

予知保全向け IoT センサユニット

【はじめに】

今般、当社は物流センターにおける各種マテハン機器の保守サービスの一つとして、マテハン機器にセンサを取り付けて振動等のデータを測定し、それをもとに機器の部品交換を適切なタイミングでお客様にお知らせする「予知保全型のサービス」を開始した。

【従来のマテハン機器の保守サービスについて】

従来、物流センターのコンベヤ、ソータ、自動倉庫等のマテハン機器に対する保守サービスは、トラブル発生後に部品交換や注油などの各種整備を行う“オンコール対応”の「事後保全型サービス」と、定期点検の際に清掃・調整・整備と軽微な部品交換を行い、部品の消耗度合いや損傷状況に応じて、修繕・補修が必要なものについてお客様に報告し、補修工事を行う「予防保全型サービス」との2本立てで対応してきた。

しかし、「事後保全型サービス」はトラブル発生後に対応するものであることから、例えばソータのような仕分けラインに重大な機械的トラブルが生じた場合、物流センターのシステム全体を長時間止めて対応をしなければならない場合もあり得る。そうなる、物流センターが、本来受けられたであろうサービス収入低下を招くだけでなく、代替運用の為に人海戦術による対応も必要になるため、お客様にとって金銭的な面や、荷主や荷受け人への信用低下の点においても大きな問題となる。

この点で、「予防保全型」は事前に大きなトラブルを回避すべく定期点検主体のサービスとなることから、「事後保全型」ほどの大きなトラブルを生じない事から、マテハン機器の保守保全方法として優れているが、定期点検の頻度が少ない場合、部品の劣化や障害の発見が遅れ、突発故障が発生したり、これを補うために部品の交換時期を定期点検の時期に合わせて早めに見積もる傾向が高くなりやすい。結果的には部品交換のサイクルが早めになり交換回数が増え、お客様に必要以上の出費をお願いする場合も生じ得る。

もちろん、部品交換のタイミングが遅れて重大なトラブルが生じる事を回避する事が総合的には出費の抑制につながるが、部品の適切な交換時期が予め分かり（予知）、それをお客様に通知することができれば、物流センターを最適な保守費用で安全に運用することが可能になる。

【予知保全サービス開発の背景】

近年、PC やスマートフォンなどの情報機器の進化は言うまでもなく、特に IoT 社会における有効活用を踏まえ、映像、音声、振動、加速度、磁気、気圧、温度、湿度、臭いなどの各種センサー類の発展が目覚ましい。特に進歩の著しい半導体技術を利用した超小型で高性能なデバイス開発により、価格も安くなってきたことから、これらのセンサ類をセンシング対象物品に取り付けて PC やスマートフォンなどに情報伝達したうえで、これを分析・加工する各種アプリケーションが多く登場するようになってきた。いわゆる IoT 社会の到来は、従来の家電製品の販売のように製品単体販売型のビジネスでは得られないような、多彩なサービスを提供できるようになってきている。

【予知保全サービスの具体的な仕組み】

<予知保全サービスのコンセプト>

当社の考える予知保全サービスは、マテハン機器の中で特に故障と直結する可能性の高い、モータ利用の回転軸（プーリ）などにセンサを取り付け、そのセンシング情報を通信機器を介してPCに送信し、PCの予知保全アプリケーションにより振動情報等のセンシング情報を分析・加工してマテハン機器の最適な部品交換時期を算出し、事前にお客様にお知らせすることで、物流センターの運用を止めずに、定期点検と部品交換を可能とするシステムを構築したものである。

<予知保全サービスの機能>

この予知保全サービスのために盛り込む機能として、次の5つの機能を検討した。

- ①常時監視機能
24時間365日、マテハン機器に設置したセンサデータをAIが監視する。
- ②異常発報機能
監視データから異常を検出した場合、最適な部品交換タイミングなどの情報を通知する。
- ③オンライン機能
監視データをインターネット経由でクラウドにアップロード(オプション)する。
- ④見える化機能
監視状態、データをいつでも、どこでも、確認可能とする。
- ⑤レポート機能
メンテナンス履歴、予兆監視、傾向分析をレポートする。

<本サービスを実現するための技術的なポイント>

マテハン機器から生じる振動情報を長期間に亘って継続的に取得し、部品毎の周波数の経時的変化（固有周波数からの変動量）を観測することにより、異常が発生した部品と当該部品の故障発生時期とを推定するという方法が本サービスの実現には好適であろうと思われる。

そこで、当社が販売するマテハンシステムの中でも、システムが停止した場合の影響が大きい自動倉庫（マルチシャトル）の昇降設備（リフト）で、実証実験を実施することにした。

マルチシャトルのリフトは、プーリが最上段と最下段とに設けられているが、このプーリに内蔵されているベアリングは外部から簡単に目視ができず、ベアリングの異常把握や交換も容易でないことから、これに振動センサ（加速度センサ）を取り付けることにした。3軸（X、Y、Z）方向の振動（加速度）を計測し、アナライザで解析することにより、振動源である各部品毎の周波数成分に分解する。

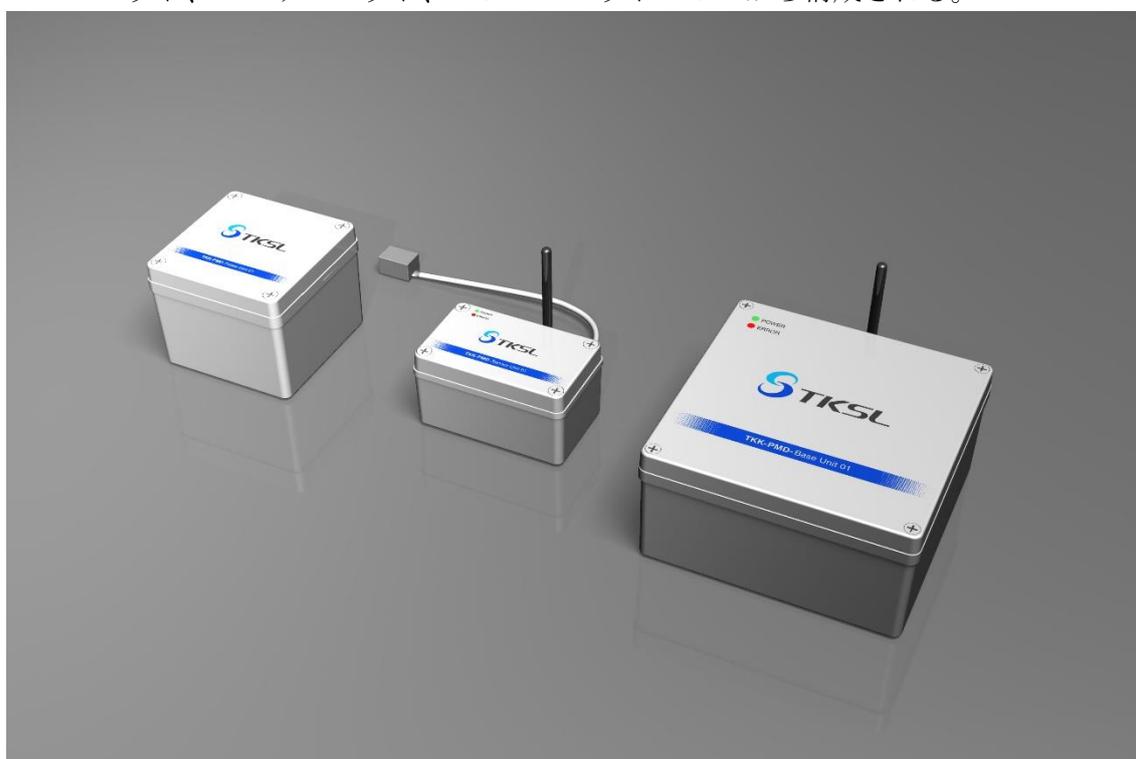
また、前述のとおり、リフトを構成する各部品は経時的な劣化（例えば、ボルトの場合は緩み）の進行で、部品から発生する振動の大きさと周波数が変化すると考えられることから、各部品から発生する振動に係る情報を長期間継続的に取得し、部品毎の周波数の経時的変化を観測して異常発生部品と故障発生時期とを推定することにした。

なお、振動情報の取得が長期間に亘ることと、異常検知のパターン解析等が困難と思われることから、これらの解析作業にAI（人工知能）を利用することを着想し

た。AI に予め正常モデルを機械学習させ、各部品から発生する周波数の変動量と部品の劣化の程度（異常度）との乖離を計算させ、非正常度を算出する方法である。AI によってモデル化された正常状態と比較する事で、正常モデルとの乖離具合から段階に応じて「点検してください」「部品を購入してください」「部品を交換してください」の具体的な3つの指示（異常発報機能）を可能とし、真のCBM（Condition Based Maintenance）を実現したことが、単純な振動変化のモニタリングとは大きく異なる点である。

<システム構成（TKK-PMD シリーズ）>

本システムに関する上記の基本構想をもとに、予知保全サービスの具体的な仕組みとして、次のIoTセンサを用いるシステム構成を考えた。IoTセンサのユニットは、ベースユニット、センサユニット、パワーユニットの3つから構成される。



左：パワーユニット、中：センサユニット、右：ベースユニット

IoT センサユニット T K K - P M D シリーズ					
センサ部	センサ型式	ADXL357	UNISONet Classic	物理層	IEEE802.15.4
	計測値	3 軸加速度		周波数帯	2.4GHz
	主な用途	マシヘルスマニタリング*		1 ホップ 範囲	~500m (見通し)
	計測範囲	± 10G/ ± 20G/ ± 40G		時刻同期精度	10 μ s
	計測周波数	最大 2KHz		最大ホップ 数	10 ホップ°
				最大速度	16Kbps (~10 ホップ°) 、 32Kbps (~4 ホップ°)
				接続可能台数	100 台以上

※UNISONet は、ソナス株式会社の独自無線規格の名称です。

①ベースユニット

予知保全のデータ収集の方法として、センサを予知保全対象の機器の該当箇所に多数取り付けることになるが、これらのセンサの測定データを1カ所にまとめて収集し、それをPCやクラウドなどに送付して解析する方法とした。そこで、データ収集の基地となるユニットとして最大100台のセンサユニットを無線で接続し、各センサのデータ収集作業を制御できるものとした。

②3軸加速度センサの採用

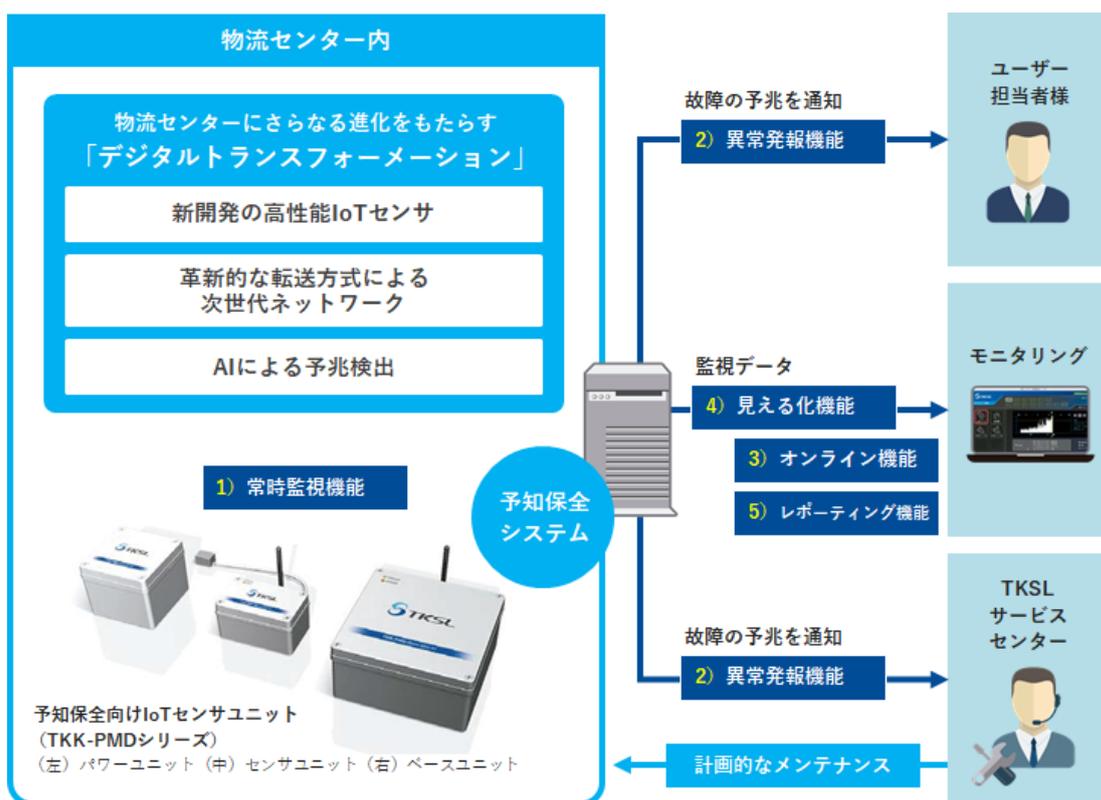
故障の兆しを示す振動は、XYZ3軸のどの方向に現れるのか定かではない。そこで、センサユニットのセンサには微細な振動の変化を正確に検知するため、最新のMEMS技術を用いた小型・高精度・3軸型のAnalogDevicesADXL357を搭載することとした。

③IoTに適した無線通信技術の採用

ベースユニットと多数のセンサユニットとの間をつなぐ無線通信には、東京大学発のベンチャー企業であるソナスが開発したIoTデバイス用の無線通信技術「UNISONet」を採用した。UNISONetとは、ネットワークにつながる多数の構成機器(ノード)を中継基地局として活用し、マルチホップネットワークを構築する無線通信技術である。特に、データの転送方式として「同時送信フラッディング」に「細粒度スケジューリング」という技術を組み合わせることにより、センサユニットが取得したデータを省電力で効率よく収集することができるようになった。このため、従来のようにベースユニットを親機、各センサユニットを子機としてネットワークを構築するスター型のネットワークと異なり、低消費電力・高信頼・高速・双方向低遅延・時刻同期等IoT社会が求める多くの要素を有する無線通信システムが可能になった。

④リーズナブルな価格で提供可能

設備の予知保全に向けて、必要な機能に的を絞って構築することで、一般のIoTセンサのように冗長な機能を削ぎ落とし、リーズナブルな価格での提供を可能とした。このIoTセンサユニットを予知保全の対象となる機器に取り付け、本システムを管理するサーバと、お客様や当社サービスセンターのPCとをつなぎ、予知保全サービスを行うものとする



実装機能	1) 常時監視機能	24時間365日、物流機器に設置したセンサーデータをAIが監視
	2) 異常発報機能	監視データから異常を検出した場合、最適な交換タイミングを通知
	3) オンライン機能	監視データをインターネット経由でクラウドにアップロード (オプション)
	4) 見える化機能	監視状態、データをいつでも、どこでも確認可能
	5) レポート機能	メンテナンス履歴、予兆監視、傾向分析をレポート

【予知保全サービスの期待される効果（予防保全型サービスとの比較）】

本サービスは、これからお客様のもとでじっくりと検証を受け、メリット、デメリットが明確になってゆくものと思われるが、今の時点で当社が考える、従来の「予防保全」に対するメリットは下表に示したものとする。

項目	予防保全	予知保全
点検作業	人手による手作業	システムによる自動化
点検方法	点検作業のためライン停止が必須	常時監視の為ライン停止不要
判断基準	外部から良否の判断が出来ない 部品は推測	部品の振動を機械学習により判断
正確性	品質は個々のサービスマンの経験・技量に依存	学習モデルに基づき定量判断し AIによる精度の向上
作業品質	交換作業品質はチェックリストで確認	センサーで軽微な作業不良を検知
突発故障	突発故障の防止は点検周期に依存	常時監視のため突発故障ゼロ

【おわりに】

本稿で紹介したとおり、当社はこのIoTセンサ（TKK-PMDシリーズ）を使用した予知保全システムで、お客様のマテハン機器を常にベストな状態で安定稼働できるよう、“止めない物流”を推進してゆく所存である。そして、デジタルフォーメーションを踏まえたシステム開発を通じてマテハン業界のさらなる発展に寄与できればと考える。また、TKK-PMDシリーズはマテハン機器のみならず、あらゆる産業機械の安定稼働を支えるデバイスになり得ると考え、単体販売も推進する。