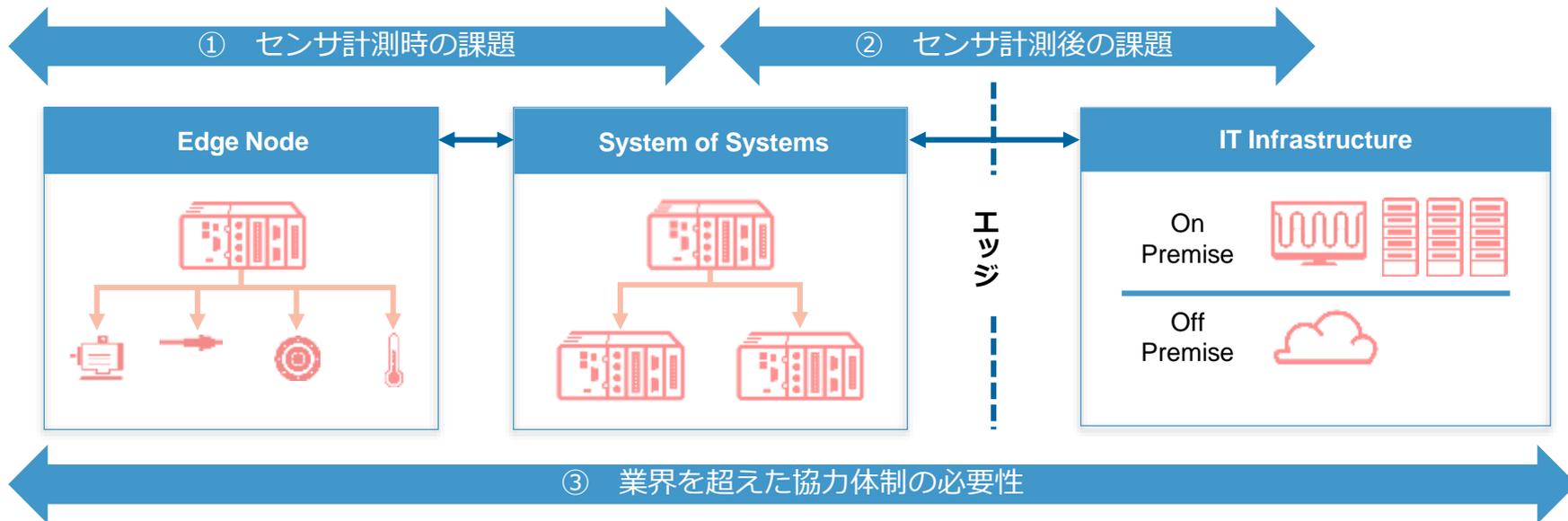
ISO機械状態監視診断技術者（振動） CAT II

岡田一成

本セッションの概要

- データ量の増加 (エッジコンピューティング)
- 各種センサの同期計測

- データの表示・解析



- ITシステム
- ITとOTとの統合 (システムインテグレータの必要性)
- 分析パートナー

アジェンダ

- 会社紹介
- 予知保全の動向と課題
- 事例紹介
- まとめ



約50ヶ国で事業を展開
7,500人以上の従業員

\$12.3億

2016年

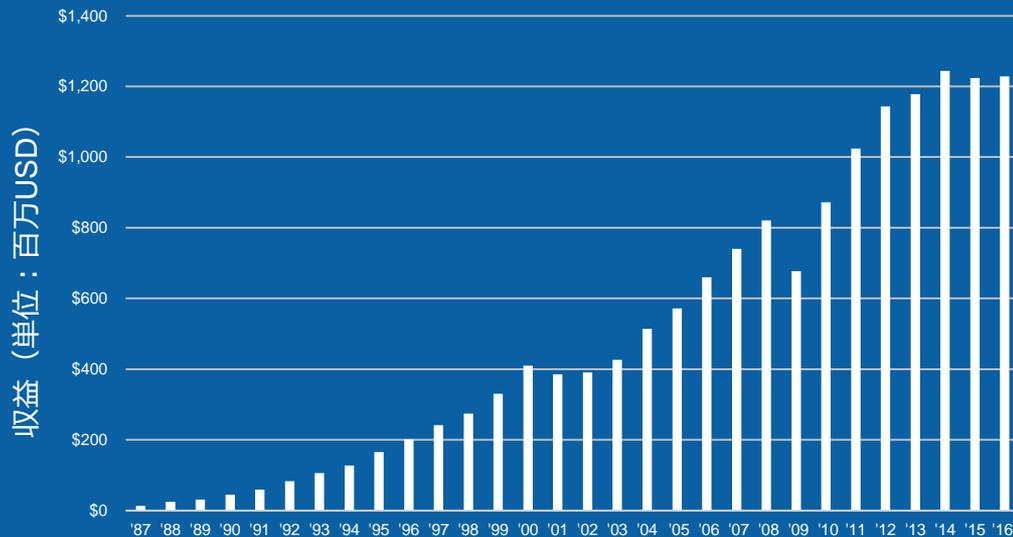


年間35,000社以上の
顧客と取引



18%以上を
研究開発に投資

長期に亘る安定した経営



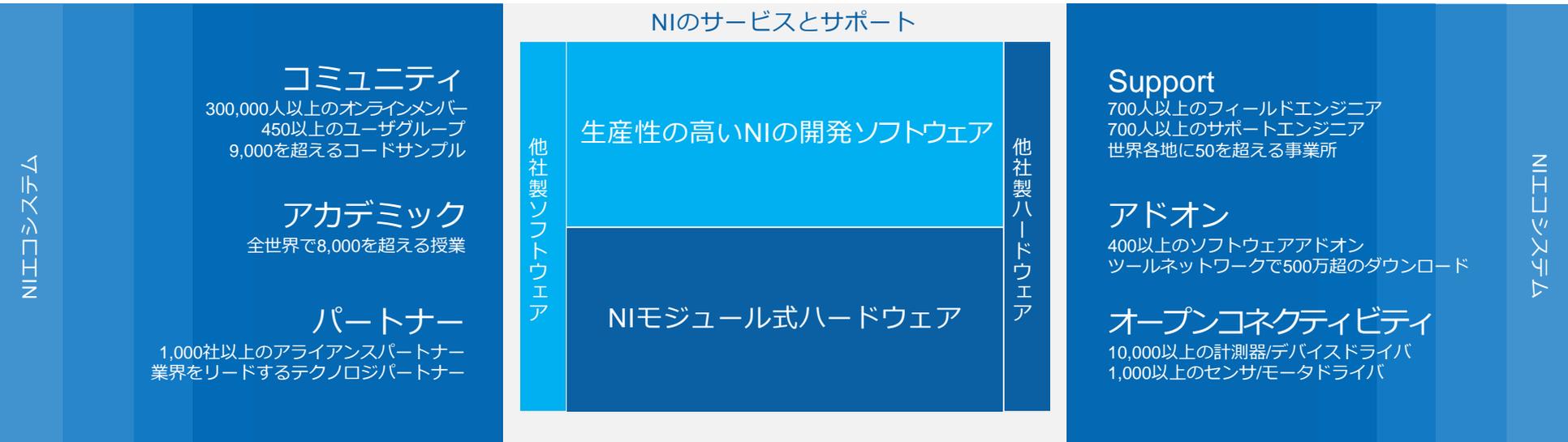
テスト/計測/制御システムの開発を加速し、
生産性を向上する、ソフトウェアを中心としたプラットフォーム

プラットフォームベースのアプローチ

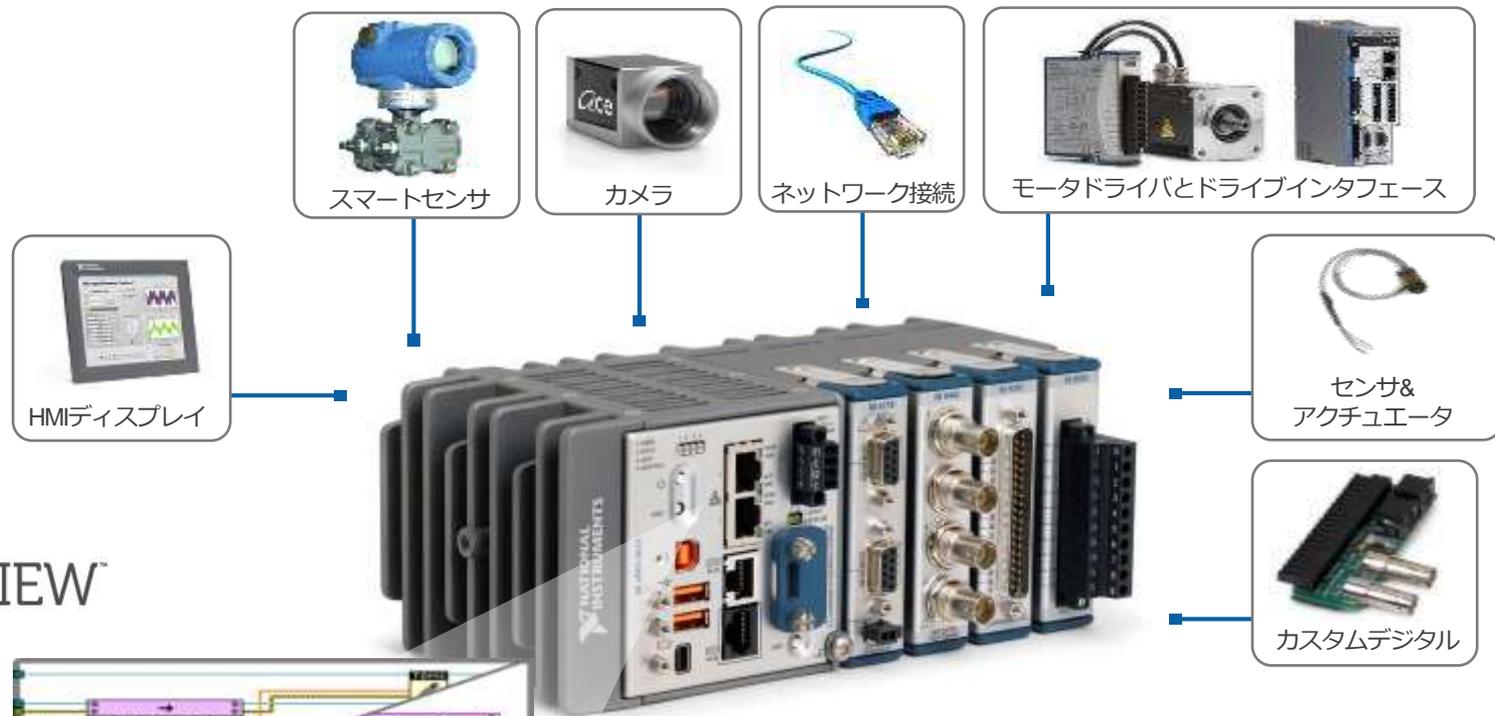
NIのサービスとサポート

他社製ソフトウェア	NIのサービスとサポート	他社製ハードウェア
WEBサービス PYTHON C/C#/.NET The MathWorks, Inc. SOFTWARE	生産性の高いNIの開発ソフトウェア	ARDUINO ETHERNET USB GPIB シリアル
VHDL GNU RADIO その他	NIモジュール式ハードウェア	LXI/VXI その他

プラットフォームベースのアプローチ

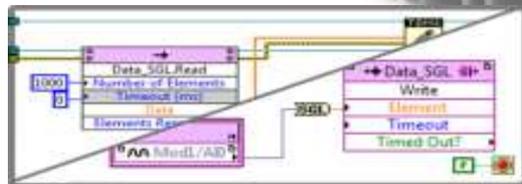


高い接続性 ～一台に統合することによりシステムがシンプルに～



+ LabVIEW™

処理
解析
制御
接続



計測器レベルのI/Oモジュール (200種以上)

- 加速度計
- 歪みゲージ
- 抵抗器
- ロードセル
- デジタルI/Oとプロトコル
- マイクロホン
- バス通信
- 熱電対
- 4~20 mAの電流ループ
- ストレージメディア
- 測温抵抗体 (RTD)
- エンジン制御
- 工業用ビジョン
- モーション制御

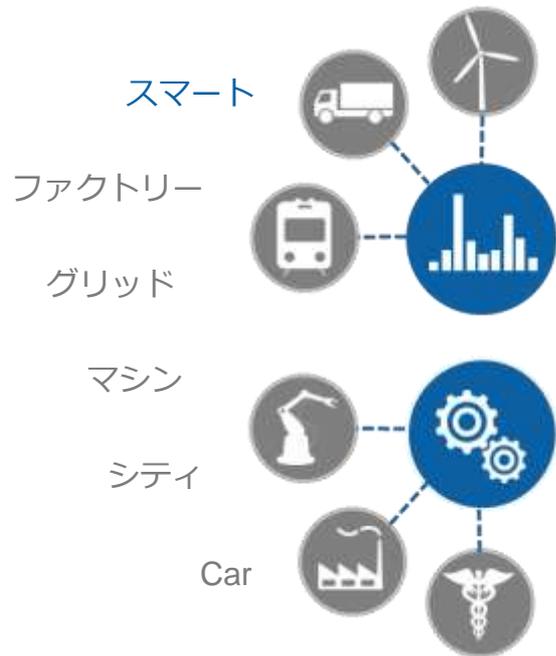


LabVIEWによる各種通信規格への対応



予知保全の動向と課題

インダストリアル Internet of Things

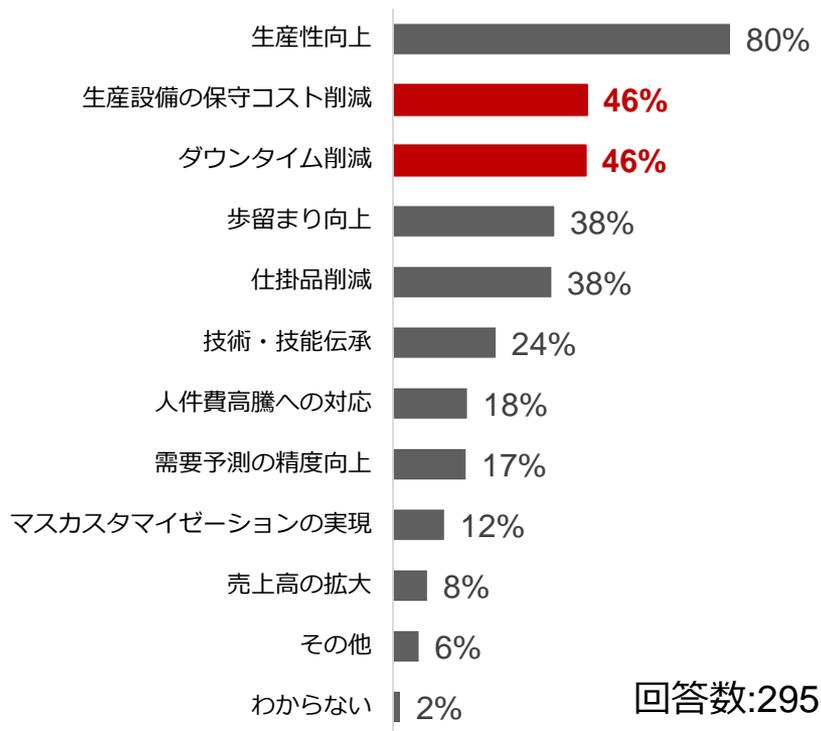


コンシューマ向け Internet of Things

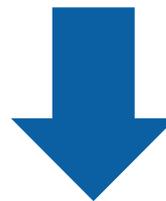


Moor Insights & Strategyの報告書“Segmenting the Internet of Things (IoT)”を元に作成

予知保全への期待が高い



Q.工場のIoT化で具体的に期待している効果とは？



「生産性向上」という回答が8割、その次が「生産設備の保守コスト削減」（46%）、「ダウンタイムの削減」（45%）であり、予知保全への期待がわかる

出典：日経ものづくり2016年6月号、p69を参考に編集

予知保全の対象レベル

工場レベル



プロセスライン



マシンレベル



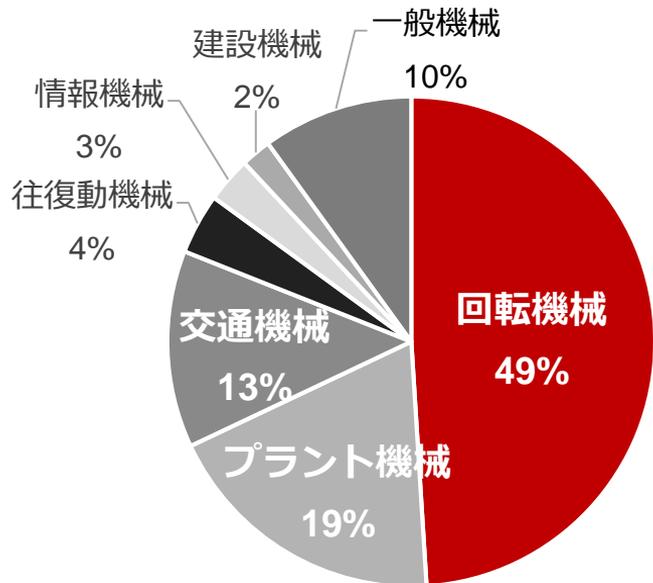
部品レベル



設備不具合の大半は回転機械の振動問題

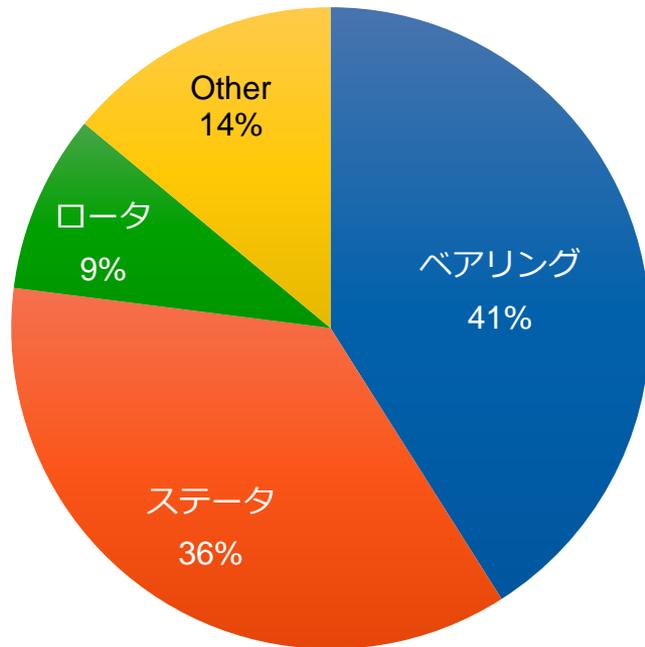
振動問題の原因

(計790件、1991年～2011年)



出典：日本機械学会振動工学データベース研究会
www.jsme.or.jp/dmc/Links/vbase/index.html

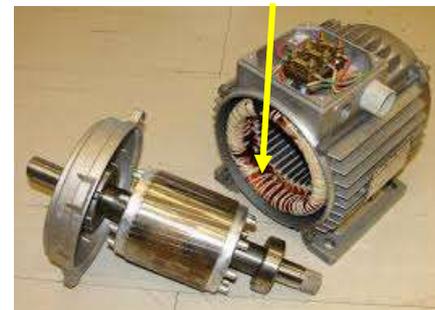
モータの故障モード (EPRI and IEEE study)



ベアリング



ステータ

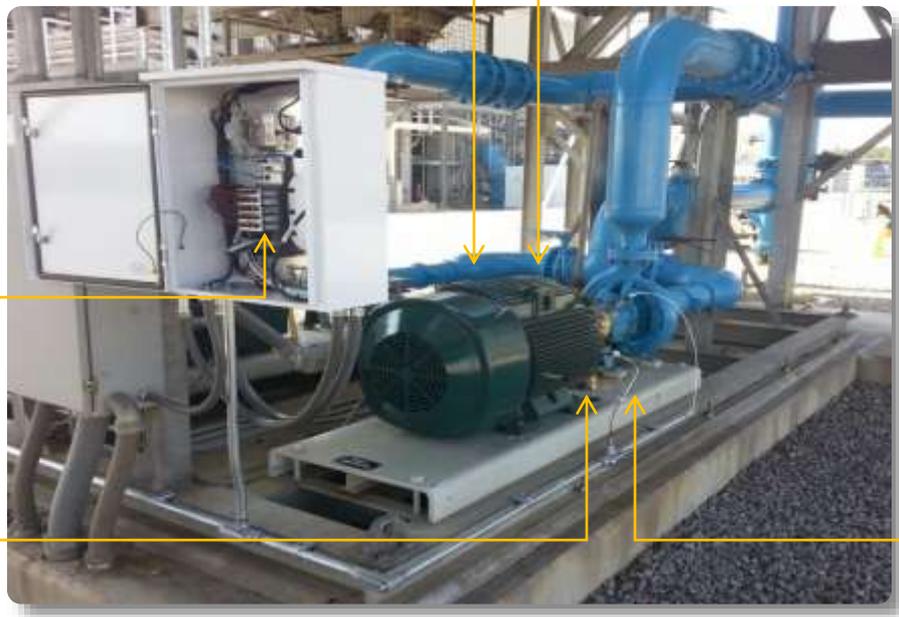


オンライン状態監視とセンサの例

軸振動
(近接センサ)



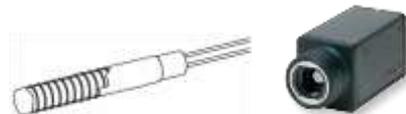
NI製
データ収集装置



回転パルス
(近接センサ)



温度測定
(温度センサ)
(サーモカメラ)

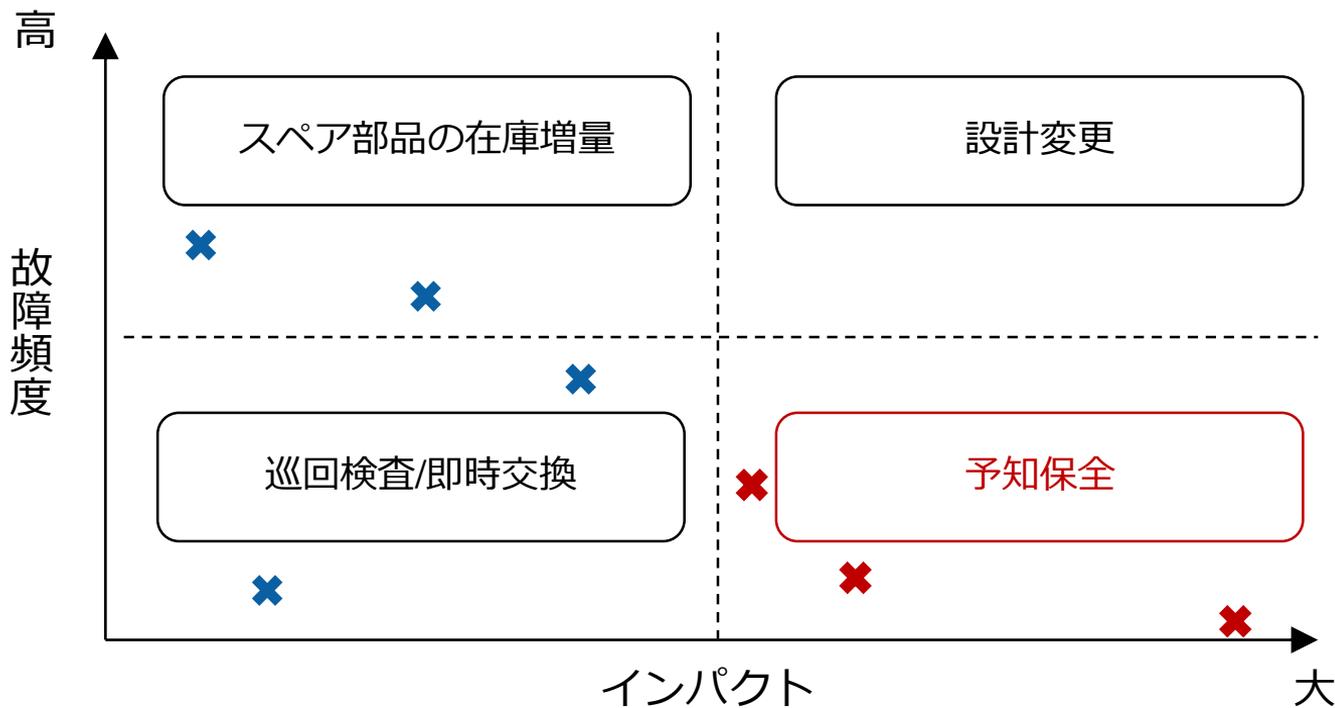


軸受振動
(加速度/AEセンサ)



回転機械 (ポンプの例)

故障頻度は低いがインパクトが大きい設備/部品が予知保全の対象となる

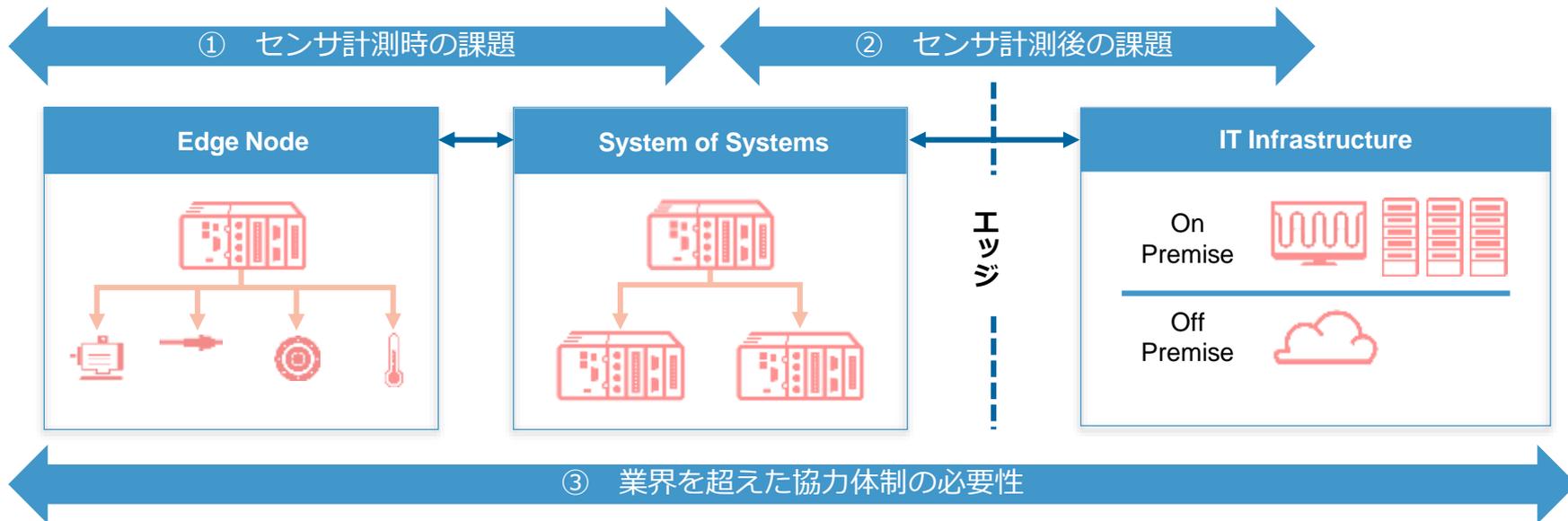


出典：インダストリアル・ビッグデータ、ジェイ・リー著、ISBN 978-4-526-07553-7、図3-1、p95 を基に改訂

予知保全システムの課題

- データ量の増加 (エッジコンピューティング)
- 各種センサの同期計測

- データの表示・解析

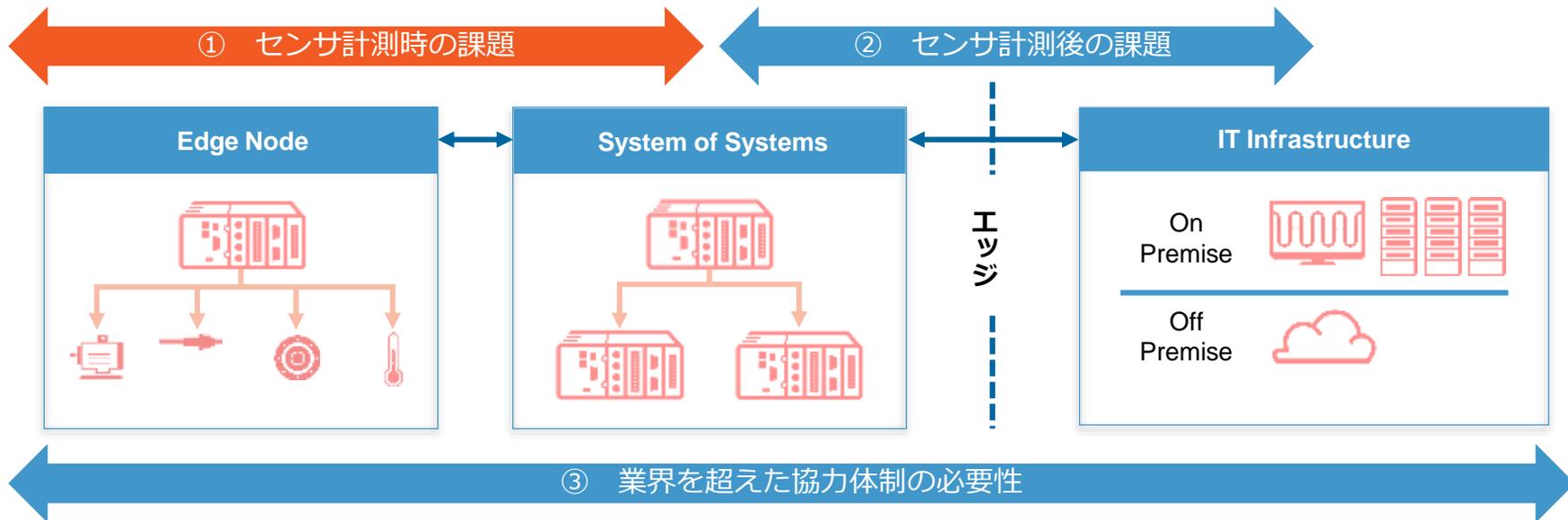


- ITシステム
- ITとOTとの統合 (システムインテグレータの必要性)
- 分析パートナー

予知保全システムの課題

- データ量の増加 (エッジコンピューティング)
- 各種センサの同期計測

- データの表示・解析



- ITシステム
- ITとOTとの統合 (システムインテグレータの必要性)
- 分析パートナー

激増するBig Analog Data™ ～通常のビッグデータとは異なる特徴を持つ～



業界/ITのデータソース

- Enterprise apps: ERM, CRM, HR
- IT data: events, logs, inventories
- Process and control



社会的データソース

- Social data, behaviors, sentiments
- Tweets, posts, comments



エンジニア/研究者のデータソース

- Physical world: analog phenomenon
- DAQ, A/D

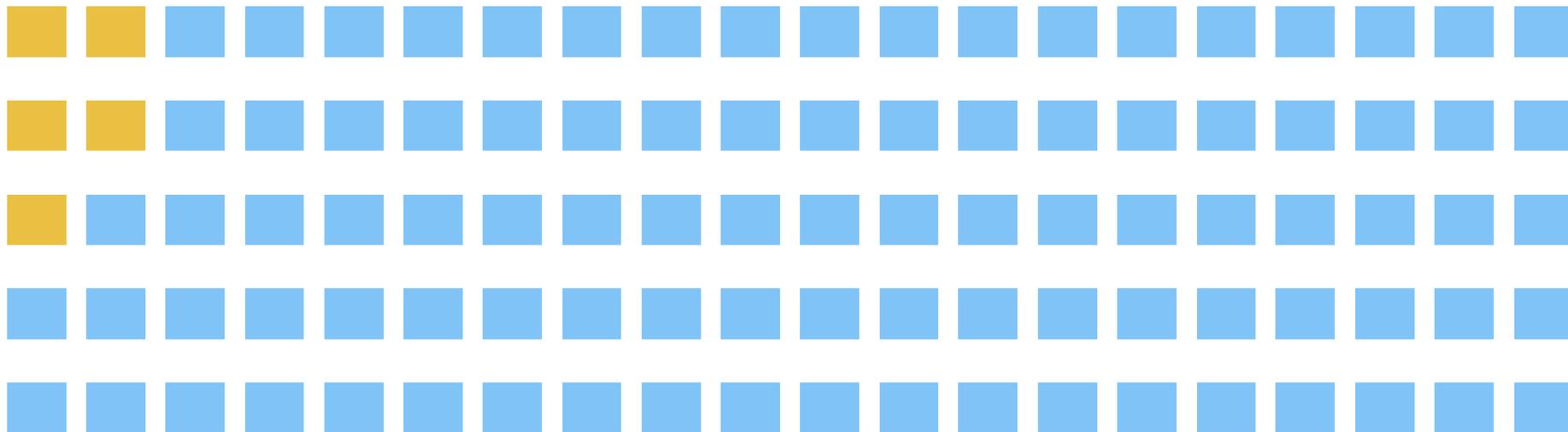
ビッグデータ

Big Analog Data™

意外と大きいセンサのデータ量

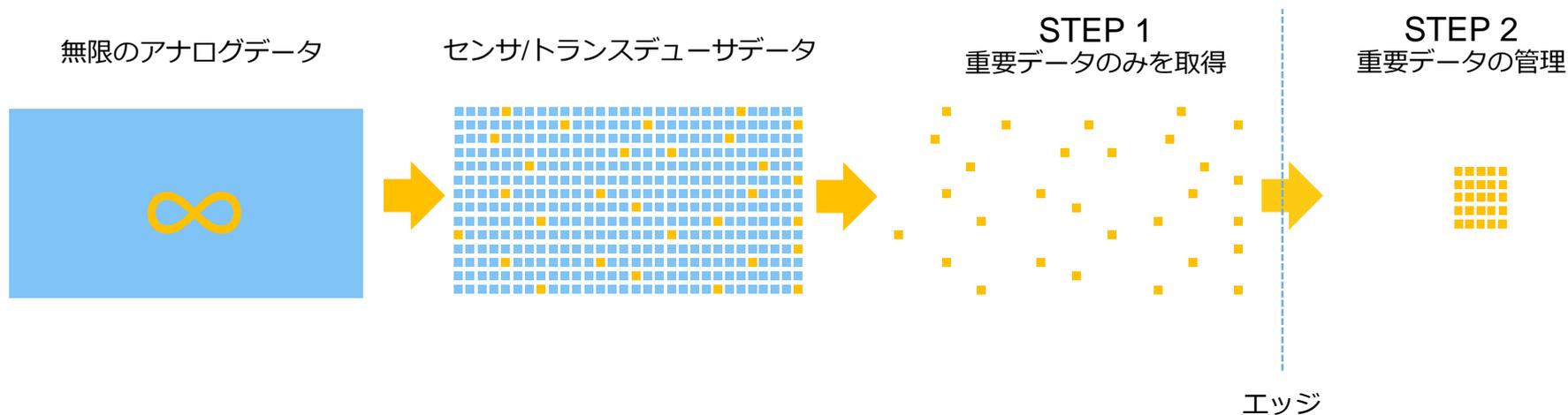
センサの種類	サンプリング速度	データ量
熱電対	1Hz	約1B/秒
加速度センサ	10kHz(24bit)	約30kB/秒
AEセンサ	10MHz(14bit)	約17MB/秒
サーモグラフィ (640 x 480 size)	30fps	約18MB/秒

平均で全データの5%しか解析されていない

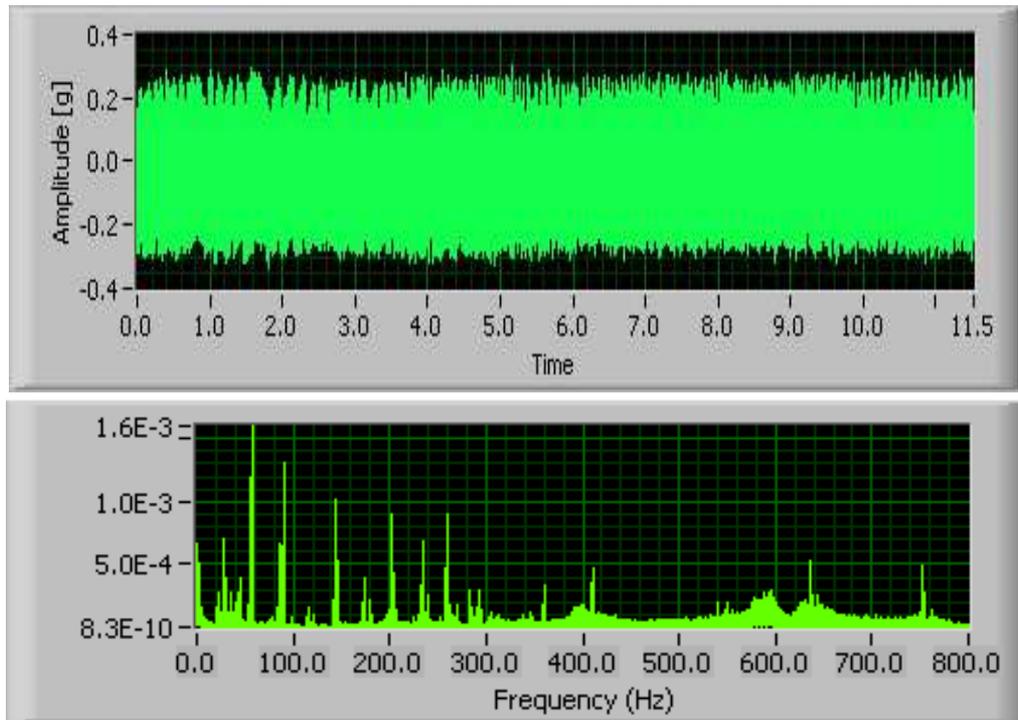


エッジコンピューティングによる重要データの抽出が鍵となる

1. 莫大なデータを演算処理し意味のある情報に変換
2. データ管理



ベアリングの振動データ（上）と周波数解析結果（下）



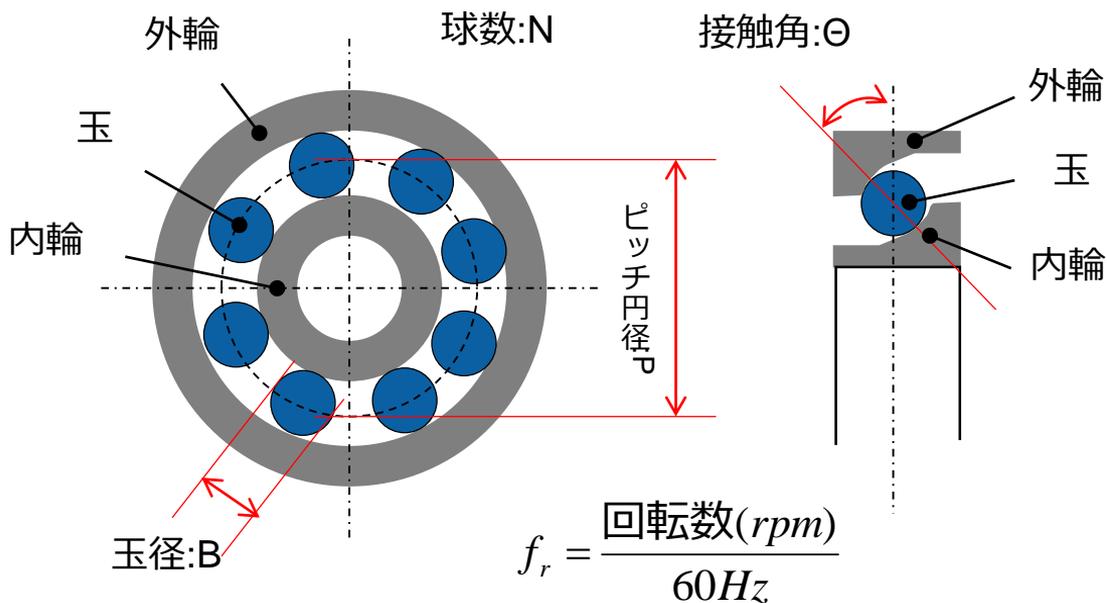
ベアリングにおける異常検知と原因診断の例

～加速度センサを用いた診断例～

	診断内容
機構部分	アンバランス、ミスアライメント、軸摩耗、ガタ、据付不良
ベアリング	内輪損傷、外輪損傷、転動体損傷
ギア	軸芯ズレ、片当たり、歯の摩耗、波形誤差など
モータ	高周波振動、電源不平衡
ファン、ポンプ	圧力脈動、摩耗など

例：ベアリングの損傷診断

～計算により損傷部位がわかる～



- 外輪損傷周波数

$$f_{out} = \frac{N}{2} \times \left(1 - \frac{B}{P} \cos \theta \right) \times f_r$$

- 内輪損傷周波数

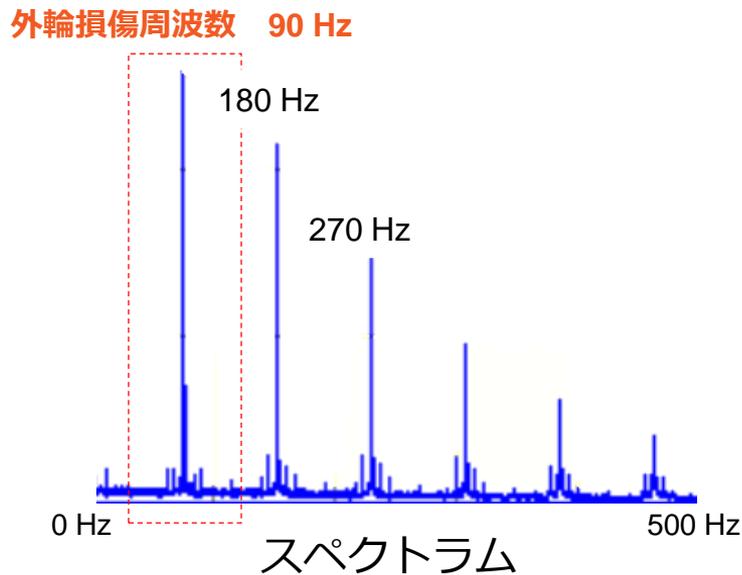
$$f_{in} = \frac{N}{2} \times \left(1 + \frac{B}{P} \cos \theta \right) \times f_r$$

- 玉損傷周波数

$$f_{ball} = \frac{P}{B} \times \left[1 - \left(\frac{B}{P} \cos \theta \right)^2 \right] \times f_r$$

外輪損傷の例

外輪損傷周波数とその整数倍成分が大きくなるのが特徴



ベアリング寸法

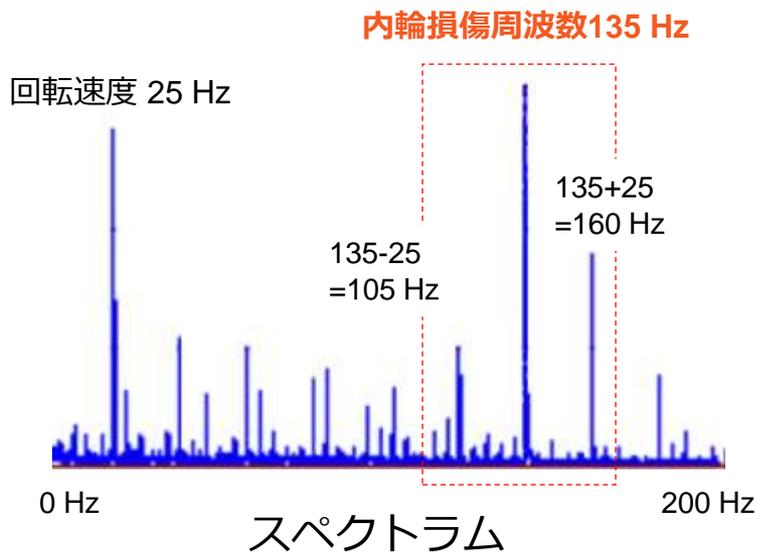
玉径B	11.112 mm
ピッチ径P	53.5 mm
玉数N	9
接触角 θ	12°
回転速度	1500 rpm (25Hz)

計算結果

外輪損傷周波数	90 Hz
内輪損傷周波数	135 Hz
玉損傷周波数	57.5 Hz

内輪損傷の例

内輪損傷周波数を基本周波数としたピークが現れ、回転速度分だけ離れて側波帯が表れるのが特徴



ベアリング寸法

玉径B	11.112 mm
ピッチ径P	53.5 mm
玉数N	9
接触角 θ	12°
回転速度	1500 rpm (25Hz)

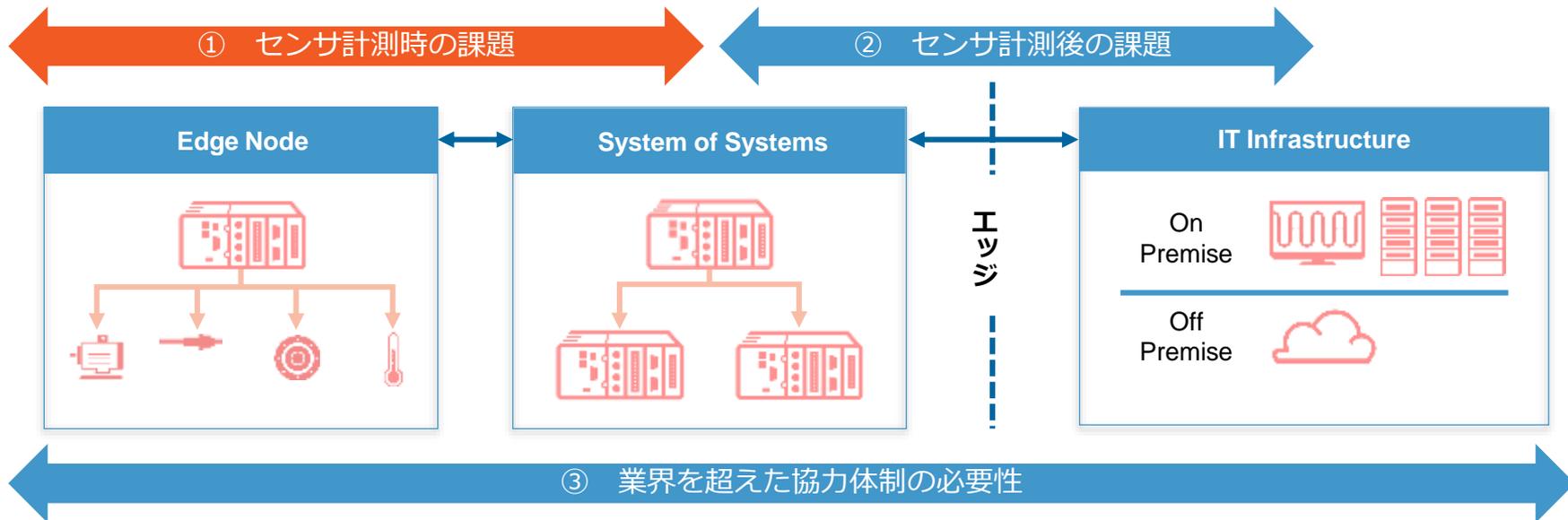
計算結果

外輪損傷周波数	90 Hz
内輪損傷周波数	135 Hz
玉損傷周波数	57.5 Hz

予知保全システムの課題

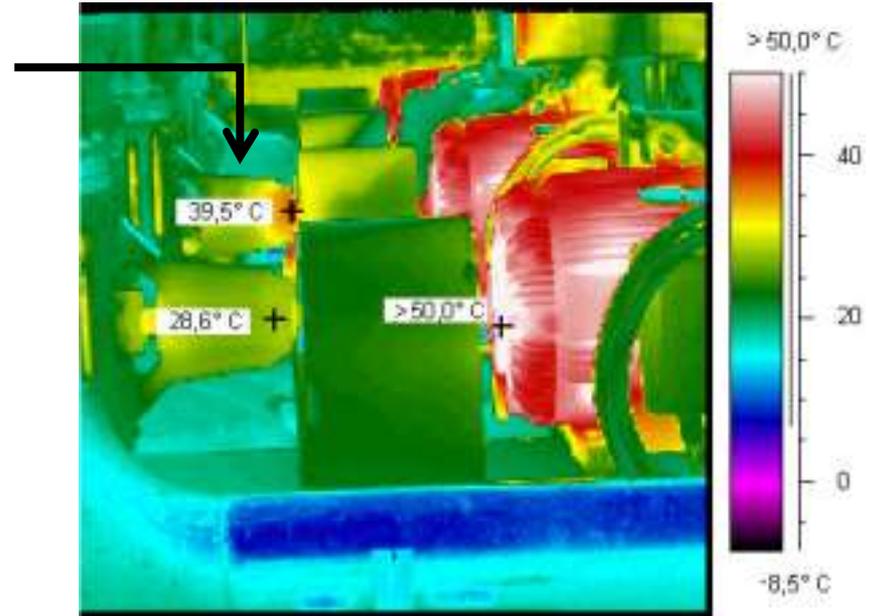
- データ量の増加 (エッジコンピューティング)
- 各種センサの同期計測

- データの表示・解析



サーモグラフィ（静止画・動画）による保全

2台目の装置のベアリング部の温度が高いため、診断が必要だとわかる



出典：ISO/DIS18434-1 Fig C.9

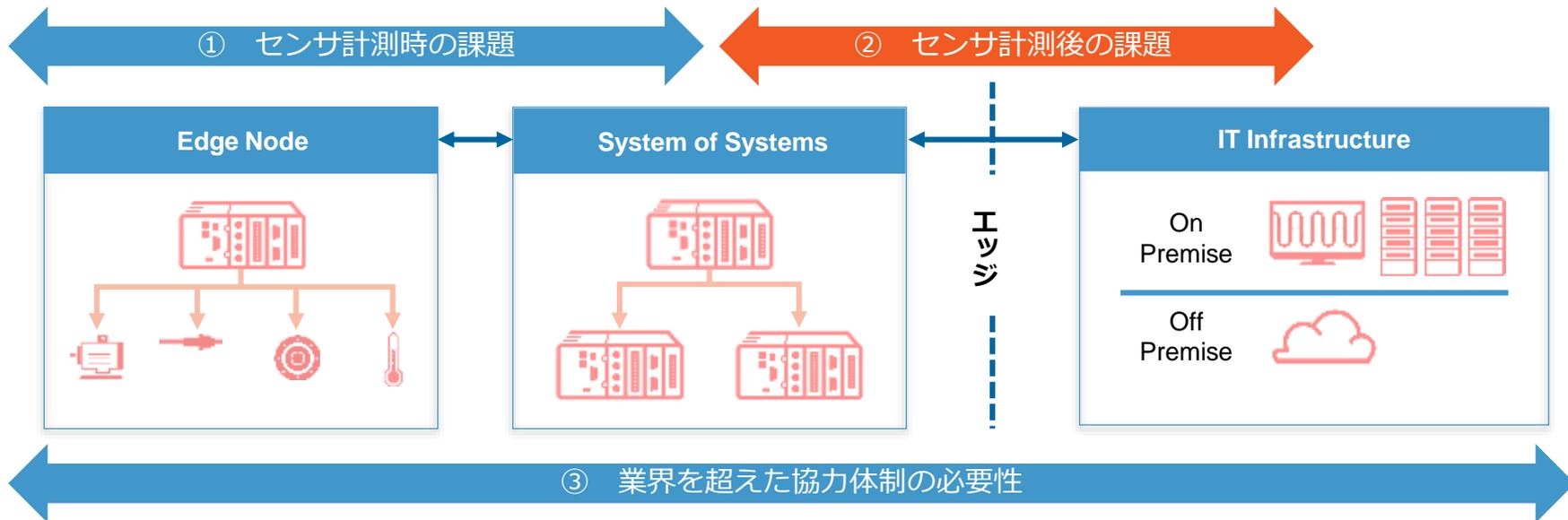
データ数とデータ形式の違いが同期計測と解析を難しくする

センサ	データ数	データ形式
熱電対	1点/秒	数値
加速度センサ	1万点/秒	数値（波形データ）
Webカメラ	30フレーム	動画

予知保全システムの課題

- データ量の増加 (エッジコンピューティング)
- 各種センサの同期計測

- データの表示・解析

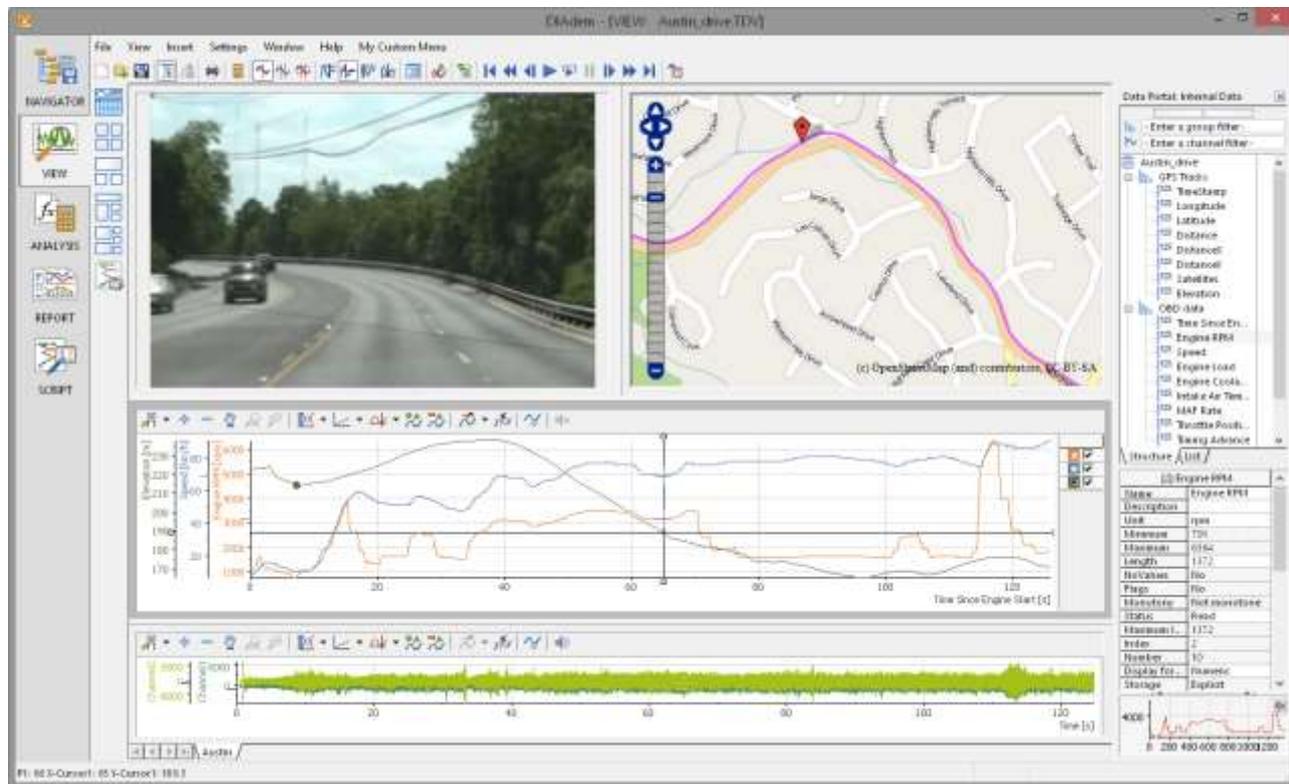


- ITシステム
- ITとOTとの統合 (システムインテグレータの必要性)
- 分析パートナー

データの表示と解析に関して、よく御相談頂くこと

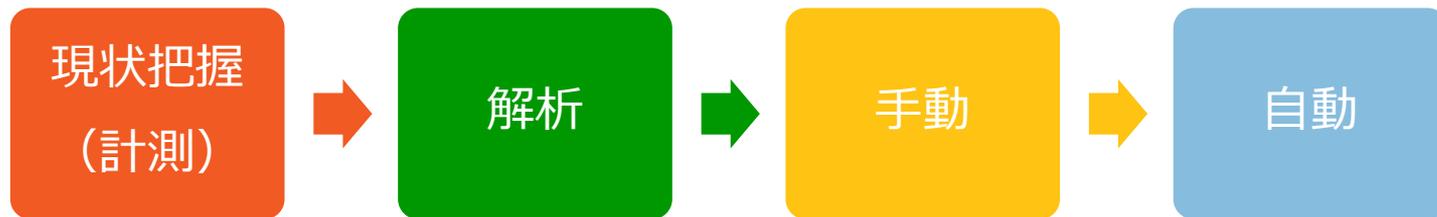
- Excelだと行数と列数が足りない。加速度センサのデータは、たった1秒でも1万点ある
- Excelだと動画表示ができない
- 動画と加速度センサのデータを同時に表示したい
- 計測器に付属のソフトは、対応センサ以外のデータ表示ができない

デモ：データの表示と解析～動画とセンサ信号の同期表示デモ～



IoTは1日にして成らず

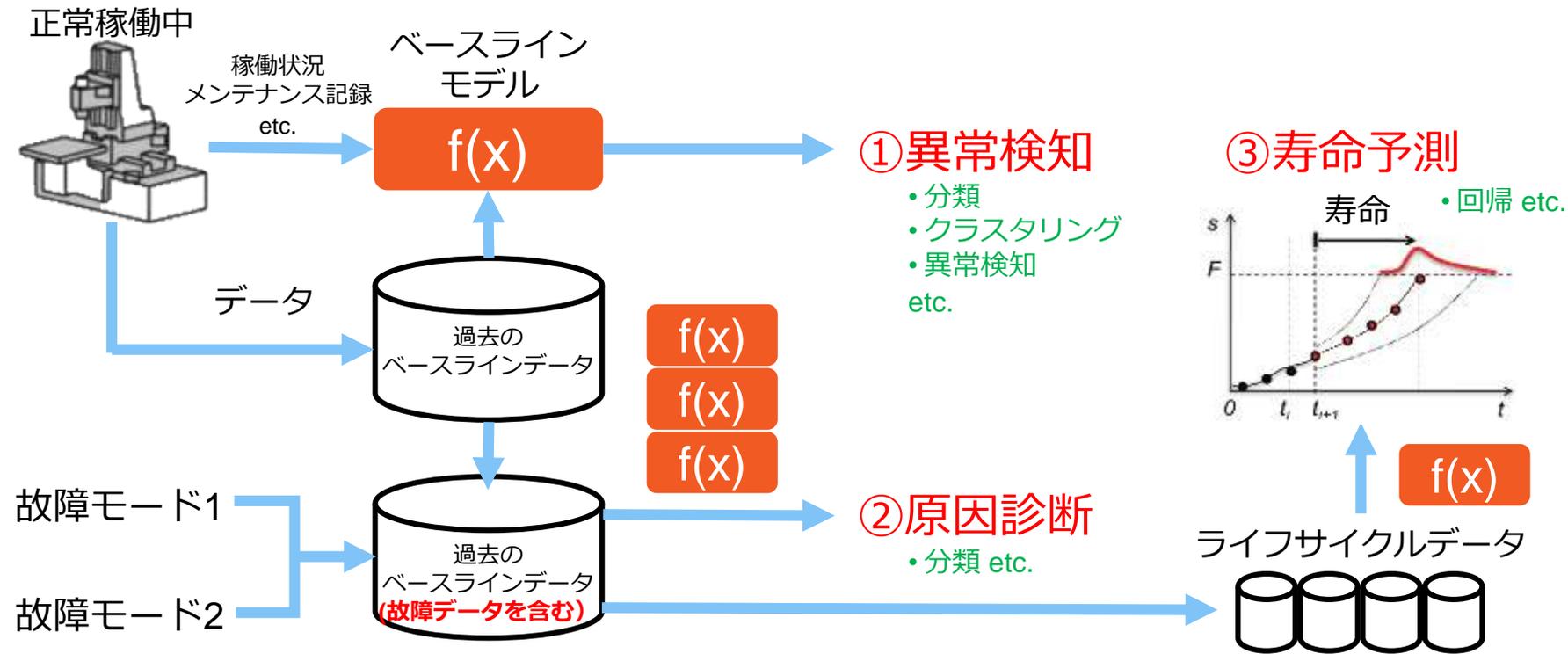
～現状把握がまだなら、ベースライン計測から始めましょう～



- 現状把握（ベースライン計測）からスタート
 - 例：現場担当者を交えた故障モードの確認
 - 例：計測データと熟練エンジニアの保全実施タイミングの比較調査
- 手動計測で目処がいたら自動化
 - 例：計測データの上昇傾向から保全タイミングを予測
 - 例：マシンラーニングによる寿命予測

機械学習を用いた予知保全の概念図

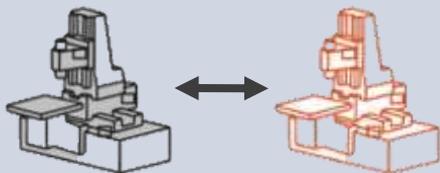
～測定の積み重ねで①→②→③が可能。測定をしない限り実現は不可能～



異常診断のための基準

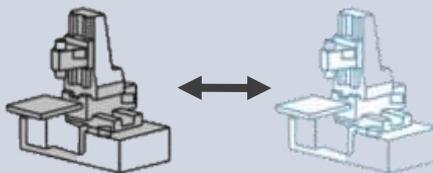
(ベースラインデータ) をどうするか？

デジタルツイン



モデル

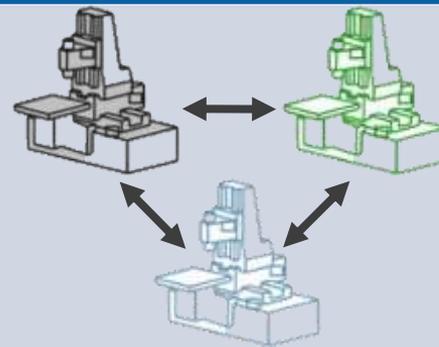
過去との比較



2年前

現在

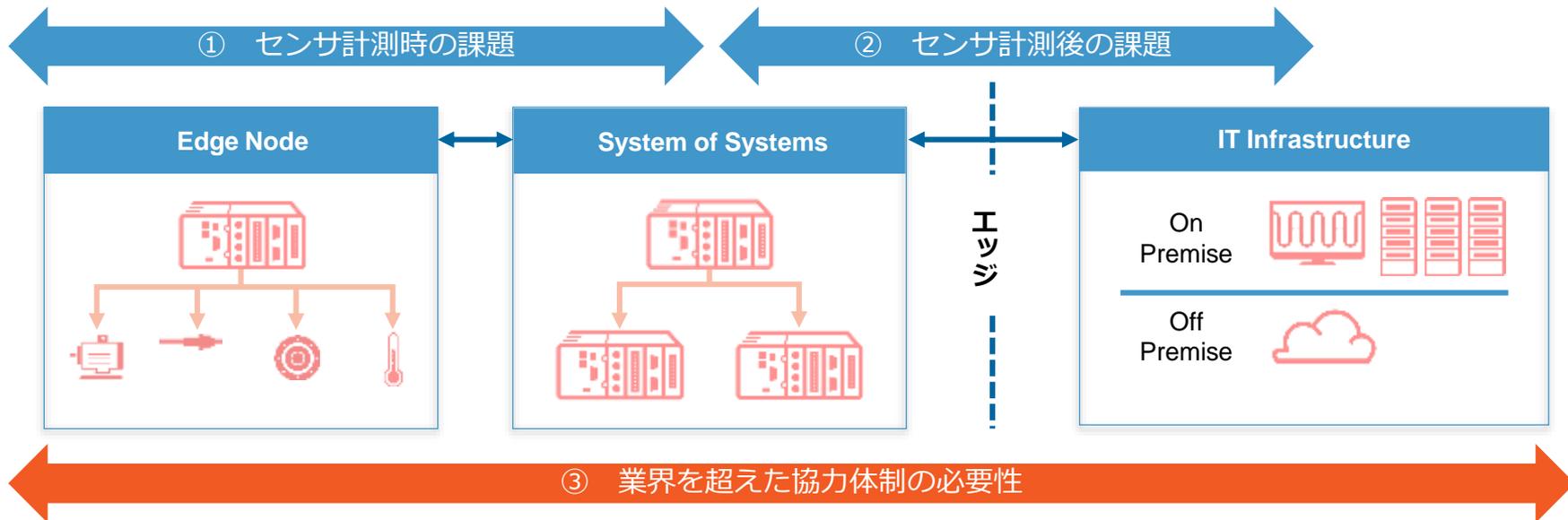
同種との比較



予知保全システムの課題

- データ量の増加 (エッジコンピューティング)
- 各種センサの同期計測

- データの表示・解析



- ITシステム
- ITとOTとの統合 (システムインテグレータの必要性)
- 分析パートナー

予知保全システムに必要な代表的要素

アプリケーション

- 企業：エンタープライズソフトウェア、機械学習ツール
- ユーザ：Webアプリ, スマートフォンアプリ など)

ITシステム

- ITサーバ
- スイッチ、ルータ、ハブ など

通信ネットワーク

- 無線通信(3G, 4G, LTE, 5G, Wi-Fi, Bluetooth など)
- 有線通信(シリアル、I2C、SPI、Ethernet、光ファイバー など)

解析・演算

- リアルタイム演算・解析・認識
- 産業向けのデータサイエンティスト（故障モードへの理解、統計知識 など)

計測・制御装置

- マイコン、産業用コントローラ
- OS

センサ

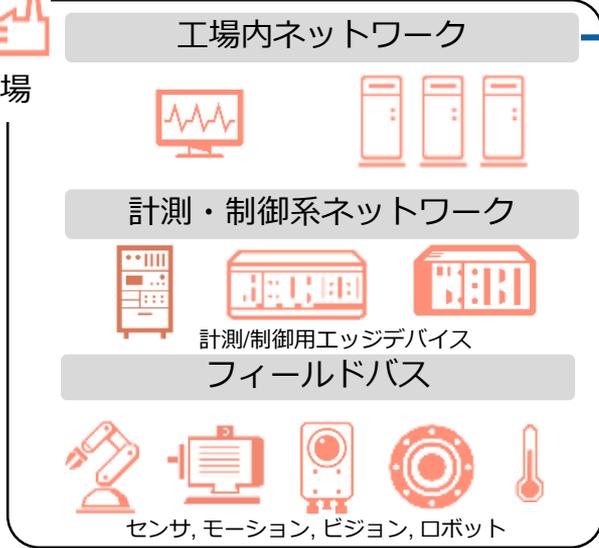
- 各種センサ(加速度センサ、カメラ、サーモグラフィなど)

NI Factory IIoTプラットフォーム

オフィス/サーバセンタ



工場



Hewlett Packard Enterprise
aruba
a Hewlett Packard Enterprise company

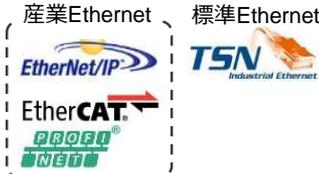
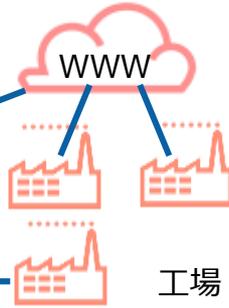
Hewlett Packard Enterprise
aruba
a Hewlett Packard Enterprise company

NATIONAL INSTRUMENTS
LabVIEW
PXI

G.R.A.S.
PCB PIEZOTRONICS
FUJICERA
ANALOG DEVICES

DENSO
DENSOWAVE
東芝テレー株式会社
Rexroth
Bosch Group

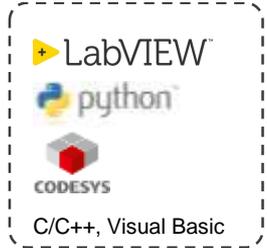
amazon web services
Microsoft Azure



データ分析企業
(機械学習/AI)



システム開発ソフト



Enterpriseソフト

- Bosch PPM
- OSIsoft PI
- NI InsightCM



データ管理ソフト

- NI DIAdem / Data Finder

計測制御機器システム管理

- System Link (NI)

機械学習ツール

- RapidMiner
- ThingWorx Analytics
- TensorFlow (Python)
- Microsoft Azure
- LabVIEW AML Toolkit



NI Partners



事例紹介

インダストリアルIoTへの取り組み 米Duke Energy社：発電所における機械の予知保全





センサ

加速度センサ

温度センサ

オイル分析センサ

サーモグラフィ

近接プローブ

その他

モニタリングシステム

CompactRIO



プラントサーバー

NI InsightCM™
Enterprise

Database
Historian

モニタリング&診断センター

PlantView™
Fleet-Wide Dashboard

InStep PRiSM™
Pattern Recognition

GP EtaPRO™
Efficiency Monitoring
& Thermal Modeling

OSIsoft™ PI
Database
Historian

EPRI Fault
Signature
Database

10,000+
設備

30,000+
センサ

2,000+
ノード

~60
プラント

M&D
センター

China Steelの事例

マシンの状態監視/診断用設備を対象としたIoT技術の開発



- 予期せぬダウンタイムが250時間（2010年）から65時間（2013年）に減少
- 約3億5000万台湾ドル（約14億円）のコスト削減を達成
- 優れた予知保全が評価され、世界鉄鋼協会の「Excellence Awards」を受賞

<http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-16754>

ポンプの予知保全システムの共同開発

～NI、Flowserve、PTC、HPE、OSIsoftの協業～



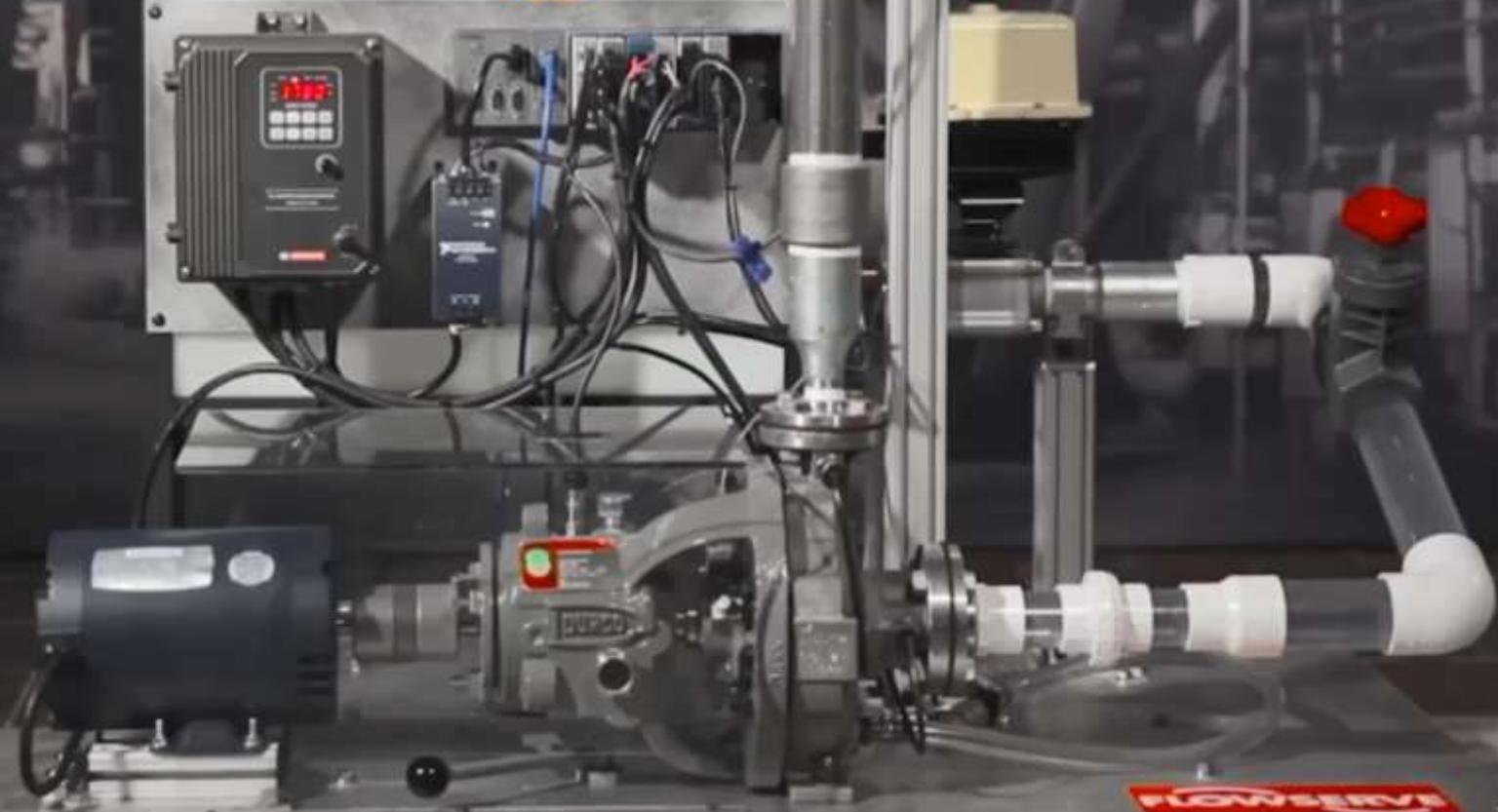
ポンプの予知保全システム

- データ量の多いセンサデータの収集
 - ✓ 加速度センサ（振動計測）など
- IoT による予知保全
 - ✓ リアルタイム監視
 - ✓ 異常の検知とアラート
 - ✓ 故障の予知/予測/対処
 - ✓ データマイニング
 - ✓ 機械学習（ML）による過去データの活用



▶ LabVIEW™

FLOWSERVE



スマートポンプデモにおけるエッジコンピューティングの例

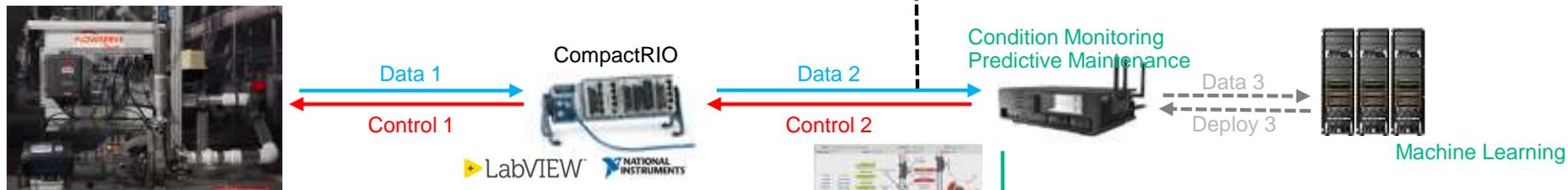
2.5
MB/秒

80
kB/秒

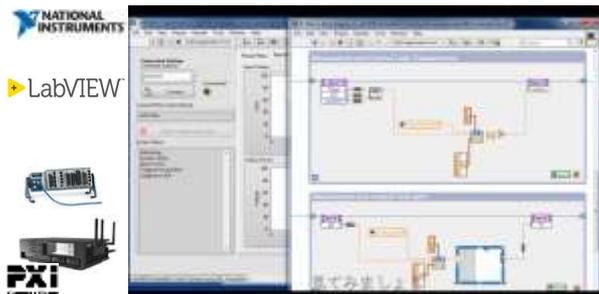


FLOWERVE スマートポンプデモ

① 統合されたリアルタイム監視、障害予測



② 高度なデータ取得と制御

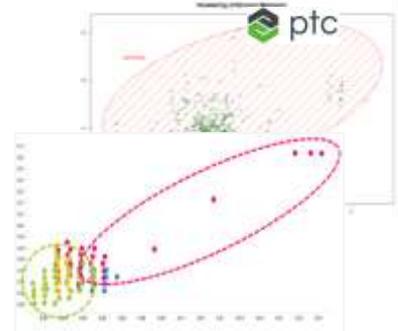


④ 先進的な作業支援

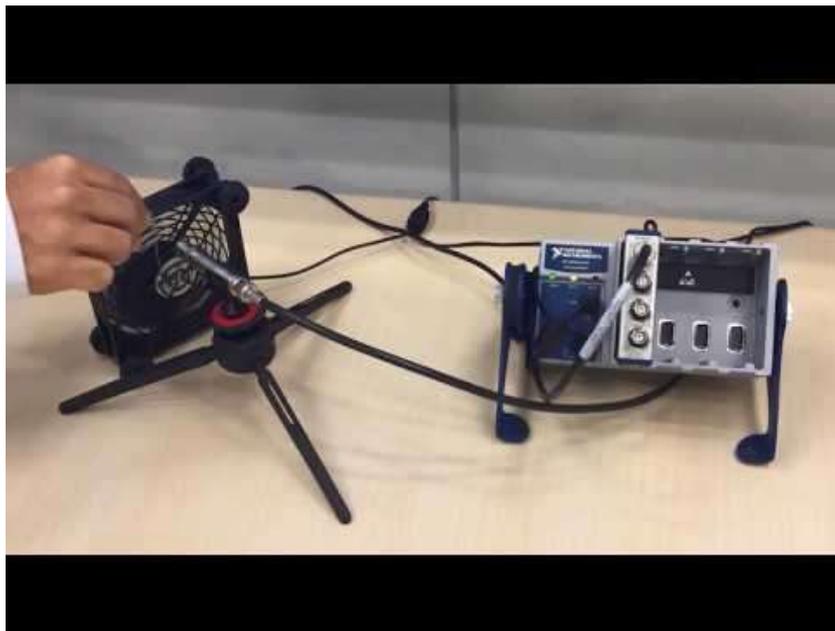
Workmanship information
instruction on shop floor



③ 大量な取得データの分析とリアルタイム分析 (スコアリング)



MTシステムを用いた異常検出



<https://youtu.be/84fllnNohcA>

実際の導入事例

- ・ 音響製品の出荷検査
- ・ 回転機械の出荷検査
- ・ 旋盤の予防保全
- ・ プラスチック材の品質検査

想定される応用例

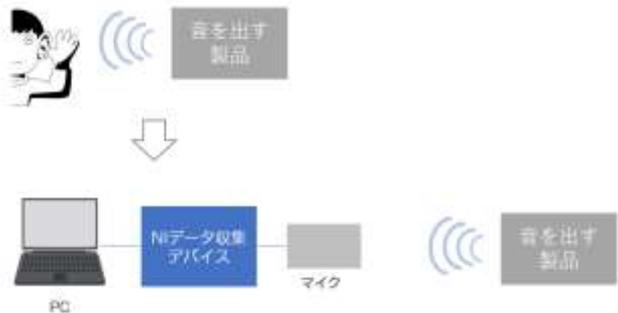
- ・ フィルタの目詰まり検査
- ・ 巻取機のからみ防止
- ・ 異常の直前にプレス機を停止

MT法デモビデオ

MTシステムの導入事例

出典：弊社ユーザの鈴木真人様の事例です
<http://sine.ni.com/cs/app/doc/p/id/cs-17543#>

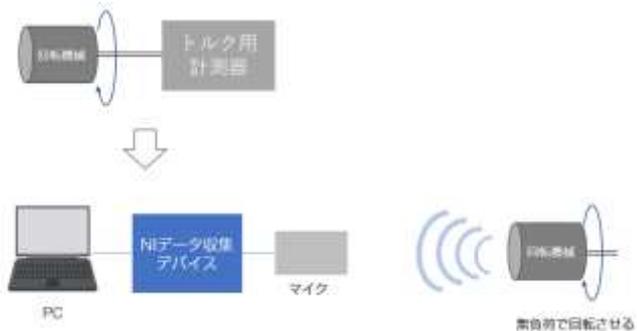
音響製品の出荷検査



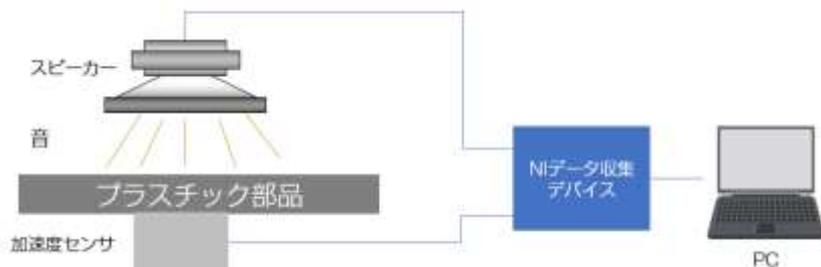
旋盤の予防保全



回転機械の出荷検査



プラスチック材の品質検査



複数のセンサデータから異常検出することも可能

(Ex. 電圧、電流、振動、温度の4種類を同時にみる)

予知保全で使用する代表的なセンサ

物理量	センサ
電圧、電流	<ul style="list-style-type: none">電流クランプセンサ
温度	<ul style="list-style-type: none">熱電対RTDサーモグラフィサーミスタICセンサ
光	<ul style="list-style-type: none">真空管光検出器光導電セル
音	<ul style="list-style-type: none">マイクロフォン
力、圧力、振動	<ul style="list-style-type: none">歪みゲージ加速度センサロードセルAEセンサ
位置 (変位)	<ul style="list-style-type: none">近接センサポテンショメータ線形可変差動変圧器 (LVDT)ロータリ可変差動変圧器 (RVDT)レゾルバ (回転変圧器)光学エンコーダ
流量	<ul style="list-style-type: none">ヘッドメータ回転流量計超音波流量計

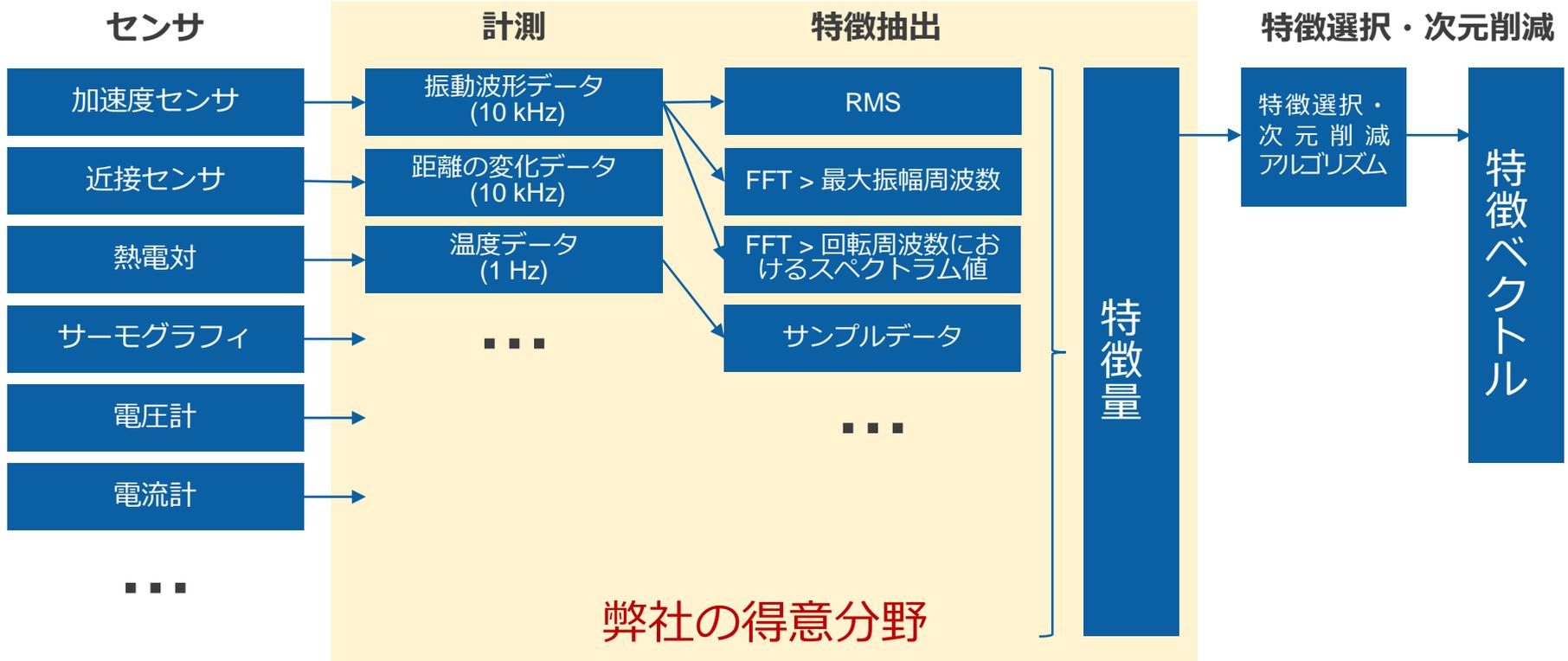
JAXAのイプシロンロケットにも使用されているMTシステム

“ロケットの点検で最も熟練の経験を要するのは、可動ノズルや姿勢制御バルブの駆動電流の波形の診断であり、高度の技術的判断が求められるものである。これには心電図の自動判定にも応用が進められている人工知能技術を活用している。このような技術にも実に様々な種類があるが、イプシロンロケットではマハラノビス・タグチ・メソッド（MT法）と呼ばれる手法を用いている。”

引用元： イプシロンロケットの開発と今後の展望（社団法人日本航空宇宙工業会
平成23年3月会報 第687号, p27)

www.sjac.or.jp/common/pdf/kaihou/201103/20110306.pdf

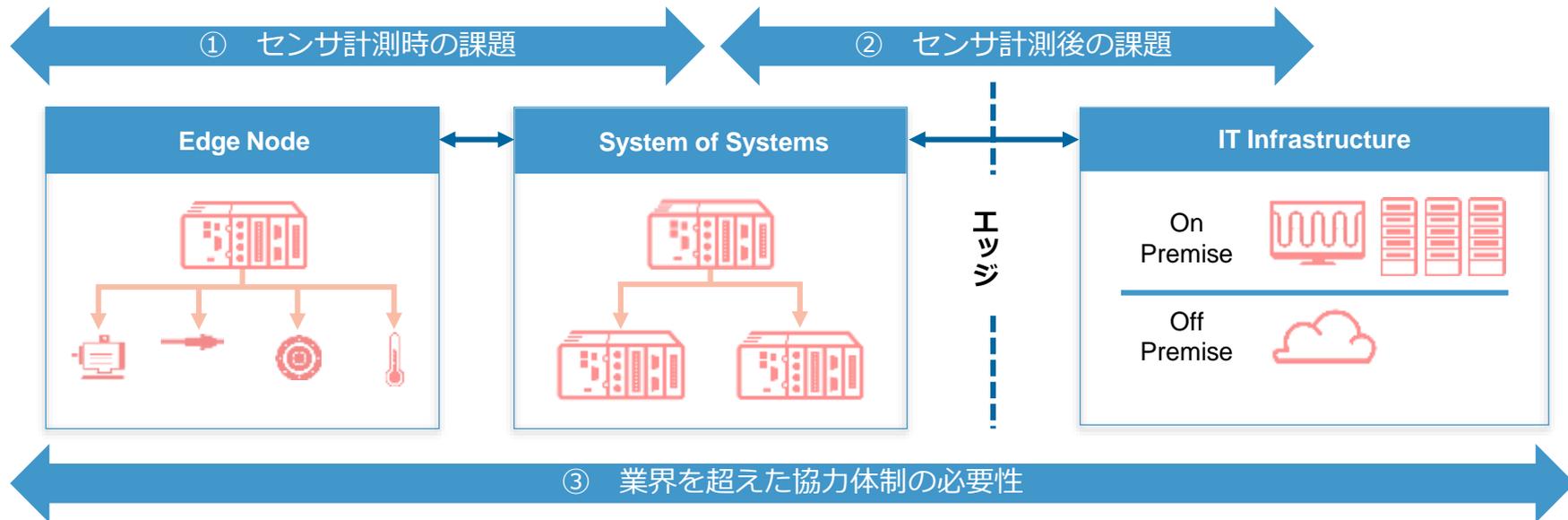
計測装置内での高速演算処理により 人間では不可能な複雑かつ高速な判定が可能に



まとめ：予知保全システムの課題

- データ量の増加（エッジコンピューティング）
- 各種センサの同期計測

- データの表示・解析



- ITシステム
- ITとOTとの統合（システムインテグレータの必要性）
- 分析パートナー

産業界のデータ分析に御興味のある
データサイエンティストとの協業は大歓迎です

Q&A

ご意見、ご要望お待ちしております
勉強会開催もWelcomeです

日本ナショナルインスツルメンツ（株）
シニアテクニカルマーケティングマネジャー
岡田一成（おかだかずなり）
kazunari.okada@ni.com

参考：さらに理解を深めて頂くために

高精度のセンサ計測を実現するためのテクニカルガイド

ni.com/gate/gb/GB_EKITENGGUIDEASM/JA

CompactDAQシステム構築ガイド

ni.com/f/landing/104/ja/

計測データ保存のベストプラクティス

ni.com/f/landing/104/ja/

インダストリアルIoTの動向

ni.com/gate/gb/GB_EKITIIOT/JA



