

# プラント向けエッジ側状態監視処理システムの開発

## Development of Site Parameter Monitoring System with Edge Computer

三菱重工業

中重 佑一

Yuichi Nakashige

Member

三菱重工業

鉄谷 祐二

Yuji Tetsutani

Member

三菱重工業

河合 佑紀

Yuki Kawai

### Abstract

In this paper, we propose a remote monitoring system for field instruments in plant operation using SMEc, which combines a camera with deep learning. By the needle position estimation logic, a recognition rate of 99% or more could be obtained within the target accuracy of 1 scale error. It was also confirmed from the response evaluation test that the dynamic behavior had sufficient responsiveness. Therefore, we believe that the introduction of SMEc has given us the prospect of realizing a system capable of "Introduction of systems without modification of actual machines" "Collecting field data in narrow areas" and "Data transmission with low communication capacity". In addition, continuous monitoring of plant facilities and equipment can be realized with a small capital investment, and contribution to the safe and stable operation of the plant can be expected.

**Keywords:** Edge Computing, Remote Monitoring System, Deep Learning, Image Recognition

## 1. はじめに

プラントを運用していく上で、日々のプラント設備の状態管理は非常に重要である。

一方、多くの設備では、監視計器として現場指示計のみが取り付けられており、定期的なプラント運転員による巡回点検が必要不可欠な状態である。この際、巡回範囲はプラント全体と広範囲に渡るため、巡回業務に係る負荷は高く、プラントの運用コストにも大きな影響を与えている。高い巡回頻度を実現する事も困難な状況にあり、異常発生から検知までに時間を要する可能性もある。

巡回業務の負荷軽減を目的に、遠隔監視できる計器を増設することを考えた場合、現場計器の交換や計器信号を監視制御室に伝送するための工事等に係るコストインパクトが大きい点が問題となる。

そこで本書では、上記課題を解決すべく、カメラと深層学習を組み合わせたプラント向けエッジ側状態監視処理システム（以降、SMEc\*1 と呼ぶ）を提案する。SMEc は、小型のシステムであり、現場計器を撮影できる小さなスペースがあれば容易に取付けが可能である。これまでの類似システムでは、カメラ画像をサーバ伝送後にサーバ側で深層学習を行う構成であるため、画像を送るためのネットワーク負荷が高く、ネットワーク環境に制約があるプラントへの適用を考えた場合には課題が残る。

一方、SMEc はカメラ画像をエッジ側で深層学習を行い、深層学習から得た計器指示値の推定値（小容量データ）をサーバ伝送するため、ネットワーク負荷を小さくできる。

SMEc 導入により、「実機改造レスでのシステム導入」、「狭隘部等での現場データ収集」、「低通信容量でのデータ伝送」を得ることができる。そのため、少ない設備投資でプラント設備・機器の連続監視が実現でき、プラントの安全・安定運転への貢献も期待できる。

\*1 : SMEc : 当社開発のカメラと深層学習を組み合わせたプラント向けエッジ側状態監視処理システムであり、カメラの撮影画像を利用したアナログメータの遠隔監視が可能である。アナログメータの読み取りに深層学習

(CNN\*2) を利用し、データの小さ量化（画像データ→数値データ）が可能である。また、フィールドバスや PHS のような既存ネットワーク上でのデータ送信が可能であるため、既存設備に手を加えるような大規模改造は必要なく、現場計器を撮影可能な小スペースさえあれば容易に取付けが可能。

\*2 : CNN(Convolutional Neural Network) : 局所的な情報の抽出化、及び位置普遍性を持たせた順伝播型ニューラルネットワークを利用したアルゴリズムである。DNN(Deep Neural Network)を 2 次元データに対応させたもので、画像認識に対して高いパターン認識を示す。

## 2. SMEc について

SMEc とは、プラント内の限られたスペースで、現場計器の遠隔監視を可能にするためのシステムであり、複数計器の同時監視も可能である。主要構成部品は、カメラ、エッジコンピュータ (GPU ユニット)、ゲートウェイユニット (対外伝送器) である。SMEc は、カメラ画像を用いてエッジ側で深層学習を行い、深層学習から得た計器指示値の推定値 (小容量データ) をサーバ伝送することを特徴としており、ネットワーク環境に制約のあるプラントへの適用についても有効である。

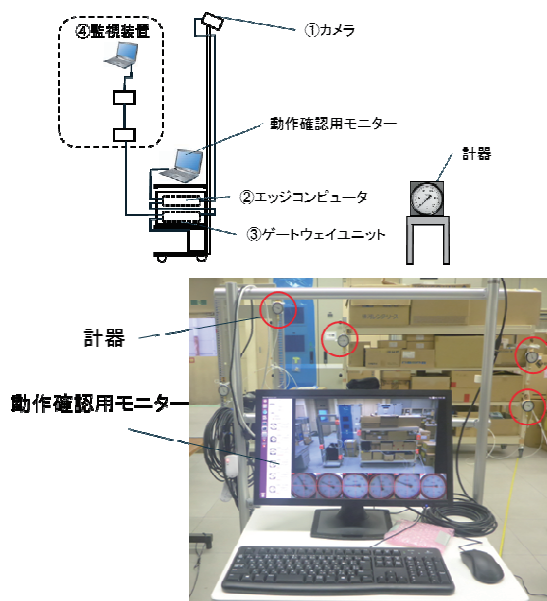


Fig.1 SMEc 外観

### 2.1 システム構成

SMEc のシステム構成を Fig.2 に示す。深層学習は GPU ユニットで行い、USB カメラで撮影したカメラ画像をインプットとする。深層学習と後述の針位置推定ロジックから得られた推定値 (小容量データ) を対外伝送器によりサーバ伝送することで、これまで遠隔監視できなかった現場計器についても、離れた場所での遠隔監視が可能となる。また、計器位置の中心合わせ、及びレンジ設定などの SMEc 使用前に必要な初期設定は、モニタ画面、及び PC 周辺機器を接続するだけで簡単に行うことができる。

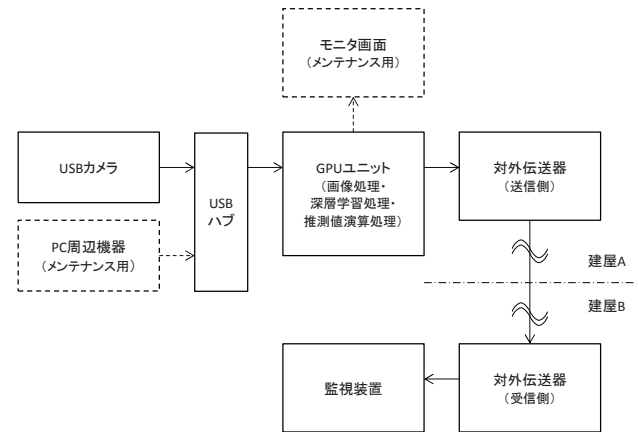


Fig.2 システム構成

### 2.2 針位置推定ロジック

針位置推定には、Fig.3 に示すような一般的な深層学習である CNN と、誤推定防止のための補正ロジックを組み合わせたものを用いている。

深層学習には、様々な指示値を示した複数の計器画像を教師データとして与えて学習させておき、これにカメラ画像をインプットとして深層学習を行わせる。基本的には深層学習から得た推定値を答えとして指示値を算出するが、使用環境や、計器の鏡面反射等の影響により、深層学習だけでは誤推定してしまう可能性がある。例えば、カメラ画像によっては正しい指示値の位置から 180 度反転した向きを答えとして推定してしまう場合もある。そのため、上記のような場合でも、補正ロジック適用による認識率の精度向上について工夫した。

深層学習から得られた結果の尤度が高い場合には、深層学習の結果をそのまま推定値として出力するが、尤度が低い場合には、補正ロジックから得られる補正量と推定値から計算した補正値を出力する。補正ロジックにおける補正値は、「画像照合」、又は「前回値」の結果の比計算 (重みづけ計算) から算出する。例えば、正しい指示値の位置から 180 度反転した向きを推定値として深層学習が算出した場合 (推定値の尤度は低くなる場合)、補正ロジックが有効となり、カメラ画像と計器画像をピクセル単位で画像照合を行い、照合率として類似度を算出する。このとき、類似度が高い場合には、類似度を用いた補正計算が行われるが、類似度が低い場合には、前回算出結果との比較が行われ、比較結果から前回値との尤度が高ければ、同様にこれを用いた補正計算を行う。

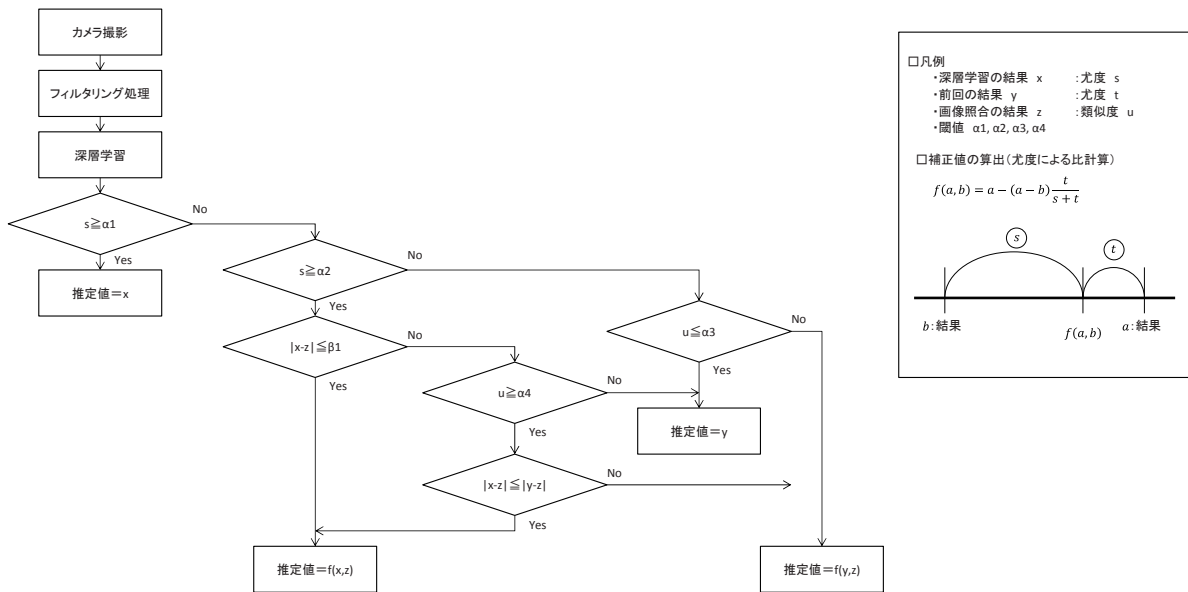


Fig.3 針位置推定ロジック

### 3. 精度評価試験

圧力キャリブレーションにて一定圧力を与えた場合の整定状態における指示値の読取精度に関する試験を行った結果、後述の通り、針位置推定ロジックにより、誤差1目盛り以内(1.0kPa以内)での読取精度は99%以上となる結果を得た。

#### 3.1 試験条件

試験条件を Table.1 に示す。1台のアナログメータを読取対象として、圧力キャリブレーションにて一定圧力を与えた場合の整定状態において、SMEcを用いた針位置推定を行う。

Table.1 試験条件\*3

項目		条件
試験環境		屋内
設定圧力		試験条件による
試験時間		30秒間
読取計器	台数	1台
	計測レンジ	-10~60kPa
	カメラ解像度	640×480

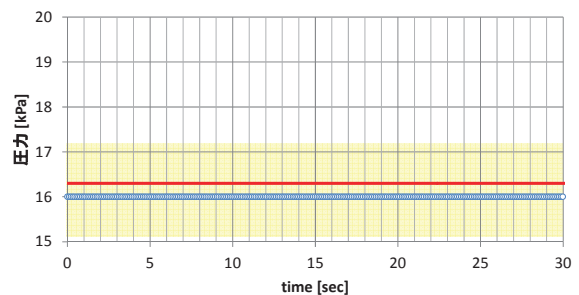
\*3 針位置推定ロジックの設定値 $\alpha 1 \sim \alpha 4$ については、設置環境に合わせた調整要素となり、設定要領、及び設定値は社内ノウハウであるためここでは明記しない。

#### 3.2 目標クライテリア

圧力キャリブレーションにて一定圧力を与えた場合の整定状態において、SMEcによる針位置の推定を行い、誤差1目盛り以内(1.0kPa以内)での読取精度が99%以上であること。

#### 3.3 試験結果

圧力キャリブレーションにて一定圧力を与えた場合の整定状態における試験結果を Fig.4 に示す。圧力設定値16.3kPaに対する推定値は16.0kPa(推定値の分解能2.0kPa)となり、誤差1目盛り以内(1.0kPa以内、同グラフの薄黄範囲)での認識率は99%以上となる結果を得た。



項目	結果
総データ数	247点
正解点数	247点
不正解点数	0点
精度	100.0%

Fig.4 精度評価試験 試験結果

## 4. 応答性評価試験

実機適用を想定し、実際の現場計器を対象として圧力変化させた場合の試験結果から、SMEc の針位置推定ロジックに関する応答性評価を行い、十分な追従性を持つことが確認できた。

### 4.1 試験条件

試験条件を Table.2 に示す。1 台のアナログメータを読取対象として、現場計器の圧力を動的変化させた場合において、SMEc の針位置推定ロジックに関する応答性評価を行う。

Table.2 試験条件

項目		条件
試験環境		工場現場
設定圧力		試験条件による
試験時間		30 秒
読取計器	台数	1 台
	計測レンジ	0~20MPa
	カメラ解像度	640×480

### 4.2 試験結果

現場計器の圧力を動的変化させた場合の試験結果を Fig.5 に示す。現場計器の値（動画読取り値\*4）が赤線、SMEc 推定値が青線である。整定状態の計器圧力を 0 秒時点で 1MPa から 14MPa まで 4 秒程度（5~9 秒時点）で急上昇させた後、計器圧力を徐々に低下させた場合の様子を示している。急上昇時の過渡期（5~7 秒時点）は針位置が細かく振れ、カメラ画像で針位置を明確に捉えることができないため、深層学習による推定がうまくいかず、現場計器との誤差が大きくなってしまいます。しかし、過渡期以降に、針位置が落ち着いてくると、現場計器に近い値を推定値として算出するようになるため、圧力の動的挙動にも追従できていることが分かる。

\*4 現場計器は指示値を記録する機構を具備していないため、応答性評価試験では、動画撮影後の指示値を目視確認にて記録している。

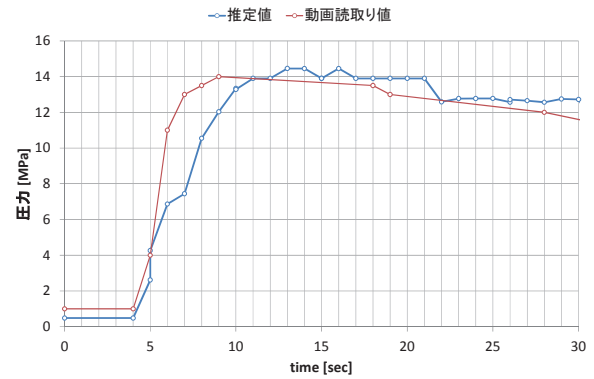


Fig.5 応答性評価試験 試験結果

## 5. おわりに

本書では、プラント運用における現場計器の遠隔監視システムとして、カメラと深層学習を組み合わせた SMEc による手法について提案した。針位置推定ロジックにより、目標精度である誤差1目盛り以内で99%以上の認識率を得ることができた。また、応答性評価試験から動的挙動についても十分な追従性を持つことを確認することができた。このことから、SMEc 導入により、「実機改造レスでのシステム導入」、「狭隘部等での現場データ収集」、「低通信容量でのデータ伝送」が可能なシステム実現の目処を得たものと考えられる。そのため、少ない設備投資でプラント設備・機器の連続監視が実現でき、プラントの安全・安定運転への貢献も期待できる。

### 参考文献

- [1] NVIDIA Japan, “組み込みシステム開発ソリューション|NVIDIA Jetson|NVIDIA”[オンライン]
- [2] Evan Shelhamer(Berkeley Artificial Intelligence Research), “Caffe|Deep Learning Framework,” [オンライン]
- [3] Softing Industrial Automation, “FOUNDATION Fieldbus H1 Single Channel(Automatically as Visitor or LAS) USB Interface Card,” [オンライン]