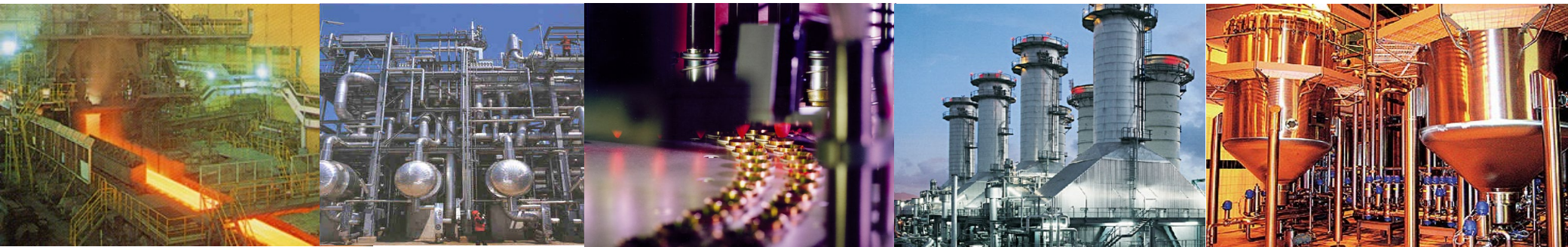


ソフトセンサ構築／演算ツール EFPROSENS(エフプロセンス)



富士電機株式会社

2025年9月

包括的な機能を有するソフトセンサー設計ツールの開発及び実装事例 Development of Comprehensive Soft-Sensor Design Tools

製品名称：EFPROSENS(エフプロセンス)

EF→EFFECTIVE,EFFORTLESS,EFFICIENCE etc.

PRO→PROFESSIONAL, PROFIT etc.

SENS→SENSOR,SENSE,SENSATION etc.

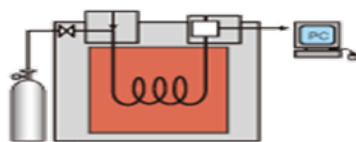


2024年度 計測自動制御学会(SICE) 技術賞受賞
2024年度 化学工学会賞 技術賞受賞

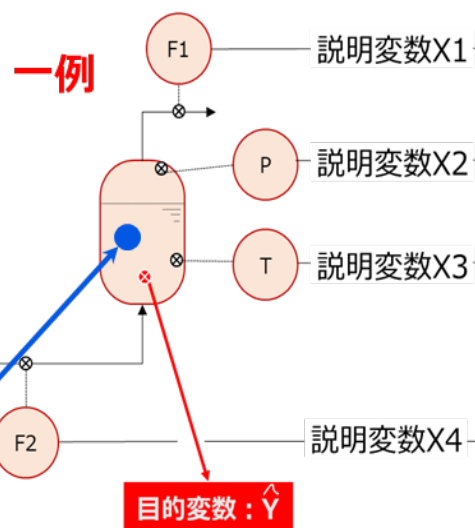
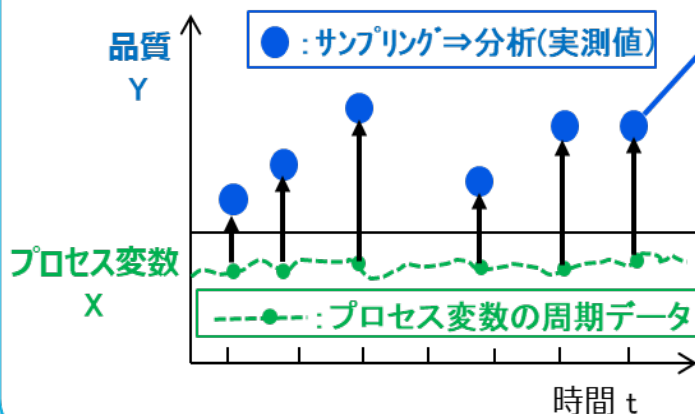
オンラインでリアルタイムに測定可能な説明変数 x とリアルタイムに測定困難な目的変数 y との間でモデル式を作成し、連続的に 目的変数 y を推定（推算）する手法

説明変数 $x \Rightarrow$ 高頻度でリアルタイムかつ安価に計測できるセンサデータ（周期データ）

分析装置



Y : サンプルング $\Rightarrow$ 分析値（実測値）



モデル式

モデル式による推算（シミュレーション）

<モデル式構築>

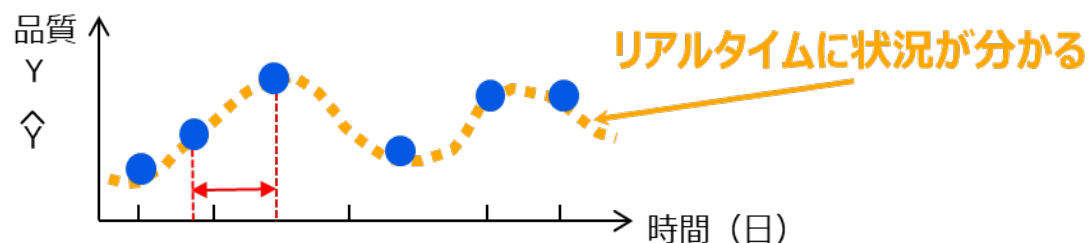
$$\hat{Y} = f(X_1, X_2, X_3, X_4)$$

f : 重回帰モデル・PLS・SVR等の統計・機械学習モデル

<目的値推算>

X_1, X_2, X_3, X_4 から $\hat{Y}$ 値を推定

X_i : 安価にリアルタイムで計測可能なデータ（温度・圧力・流量・・・）



役 割

- ・分析計の代替
- ・異常検出（分析計，計器）
- ・効率的なプロセス制御
- ・プロセス変数間の関係解明（目的変数への寄与）

適 用

- ・銘柄切替（リアルタイム）
- ・サンプリング回数低減
- ・リアルタイム監視
- ・高額分析装置の代替
- ・未来値予測

効 果

- ・原料ロス低減
- ・安全性向上
- ・最適化，品質安定化
- ・経費削減
- ・オペレータ支援

生産性向上

- ・歩留まり向上
- ・稼働率向上
- ・エネルギー効率向上
- ・意思決定の質の向上

→ある程度の情報で意思決定ができることで
リスクを回避し，よりの確な意思決定が下せる

・迅速にソフトセンサを設計し現場実装
することが重要

学術振興会

PSE143WS32発足

早期に高精度のソフトセンサを現場実装しよう
→課題を解決し発展形ツールを開発

○大手化学メーカー：11社 ○EPC：3社 システムベンダ：富士電機 ○大学側：船津先生（東大）、加納先生、金先生（京大）、武田先生（静大）

WS32は、成功裏に閉会

従来法に比べて包括的で無駄のない（早く精度の高いモデル式設計可能）
ツールの開発に成功した。

当社が商品化、保守実施を受け開発開始

課題解決をしNET公開⇒ソフトウェアは
保守されないままに衰退⇒時間が経てば
誰も使わなくなり消滅

ソフトセンサ研究会を発足

発起人：船津先生（奈良先端科学技術大学, 東大名誉教授）, 金先生（東京農工大学, 前京大）
大学側：加納先生（京都大学）, 武田先生（静岡大学）
○化学メーカー：9社 ○EPC：3社 ○システムベンダー：富士電機
☆富士電機は、船津先生、金先生と業務委託契約を締結（技術支援）

2023年5月：オンラインツール リリース
>日刊工業新聞（2023年5月24日付）1面

2024年度計測自動制御学会（略称SICE）学会賞『技術賞』受賞

2024年度化学工学会（略称SCEJ）学会賞『技術賞』受賞

2025年4月：オフラインツール リリース

● 従来手法（属人化した作業）

解析は、様々な手順、ツールで属人的に進める



解析処理

データ収集

変数選択

データ選択

パラメータ決定

モデル選択

精度検証

解析評価に
必要なツール
を選択

● 本製品

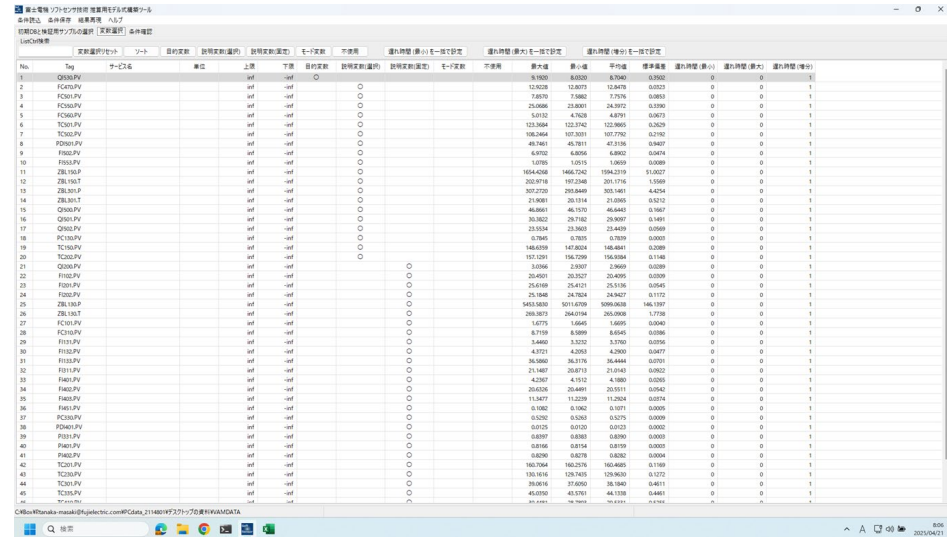
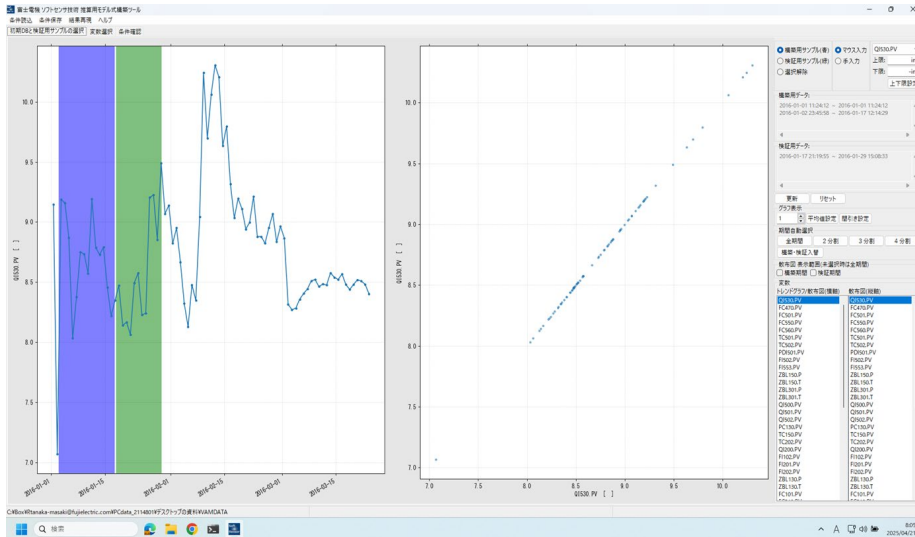
標準化された手順でデータを自動処理する



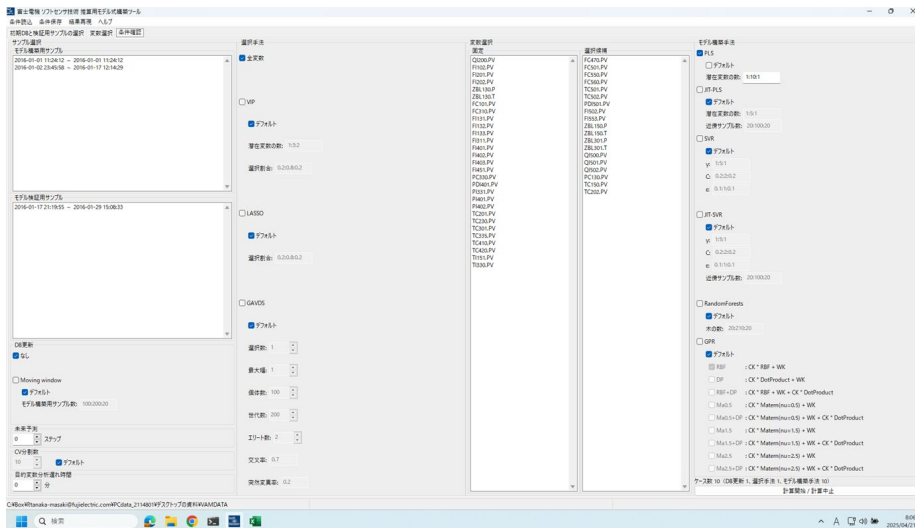
データ収集 → データ選択 → 変数選択 → モデル選択 → パラメータ決定 → 精度検証

産業界のニーズを取りまとめ、それに対して必要十分な手法を学術的な立場から選択するという、産学の強みを合わせた活動を実施した。また、ツールのインターフェイス設計、ソースコーディング、動作検証までを全て自ら行うことで、使用者の納得できるユーザーフレンドリーで包括的かつ操作や機能面で無駄のないツールとしてすることができ、その結果、対象とするプロセスのための予測精度の高いソフトセンサーを迅速に構築するツールおよびソフトセンサーの現場実装・運用ツールをほぼ開発し、2020年3月に成功裏に終了した。

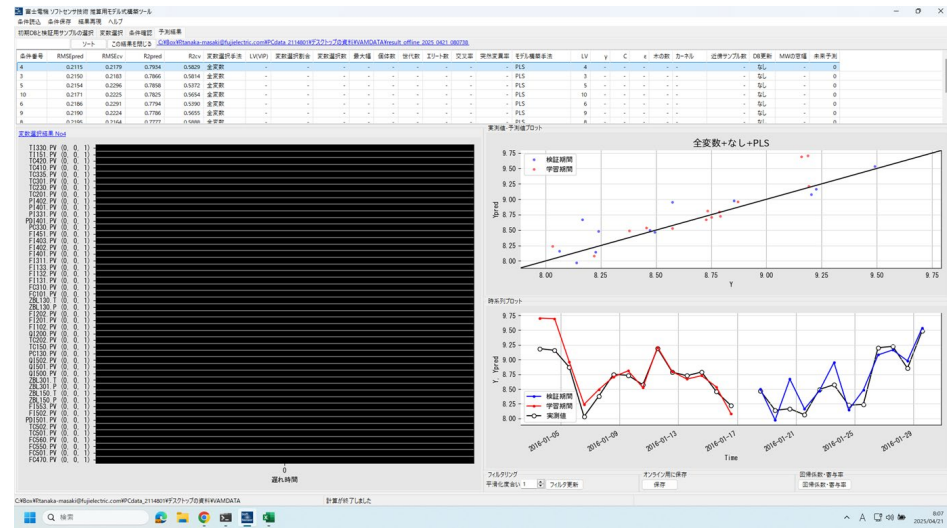
変数選択画面（入力）



モデル式設計画面（入力）



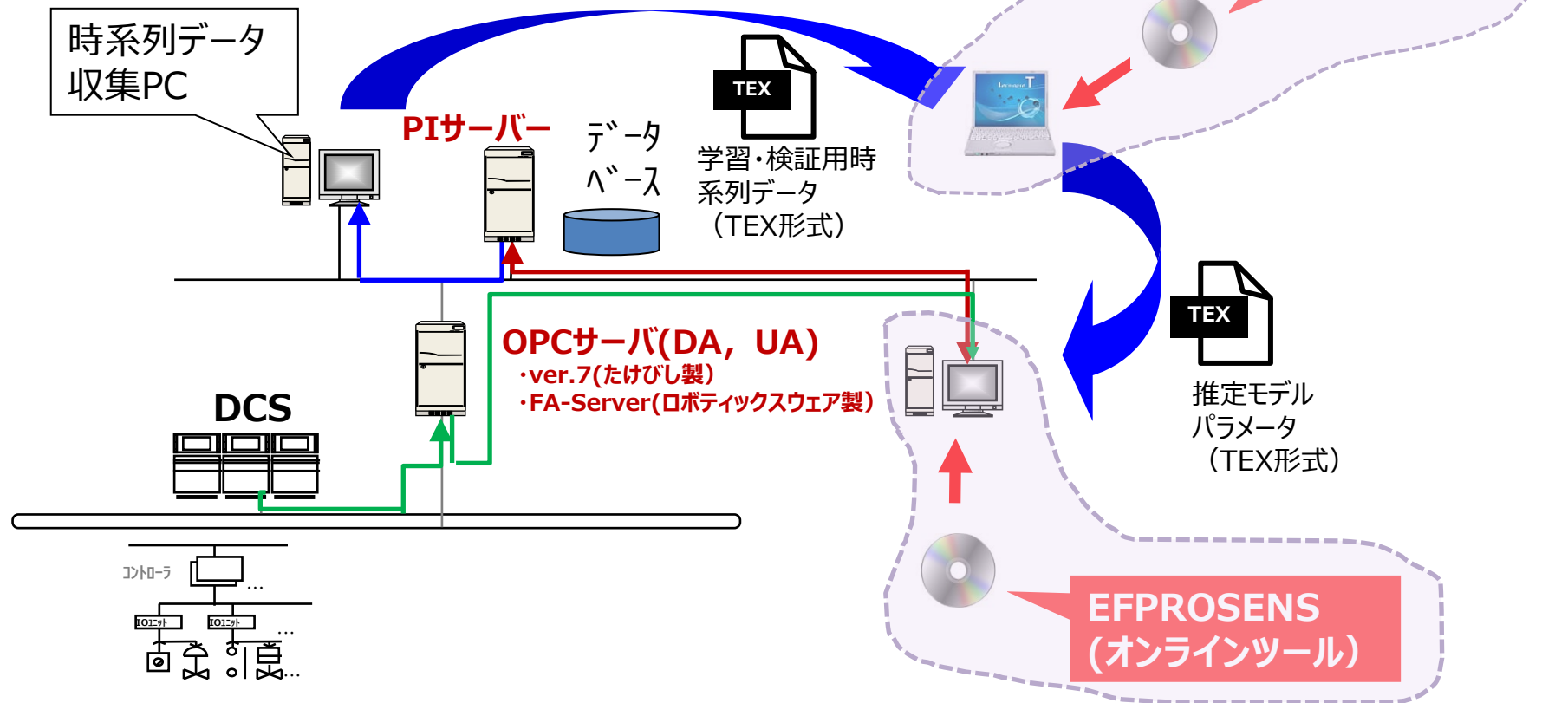
解析結果表示画面（出力）



- ・オフラインツール、オンラインツール及びPIMS（PIサーバー）から当該ツールに必要な時系列データ及びタグ情報ファイルを自動収集＆作成
- ・ソフトセンサ実装までの一連の処理が容易に実現

 : 当社の製品

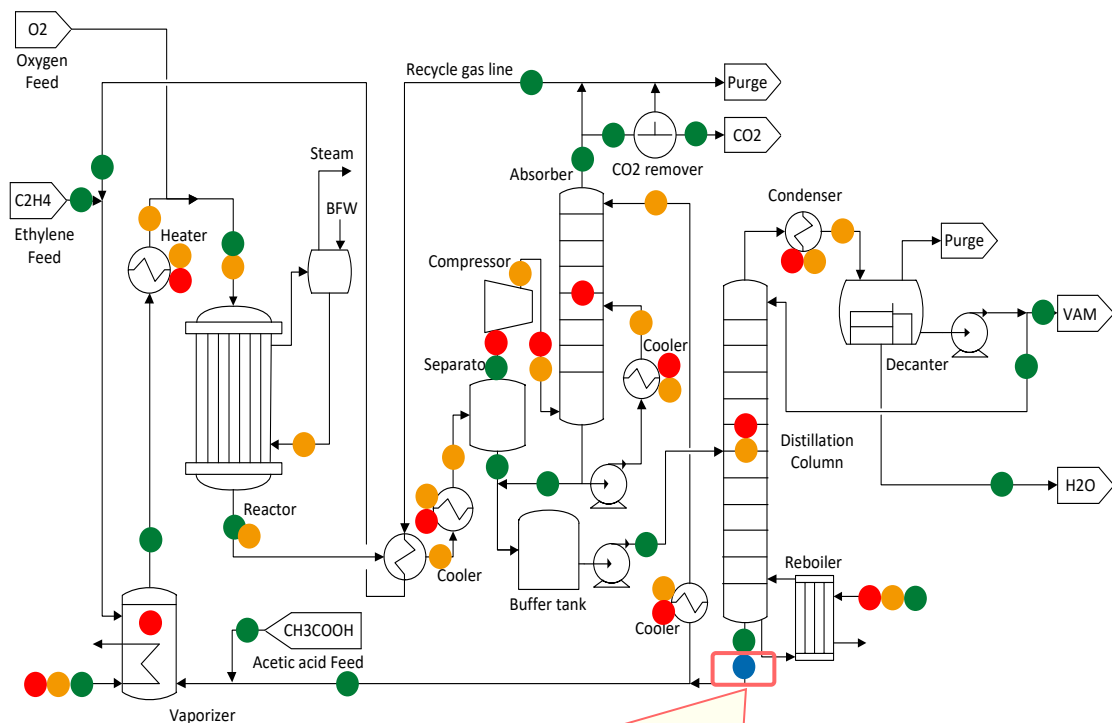
システム構成と機能イメージ



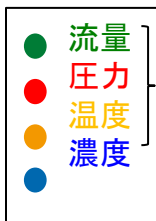
製造プロセスの中で、①－④に該当するものがあります？
あれば、ソフトセンサを検討する価値は、十分にあります。

- ①製品スペック（不純物濃度、純度）限界値に対して余裕有
　>例えば、不純物濃度の上限値が1,000ppmに対し
　　500ppm以下となる様な条件で運転
- ②分析の結果が出るまで運転を一時停止（バッチ）
- ③高価なオンライン自動分析装置で目的値を監視
- ④トラブル（例：閉塞）による非定常作業（解除作業）
　>解体洗浄、清掃、組込、立上

- ◆ 酢酸ビニルモノマー（VAM）製造プロセスのシミュレータから生成したデータへの適用
- ◆ 従来手法としてのPLSと比較し、モデルの自動選択機能により優れたJIT-PLSが自動選択された。



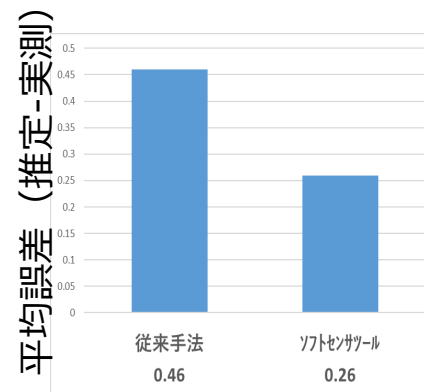
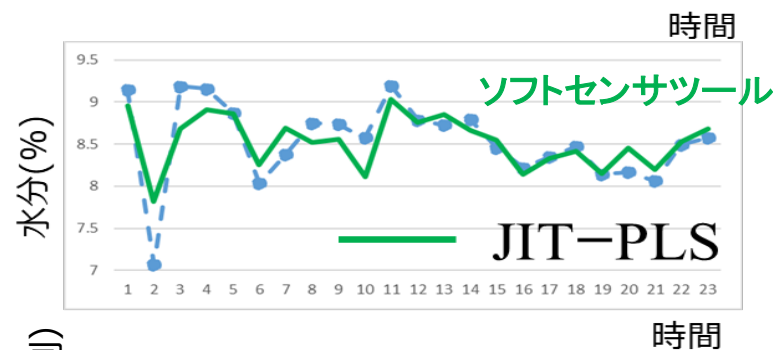
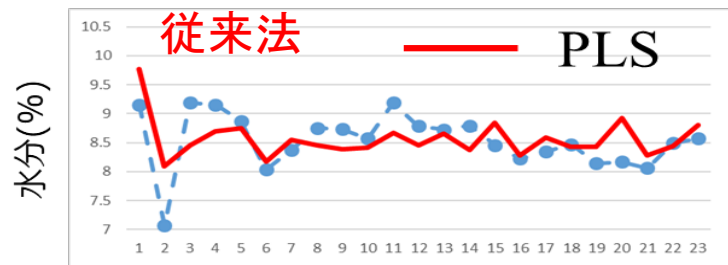
目的変数→蒸留塔：塔底水分濃度
酢酸ビニルモノマー製造プロセス



説明変数候補

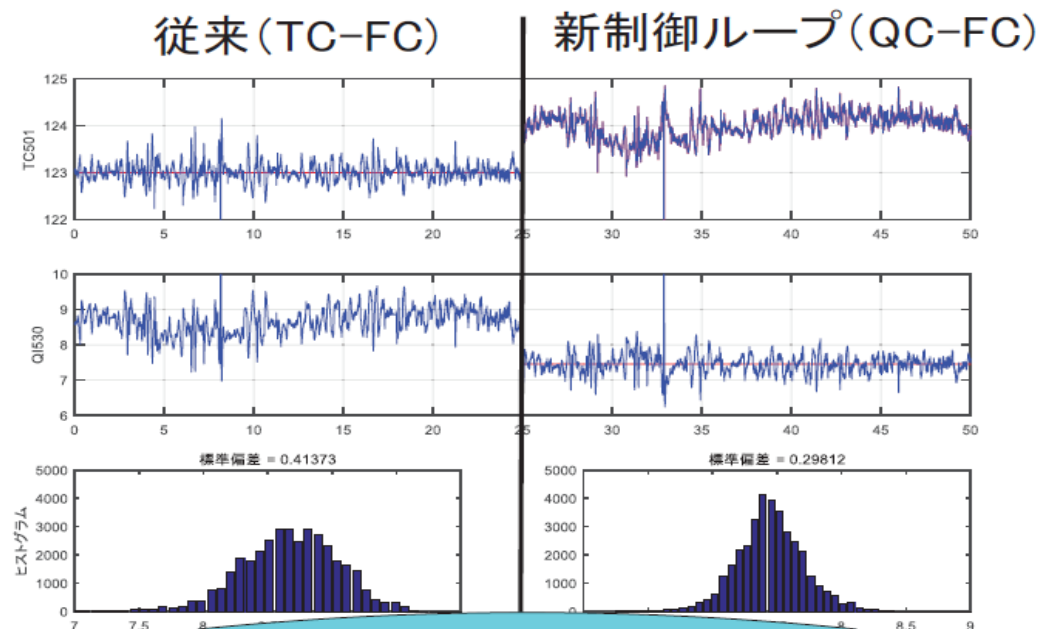
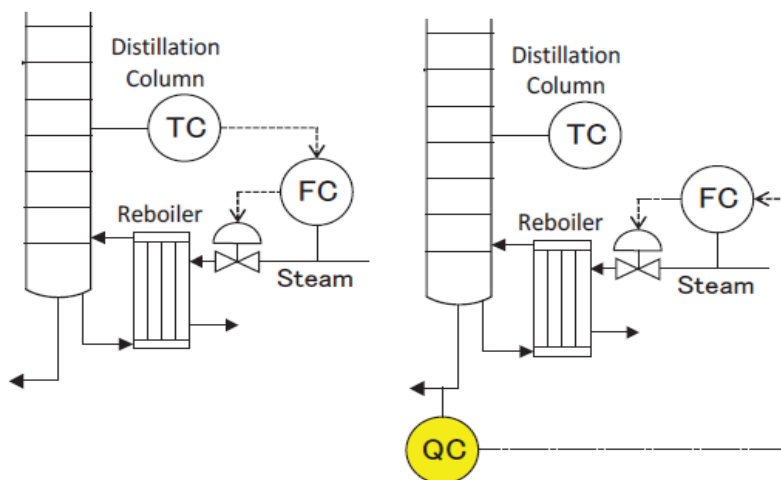
目的変数

シミュレーション結果



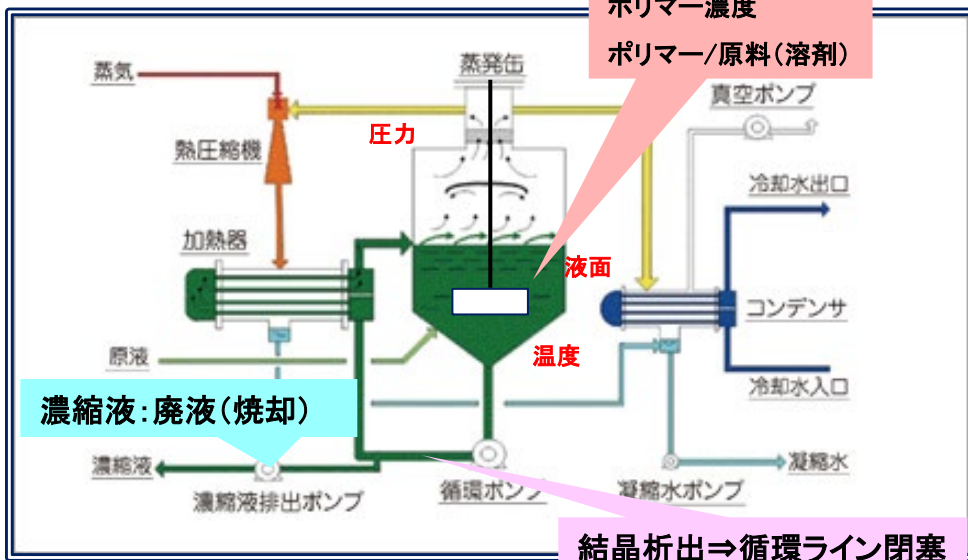
活用実績－２ 「ソフトセンサー実装」 PID制御適用

従来 (TC-FC) 新制御ループ (QC-FC)



30日間のオンライン稼働で
フィードバック制御に悪影響を与える
ソフトセンサー異常計算結果現象は
確認されなかった
800万円／年の改善効果

連続濃縮装置（スキーム）



●どんなご利益が

設備保全側

- ・閉塞を解除、復旧させるための手続き業務（含む現場保全作業）が、ほぼ100%解消。

プラント側（製造側）

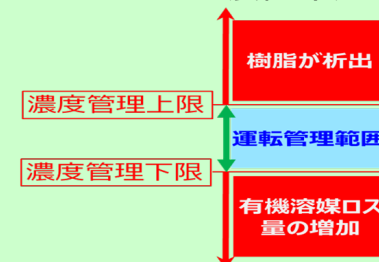
- ・オペレータの非定常作業の大幅低減（ほぼ100%解消）
- ・原料回収率が向上⇒廃液量の削減（CO2排出量削減）
- ・製品の安定生産（供給）

●現状の課題

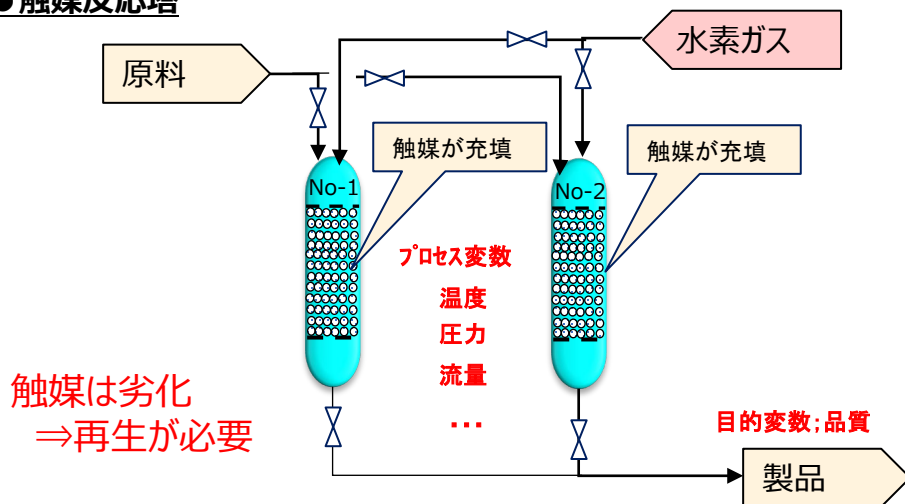
- ・ポリマー濃度をオンライン計測する機器がない。
- ・サンプリング頻度が少ない（1-2回/週）。サンプリングノズル閉塞
- ・プロセス変数を管理値内でオペレーションするも濃度管理不可能
⇒十数回/年の閉塞トラブルを誘発
⇒その度に、①運転を停止②液抜き③洗浄④循環ラインの取外
⑤閉塞解除⑥洗浄⑦復旧を実施
- ・非定常作業に係るコストを予算化
- ・原料の回収率を下げた運転をする。
⇒閉塞トラブルは、発生する。
⇒逆に、無駄に原料を廃棄している。

●改善の視点、対策

- ・モデル式を設計し、そこから計算した値をトレンド表示させれば、
⇒リアルタイムにポリマー濃度（計算値）が確認できる。
- ・ポリマー濃度管理値（上下限值）を明確にし、管理範囲内でリアルタイムに監視制御する。
⇒過濃縮による結晶析出から解消される。また、濃縮不足は、原料回収量が減少する。



●触媒反応塔



●どんなご利益が

設備保全側

- 触媒塔切替手続き、現場保全作業による負荷が30%以上削減される。

プラント側（製造側）

- 触媒塔の切替準備作業回数削減による作業負荷低減
- 触媒再生処理費用の低減
- 生産量の増加

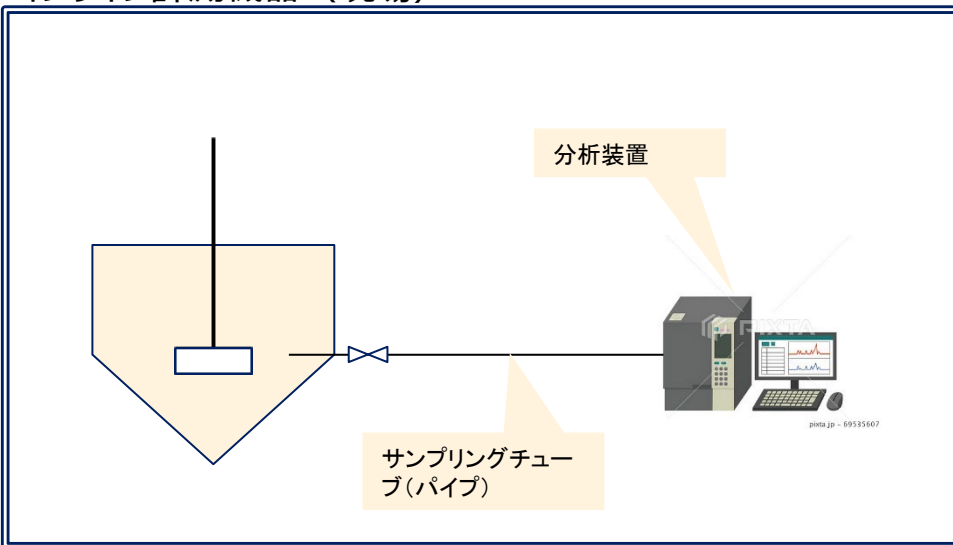
●現状の課題

- 従来、切替タイミングは、サンプリング（分析評価）で実施
- 小まめな分析で対応していたが作業効率が悪い。
- 触媒反応塔の運転時間で切替（品質優先）
- 触媒の抜出までの作業負荷（人手のかかる作業）
足場構築、バルブ切り替え、触媒抜出、塔内洗浄、触媒再生、触媒充填
- 切り替え頻度: 12回/年

●改善の視点、対策

- モデル式を設計し、そこから計算した値をトレンド表示させれば、
⇒製品品質の状態がリアルタイムに見れる。
⇒触媒の切替タイミングがリアルタイムに見れる。
⇒触媒の運転時間が延長できる（寿命延長）。
⇒年間の切替回数を減らせる。
⇒12回/年 → 8回/年（▲4回）

オンライン計測機器（現場）



●現状の課題

- ・サンプリングチューブの閉塞⇒解除作業
- ・分析装置が故障⇒予備機に交換、修理
- ・故障時の突発対応（夕夜勤問わず）
- ・予備費、修理費等のコスト

●どんなご利益が

設備保全側

- ・現場保全作業 100%削減
- ・保全コストの低減

プラント側（製造側）

- ・現場保全作業削減による作業負荷低減
- ・固定資産削減

●改善の視点、対策

- ・モデル式を設計し、そこから計算した値をトレンド表示させれば、
⇒リアルタイムに分析値（計算値）が見れる。
⇒故障時も分析値（計算値）が見れる。
⇒オンライン分析装置の要不要が議論の対象になる。
- ・2, 3回/週のサンプリング分析が可能であれば
⇒オンライン分析装置が不要になる。

◆ 昭和電工大分工場では、従来の品質の**抜き取り検査**から**ソフトセンサによるリアルタイムモニタリング**を実現し、追い込み運転による品質向上、過剰品質の低減による省エネを同時に達成した。

昭和電工での有機物精製プロセスの事例

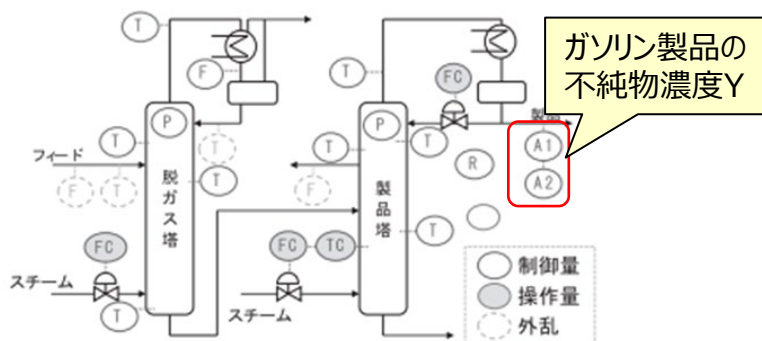
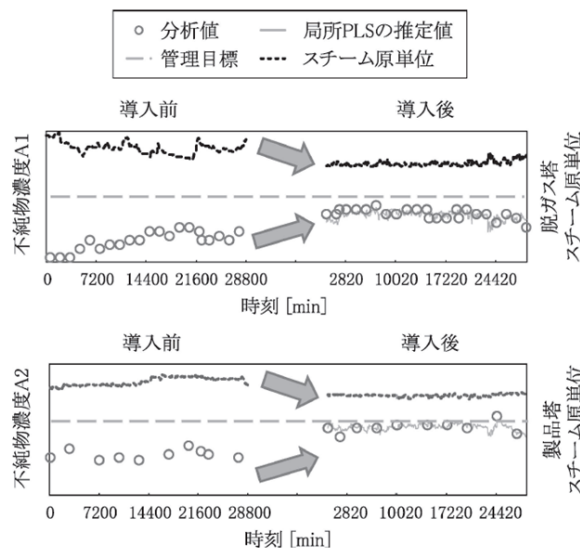


図2 有機物精製プロセスの概略



Before :

従来、ガソリン製品の不純物濃度は**オフライン分析**
(抜き取り検査) のみ



After :

以下の温度・圧力・流量18**センサ値** $X_1, X_2, \dots, X_{18}$
から**オンライン・リアルタイム推定**

1. T431 tray #29 temp.
2. T431 bottom temp.
- ...
18. V359 level (cooling propylene)



効果 :

- ・従来の**抜き取り検査**→推定値による**リアルタイム監視**が可能に
- ・推定値に基づく**製品品質の直接制御**により**品質向上**(バラツキ抑制)
- ・余裕を見た**過剰品質の抑制**による**原料節約・省エネ**
- ・プラントの特性変動・経年変化に対しても追従可能な**JIT方式によるメンテフリー**

計測と制御 / 53 巻 (2014) 12 号

PoC実績表2021年ー2024.12.31現在

No-	会社	業界	単位操作	タイプ	目的変数	推定対象		モデル式	現場 実装	備考
1	A	化学	吸収	連続	・吸収塔塔底部のアルカリ品質推定	・アルカリ濃度	効率化	線形		・精度の高いモデル式構築
2			蒸留	連続	・汚れ係数（A社の基準で決めた定量値）	・汚れ係数の未来値予測	増産、効率化	非線形		・効率化
3			伝熱	連続	・排ガス状態推定	・O2、CO濃度	省エネ、CO2排出量削減	線形、非線形		・推定結果良好、・非線形モデルにて構築
4			反応	連続	・触媒寿命の予測(水添)	・処理ガス濃度（現在、未来値）	触媒延命、増産	線形	○	・現場実装試験済
5	B	化学	蒸発	連続	・製品品質の推定	・溶媒中の濃度推定	作業負荷低減、CO2排出量削減	線形	○	・現場実装中（オンラインツール）
6			蒸発	連続	・閉塞状態の推定	・未来値予測	同上	線形		・効率化
7			蒸発	連続	・差圧の推定	・差圧の未来値	効率化	非線形		・効率化
8	C	化学	蒸留	連続	・ボトム、サイドカットの品質推定	・留出成分濃度	省エネ、CO2排出量削減、増産	線形		・コストダウン
9			蒸留	連続	・製品品質推定	・製品純度（濃度）	同上	非線形		・コストダウン
10	D	化学	伝熱	連続	・排ガス状態推定	・O2濃度	省エネ、CO2排出量削減	線形・非線形		・省エネルギー
11	E	化学	反応	連続	・槽出口の不純物濃度	・不純物、H2濃度	効率化	線形・非線形		・省エネルギー
12			反応	連続	・ガス中の主成分濃度	・分析結果の補完（サンプルリク不可時）	同上	非線形		・分析装置の代替
13	F	機械	蒸留	連続	・不純物濃度の監視	・微量成分濃度	増産、効率化	線形		・新たな監視パラメータを発見
14	G	エンジ	調湿	連続	・出口固体の水分濃度の推定	・水分濃度	省エネ、CO2排出量削減	線形		・推定良好 横展開を計画中、固体
15			乾燥	連続	・出口粉体の水分濃度の推定	・水分濃度（未来値予測）	同上	線形		・推定良好、粉体
16	H	化学	蒸留	連続	・塔底液面計指示値	・液面計指示値	効率化	非線形		・推定良好
17	I	化学	反応	連続	・主成分濃度	・濃度低下の早期検知	触媒延命、増産、効率化	線形・非線形	○	・現場実装試験（予定）
18			蒸留	連続	・廃液中の主成分濃度	・リアルタイム監視	省エネ、CO2排出量削減、増産	線形・非線形		
20	K	化学	蒸留	連続	・回収品中の不純物	・リアルタイム監視	省エネ、CO2排出量削減、増産			・回収率向上
21	L	化学	蒸留	連続	・塔頂製品中の不純物濃度	・微量高沸成分濃度	省エネ、CO2排出量削減、増産	線形	○	・実装予定
22	M	化学	反応	連続	・特定成分の濃度推定		増産、効率化	線形・非線形	○	・実装予定
23	N	化学	反応	ハッチ	・品質確認		品質安定化	線形・非線形		
24			蒸留	連続	・BTMのpH	リアルタイム監視	安定化、安全向上			
25	O	化学	蒸留	連続	・品質確認	・不純物濃度リアルタイム推定	省エネ、CO2排出量削減	線形・非線形	○	
26			反応	連続	・品質確認	・終点予測	品質安定化	線形・非線形	○	
27			蒸留	連続	・品質確認	・不純物濃度リアルタイム推定	省エネ、CO2排出量削減	線形・非線形	○	
28	P	化学	伝熱	連続	・排ガス中のCO濃度	・リアルタイム監視	省エネ、CO2排出量削減、効率化			
29	Q	化学	蒸留	バッチ	・成分濃度の未来値予測	・切替タイミング	CO2排出量削減、増産		○	
30	R	化学	反応	バッチ	・品質予測	・マテリアルインフォマティクス	効率化			オフラインツールのみ
31	S	製鉄	伝熱	連続	・連続鑄造（液面推定）	・リアルタイム監視	効率化			
32	T	化学		連続			効率化			
33	U	パルプ紙		連続			効率化			

メーカー⇒		富士電機	従来型ツール			
			A社	B社	C社	D社
機能	モデルの種類	PLS, SVR, RF, GPR, JIT-PLS, JIT-VR, Moving Window	PLS, PCR, RBF-NW	Deep Learning, PLS, Fuzzy PLS, Hybrid Neural Net	Neural Net (説明変数20個まで)	PLS, SVM, RF, GPR
	モデル自動更新 (オンライン)	○	×	×	×	×
	モデル構築・オンライン連携	○	○	×	○	△
	データ準備	モデル構築・検証用データのマウス設定	×	○	×	○
		説明変数の遅れ設定	×	×	×	○
		変数のタイムスタンプ揃	×	×	×	○
	AutoML機能	○	×	×	×	○
	AI、MLの専門知識の必要性	不要	要	要	要	要
	ソフトセンサのみ購入	可	不可	可	不可	不可
	コメント	・PCのスキルがあればツール操作は可能である。	・制御システムと一体で購入	価格帯 ベース + (Toolbox) ×N	・制御システムと一体で購入	・オンライン連携のためのプログラムを自作する必要がある。 ・AI, MLの知識が十分でない使いこなせない。

機能：○：機能あり、×：機能なし
当社のツールは、ソフトセンサ構築に特化したツールである

＜このツールの特徴＞

- ・手を煩わすことなく早く簡単に精度の高いモデル式設計が可能（悩むことがない。）
- ・PCのスキルがあればだれでも簡単に使える。
- ・非線形モデルも現場実装可能

＜技術的波及効果＞

- ・石油化学分野だけでなく、鉄鋼、食品、製薬、半導体、電力分野への転用が可能
- ・液体、気体系プロセス、固体系プロセス（粉体、樹脂）と多岐にわたって転用が可能
- ・分析装置、計測機器の異常検出にも利用可能
- ・個人の経験（暗黙知）に頼らず作業が可能となりムリ・ムダ・ムラがなくなる。

＜経済的横波及効果＞

- ・UBE様のケースにおいてデータ前処理、ソフトセンサ構築、現場実装まで5日、検証試験を5日と合わせて10日で運用開始を達成した。これに伴い、トラブル費低減、原料回収量改善、焼却廃液量の低減による二酸化炭素排出量削減(120トン/年)を達成した。
- ・本ツールにはソフトセンサーのメンテナンス機能もあるため、いったん実装したソフトセンサーは数年以上継続的に稼働すると期待できる。