

## ま え が き

ソフトセンサーを実用につなげるために必要な全容を記す機会を得たことに大きな喜びを感じている。

化学プラントの安定運転と製品品質管理を目的として、仮想計測技術（通称ソフトセンサー）に高い関心が寄せられている。日本学術振興会第143委員会（プロセスシステム工学）ではこれに応えるために、2010年5月から約2年にわたり私が代表世話人となってワークショップ No.29「ソフトセンサー」が企画・運営された。このワークショップは化学関連企業研究者を主体に若干の大学研究者が加わり構成されたが、そこではソフトセンサーへの期待を自らの手で現実のものとするとの強い意欲と使命感に支えられながら、さまざまな問題点が浮き彫りにされ、解決されるべき課題が詳細かつ真剣に議論された。その過程で、正にソフトセンサーが今後化学プラントの安定運転と製品品質管理にとってコスト削減を伴う確かな武器となることを確信した次第である。

しかしながらその一方で、このワークショップ参加メンバーとの議論の中で気付いたことは、ソフトセンサーの効果的な活用にあたって必ず直面する、データ収集・異常値除去・変数選択などのデータの前処理、そのデータを用いたソフトセンサーモデルの構築、解析、そして運用までの各ステップで生じる諸問題と課題に対する確実で体系的な対処法、つまり標準仕様が必ずしも確立されていないということであった。同様のことは海外の研究および運用事例でも垣間見えた。世の中にソフトセンサーを定着させるには、体系的な標準化が不可欠であり、それを理論的な基盤から支援するハンドブックが不可欠だと痛感した次第である。本書は、このような必要性を背景として企画されたものである。2章ではソフトセンサーの概要を解説し、3章ではソフトセンサーを実際に構築し運用するまでの問題点と課題を体系的に詳述し、4章ではそれに基

づいて実際の化学プラントデータなどを用いた実用的研究例を理論に根差しながら紹介している。また、5章ではソフトセンサーにかかわるさまざまな統計的な知識を身に付けるために「ケモメトリックス」としてまとめている。以上のように、本書ではソフトセンサー実装にあたって留意すべき課題の解決の道筋が体系的に記されている。

本書の副題が示すとおり、ソフトセンサー運用までの各ステップに対する基礎から実用的研究例までが網羅されている点でソフトセンサー研究従事者にとって本格的で、しかも必携の書と位置付けられよう。プロセスシステム工学を志す学生にとっても、化学プラントの安定運転と製品品質管理の視点からソフトセンサーの意義と仕組みを理解する教科書として手元に置いて繰り返し参考にしてもらえれば、著者としてこれに勝る喜びはない。

本書では、特に化学プラント監視を目的としたソフトセンサー利用について解説をしてきたが、ソフトセンサー利用の最終目的はそれを用いた化学プラントの制御にあることはいうまでもなく、事実その研究成果も報告され始めている。ただ、紙面の都合もあり、本書ではそこまで含めることはできなかった。ソフトセンサーが我が国の化学プラントに定着し、さらに制御に関する研究成果が積み上がってきた適切な時期を捉えて、ソフトセンサーによる化学プラント制御を含めた内容へと本書を拡充したいといまから夢見ている。

なお、本書の巻末にはソフトセンサー関連情報を得る手掛かりとして、適切な引用・参考文献を客観的に厳選して記載している。本書を読み進めていくにあたって、それらも参考にしていただければ確実に幅広い内容把握につながることはいうまでもない。

個人的なことで申し訳ないが、化学情報学(ケモインフォマティクス)の分野に身を置くようになって30年。有機化合物の自動構造推定システムの開発に始まり、有機合成設計システムの開発、並行して分子設計、材料設計へと進み、多くの国内外の方々と触れ合う機会を得てきた。そしてまた15年ほど前に化学工学、プロセスシステム工学分野との接点を得た。人の命運などわからぬものである。物事を究めていけば多くのことに触発されつつ、そこには必然

であるかのように横の広がりが発生する。私の研究室でソフトセンサーの研究を始めたのは10年ほど前からであるが、それもまたこの道理の流れの中にあった。共著者である金子弘昌という逸材を得てソフトセンサー研究は急速に展開をし、本書へと結実した。そしてこれを世に送り出せることに喜びとともに新たな責任を感じている。

化学情報学に身を投じて以来、この研究領域は学際色を放ちながら国内的にも世界的にも大きく進歩してきた。そして、化学研究における理論的・実用的検討に、もはや不可欠の地位を確立したとあってよい。思えば長い道のりを歩んできたものであるが、日は暮れてなお道は遠い。当初夢見たほどの展開には必ずしもなっていない。しかし、筆者はこれを不名誉とは思わない。能う限りの努力は注いできたつもりだからである。人はかえりみて努力したと思える限り、物事の成らなかつたことで名誉を失いはしない。怠惰に流れ成すことなく終わったときに初めて名誉を失うのだと自分に言い聞かせているからである。こののちも能う限り、この領域研究に身を投じていきたいと思っている。

本書ではソフトセンサーの能力を具体的に示すために、実際の化学プラントデータを利用したソフトセンサー応用の実例をたびたび紹介している。快くデータをご提供いただいた、三菱化学株式会社および三井化学株式会社の関係部署の方々に、この場をお借りして改めて御礼申し上げる次第である。また、宇部工業高等専門学校・荒川正幹准教授（元東京大学大学院工学系研究科助教）は船津研究室在籍中、初期のソフトセンサー研究の進展に貢献したことを申し添えなければならない。

最後になったが、本書発行はコロナ社の細部にわたるチェックを含めた出版への熱意に支えられた。ここに執筆者を代表して心より感謝の意を表したい。

2014年5月

船津 公人

# 目 次

## 1. プロセスの監視・制御（プロセス管理）

## 2. ソフトセンサー

2.1	ソフトセンサーとは	7
2.2	ソフトセンサーのモデル構築方法	9
2.3	ソフトセンサーの適用先・実例	11
2.4	ソフトセンサーの役割	19
2.5	ソフトセンサーの運用までの流れ	23
2.6	ソフトセンサー解析の具体例	25
2.6.1	ダイナミックシミュレーションデータの解析	26
2.6.2	実際のプラントにおける運転データの解析	35

## 3. ソフトセンサーの問題点・課題点

3.1	データ収集	41
3.2	データ前処理	43
3.3	モデル構築	45
3.4	モデル解析	48
3.5	モデル運用	50

## 4. ソフトセンサーの研究例

4.1	モデルの劣化, モデルのメンテナンス	54
4.1.1	適応型モデル	55
4.1.2	適応型モデルの性能確認	59
4.1.3	適応型モデルの特徴	62
4.1.4	プロセス特性が急激に変化する際の対応	72
4.1.5	適応型モデルの選択	79
4.1.6	モデルの劣化要因を考慮したソフトセンサーモデルの構築	84
4.2	適応型ソフトセンサーのためのデータベース管理	96
4.3	モデルの適用範囲を考慮したソフトセンサー設計	103
4.3.1	異常値検出モデルを用いたソフトセンサー設計	104
4.3.2	モデルの適用範囲内判定モデルを用いたソフトセンサー設計 (ポリマー重合プラントにおけるトランジション終了判定およびポリマー物性予測)	114
4.4	プロセス変数の選択, 動特性の考慮	122
4.4.1	GAVDS 法	124
4.4.2	非線形 GAVDS 法	135
4.5	ソフトセンサーモデルの予測誤差の推定	141
4.5.1	ソフトセンサーモデルとの距離に基づく予測誤差の推定	142
4.5.2	時間差分モデルのアンサンブル予測による予測誤差の推定	150
4.5.3	アンサンブル予測による予測誤差の推定	159
4.5.4	データ密度による予測誤差の推定	159
4.6	ノイズ処理	166
4.7	外れ値検出	169
4.8	ソフトセンサーを活用した異常検出	172

## 5. ケモメトリックス

5.1	データセットの表現	181
5.2	前 処 理	184
5.3	3 シ グ マ 法	185
5.4	Hampel identifier	185
5.5	Savitzky-Goley (SG) 法	186
5.6	主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA)	187
5.7	独立成分分析 (Independent Component Analysis, ICA)	190
5.8	最小二乗法による線形重回帰分析	191
5.9	Partial Least Squares (PLS) 法	193
5.10	Support Vector Machine (SVM) 法	195
5.11	Support Vector Regression (SVR) 法	198
5.12	Online SVR (OSVR) 法	201
5.13	Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO) 法	204
5.14	Stepwise 法による変数選択	204
5.15	Genetic Algorithm-based PLS (GAPLS) 法	205
5.16	Genetic Algorithm-based WaveLength Selection (GAWLS) 法	205
5.17	$k$ -Nearest Neighbor ( $k$ -NN) 法	206
5.18	One-Class SVM (OCSVM) 法	207
5.19	各種統計量	209
	<b>引用・参考文献</b>	<b>211</b>
<b>索</b>	<b>引</b>	<b>225</b>

# 1

## プロセスの監視・制御(プロセス管理)

本章ではプロセスの監視・制御，つまりプロセス管理について説明する。すでにプロセス管理に明るい方は読み飛ばして構わない。

プロセス管理の身近な例として車の運転を取り上げてみよう。通常，車の制限速度を守るため車の運転手は，車の速度を制限範囲内に管理しなければならない。いま，車の速度を 60 km/h から 70 km/h の間に管理する場合を考える。運転手は，速度メーターを見て車の現在の速度をチェックする。このとき，速度が 70 km/h を超え，例えば 71 km/h であれば，アクセルから足を離したりブレーキを踏んだりすることで速度を落とし，70 km/h 以下にする。一方，速度が 60 km/h を下回り，例えば 59 km/h になってしまった場合，ブレーキから足を離したりアクセルを踏んだりすることで速度を上げ 60 km/h 以上にする。運転手は，このようなアクセルとブレーキの操作を繰り返し行うことで，車の速度を 60 km/h から 70 km/h の間に保つことができる（**図 1.1** 参照）。ここで，運転手が車の現在の速度をチェックすることがプロセス監視

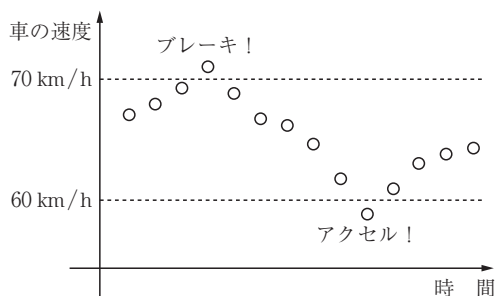


図 1.1 車の速度の制御

であり、ブレーキやアクセルにより車の速度を目的の速度に操作することがプロセス制御である。そして、プロセス監視およびプロセス制御により、対象のプロセスを適切にコントロールすることをプロセス管理と呼ぶ。

車の速度制御の例におけるプロセス管理の重要性はご存じのとおりである。適切にプロセス管理を行わなければ、交通事故を起こし多大な被害を及ぼしかねない。産業のさまざまな分野でも多くのプロセスが存在している。石油精製・石油化学プロセス、医薬品製造プロセス、生物プロセス、農業プロセス、製紙プロセスなどである（図 1.2 参照）。

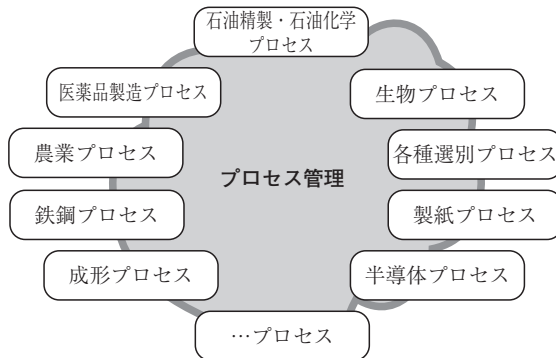


図 1.2 産業分野におけるプロセス管理

以下にいくつかのプロセスを概観してみよう。

ガソリン・燃料・プラスチックや繊維などの原料など、私たちの身の回りの多くのものやその材料は、石油精製・石油化学プロセスにより製造されている。原油に対して化学的・物理的な変化を起こすことによりさまざまな製品が作られる。このような化学的・物理的な操作を単位操作と呼ぶ。単位操作には蒸留・反応・熱交換などがあり、それらの操作を行う装置が蒸留塔・反応器・熱交換器などである。この装置群のことをプラントと呼ぶ。現実のプラントでは、原料の変化や外気温の変化などの外乱によりプロセスが乱されてしまう。また、生産量や製品銘柄などの変更によりプラントの運転条件を変える必要もある。このような状況において



- ・各装置を安全かつ効率的に運転するため
- ・製品に求められる品質を満たし安定的に製造するため
- ・環境規制などの各種規制を順守するため

適切にプラントの管理を行わなければならない。プラントでは、温度・圧力・流量・液レベル・製品品質（濃度・密度など）などのプロセス変数が測定されており、その測定値が適切な値になるようにいろいろな操作が行われる。

製薬において医薬品となりうる化合物を効率的に探索することも大事な課題の一つであるが、医薬品として採用され、例えばそれを主成分として錠剤を製造する際、原料のばらつきおよび製造設備の変動などの外乱がある中で、医薬品としての品質を満たすような錠剤を効率かつ安定的に製造しなければならない。粉碎・混合・造粒・乾燥・整粒・打錠・コーティングなどの工程を経て錠剤が製造される。しかし、各工程後の品質試験および最終製品試験に合格しなければ、その錠剤が市場に出ることはない。各種品質をチェックした後に、それが求められる品質を満たしていない場合は、各工程の運転条件が見直されることになる。

生物プロセスの例として膜分離活性汚泥法（Membrane Bioreactor, MBR）<sup>1)~3)†</sup>を取り上げてみよう。MBRでは、まず有機物を分解する微生物（活性汚泥）に排水中の汚濁物質を代謝・消費させる。活性汚泥により有機物がCO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>に分解されるわけである。その後、膜によって処理水と活性汚泥を分離する。膜を用いることですべての固形物の流出を防げるが、その一方でMBRは活性汚泥、難溶性成分、高分子の溶質、コロイドなどのファウラントが膜細孔に詰まったり膜に堆積したりする膜のファウリングという問題を抱えている。例えば、MBRを処理水量が一定になるよう定量ろ過運転をした場合、このファウリングによる膜抵抗の上昇に伴い膜差圧が上昇してしまう。高い膜差圧を維持した運転には多くのエネルギーが必要となることから、ファウラントを除去するための薬品洗浄が定期的に行われる。ただ、頻繁な薬品洗浄には

† 肩付き数字は、巻末の引用・参考文献番号を表す。

コストがかかるために、適切な時期に洗浄を行わなければならない。このように MBR では膜差圧を監視することで、膜差圧がある管理限界を超えた場合に薬品洗浄が実施される。MBR 以外でも生物プロセスにおいて、例えば酵素を利用した化合物の合成などの生物機能を活用した物質生産においても、プロセスの管理は必須となる。

おいしいお米や野菜を作るためには、水管理・栄養分管理などの田畑の適切な管理が重要である。農作物によっては、乾燥した土地や痩せた土地、水が多すぎたり富栄養化した土地では作物がしっかり育たない場合もある。このように、農業において農作物の品質および生産性を向上させるための、田畑における水分量や窒素量を始めとする土壤成分の量の管理もプロセス管理の一つといえる。

以上のように、各プロセスにおいてプロセス管理は重要な役割を演じていることがわかる。まとめるとプロセス管理とは、プロセスの仕様を満たす設備・機器などの運転を行うためプロセスを監視し、異常が発生した場合および発生しそうな場合はその早期検出、診断と原因の特定、そして正常状態への復帰を行うことである<sup>4)</sup>。

例えば、先ほどの車の速度制御のように、管理したいプロセス変数が一つの場合のプロセス管理について考えてみよう（**図 1.3** 参照）。このような単変量プロセス管理では、プロセス変数に<sup>しきい</sup>閾値を設け、それを越えたかどうかで異

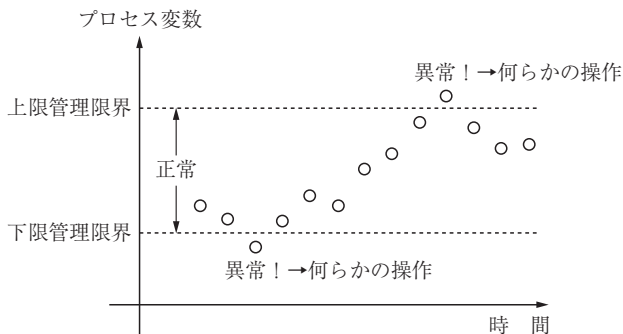


図 1.3 シューハート管理図

常を診断する。閾値を超えて異常と診断された場合は、正常な範囲内に戻すために何らかの操作を行う。このような異常診断（プロセス監視）および異常に応じた操作（プロセス制御）により、対象のプロセス変数を安定的に管理するのである。この図（図 1.3）のことをシューハート管理図と呼ぶ。図 1.1 と図 1.3 は対応していることに注意したい。

図 1.1 における車の速度の上限管理限界（70 km/h）および下限管理限界（60 km/h）は、道路交通法や運転手の主観などによって決められる。このように、事前にプロセス管理者が管理限界を決定することがある一方で、測定されたデータに基づき管理限界を決定することもある。この場合の管理限界の計算方法として、既存の正常データから計算された平均値からの範囲を、同じくデータから計算された標準偏差の 3 倍とした 3 シグマ法を用いることが多い。上限管理限界が『平均値 + 3 × 標準偏差』となり、下限管理限界が『平均値 - 3 × 標準偏差』となる。対象のプロセス変数についてデータが正規分布に従う場合、上限管理限界と下限管理限界の間に、99.7% のデータが含まれることになる。正常データから計算された管理限界をあるデータが超えた際、そのデータは異常なデータとして扱われる。もちろん、管理限界を超えた場合でも 0.3%（= 100% - 99.7%）の確率で正常である可能性があるため注意が必要である。

実際の車の運転を想像してもわかるとおり、あるプロセスにおいて一つのプロセス変数を管理していればよいというわけではない。車を運転する際も、車の速度のみならず、中央帯からの距離、前の車および後ろの車との車間距離、雨天時のフロントガラスの水滴量などを管理しなければならない。車の運転時はそれらを個別に管理すれば特に問題はないが、一般の産業プロセスにおいて温度や圧力などのプロセス変数間に関係性がある場合、それらの変数をまとめて管理した方が効率的な場合がある。そのような多くのプロセス変数を一緒に管理する方法が、多変量統計的プロセス管理である。詳細は 4.8 節に記載する。

自動的なプロセス制御の方法は古くから研究されており、さまざまな手法が提案され多くの実績を挙げている。これらについては、文献 5)～7) に詳しく

記載されているので参照されたい。

以上のような単変量または多変量のプロセス管理を行う場合、重要なことは管理したいプロセス変数の値を常時（リアルタイムに）知ることである。車の運転をする場合、たまにしか車の速度がわからず、例えば30分おきしかわからなければ、いつブレーキを踏めばよいのか、いつアクセルを踏めばよいのか判断できない。しかし、一般の産業プロセスにおいては、測定困難なプロセス変数が存在する。そのようなプロセス変数については、つねに測定値が得られるわけではない。例えば

- 石油精製・石油化学プロセスにおける製品の濃度・密度
- 医薬品製造プロセスにおける錠剤中の有効成分量，有効成分の含量均一性
- 農業プロセスにおける土地の水分量・窒素量

などである。また、MBRにおいては薬品洗浄時期を事前に知るために、現在から将来にかけてどのように膜差圧が上昇するか把握する必要がある。このようなプロセス変数を管理するにはどうすればよいだろうか？この問題を解決する方法がソフトセンサーである。次章に詳しく説明する。

# 索引

<b>【あ】</b>		<b>【し】</b>	中央値	186	
アンサンブル予測	159	時間遅れ	122		
<b>【い】</b>		時間差分	54, 150	<b>【て】</b>	
異常値検出モデル	104	シグマ	185	定量的予測誤差推定手法	142
異常値検出を考慮した		重回帰分析	192	適応型モデル	51, 54
データベース管理	108	主成分分析	173	データ収集	35, 41
遺伝的アルゴリズム	124, 205	シューハート管理図	5	データセット	181
<b>【お】</b>		上限管理限界	185	データベース (の) 管理	52, 96
オートスケーリング	184	<b>【す】</b>		データ前処理	35, 43
オーバーフィッティング	24, 41, 45	スケーリング	184	データ密度	160
<b>【か】</b>		<b>【せ】</b>		<b>【と】</b>	
ガウシアンカーネル	198, 200	精密農業	17	統計の品質管理	185
下限管理限界	185	線形重回帰分析	46	統計モデル	9
仮想計測技術	8	センタリング	184	動特性の選択	123
過適合	24	<b>【そ】</b>		独立成分分析	105
管理限界	174	ソフトセンサー	7	トランジション	12, 115
<b>【き】</b>		ソフトセンサー識別	80	トランジション終了判定	116
逆解析	21	ソフトセンサーモデルとの	141	<b>【に】</b>	
共線性	46	距離	141	二乗予測誤差	174
局所 PLS	73	ソフトセンシング技術	8	<b>【の】</b>	
近赤外光	18	<b>【た】</b>		ノイズ処理	166
<b>【く】</b>		ダイナミックシミュレータ	26	<b>【は】</b>	
グレイボックスモデル	9	多変量統計的プロセス管理	173	ハイブリッドモデル	9
<b>【け】</b>		多変量プロセス管理手法	80	爆発物	18
ケモインフォマティクス	21	単変量統計的プロセス管理	173	外れ値	24
ケモメトリックス	21	単変量プロセス管理	4	外れ値検出	169
<b>【さ】</b>		<b>【ち】</b>		バーチャルメトロロジー	8
サポートベクターマシン	105	中央絶対偏差	186	<b>【ひ】</b>	
3シグマ法	43, 112, 169, 185			標準回帰係数	195
				標準偏差	185

<b>【ふ】</b>		平均	185	—のメンテナンス	52, 54
ファウリング	3, 15	変数選択	123	—の劣化	37, 50, 54
物理モデル	9, 89	<b>【ほ】</b>		モデル運用	50
ブラックボックスモデル	9	ポリマー重合プラント	12	モデル解析	48
プラント	2	ホワイトボックスモデル	9	モデル検証	37
プロセス監視	5	<b>【ま】</b>		モデル構築	37, 45
プロセス管理	1, 4	膜分離活性汚泥法	3, 15	<b>【ゆ】</b>	
プロセス制御	5	マハラノビス距離	153, 162	ユークリッド距離	142, 153, 162
プロセス設計	55	<b>【も】</b>		<b>【よ】</b>	
プロセス変数選択	124	モデル		汚れ係数	84
<b>【へ】</b>		—の適用範囲	49, 114	予測値の標準偏差	151
平滑化	186				

<b>【A】</b>		<b>【G】</b>		<b>【L】</b>	
Active Pharmaceutical		GA	124, 205	LASSO	123, 204
Ingredient	14	GAPLS	205	LCL	185
adaptive model	51, 54	GAVDS	124	Least Absolute Shrinkage	
aGAVDS	125	GAVDS-SVR	136	and Selection Operator	123
API	14	GAWLS	205	Lower Control Limit	185
Area Under Coverage and		GAWLS-SVR	136	LWPLS	73
RMSE curve	160	Genetic Algorithm	124, 205	<b>【M】</b>	
AUCR	160	Genetic Algorithm-based		MAD	186
average GAVDS	125	process Variables and		Mahalanobis Distance	153
<b>【C】</b>		Dynamics Selection	124	MBR	3, 15
<i>coverage</i>	155, 160	<b>【H】</b>		MD	153
<b>【D】</b>		Hampel identifier	43, 169, 186	Median Absolute	
Database Monitoring Index	96	Hotelling's $T^2$ 統計量	173	Deviation	186
Distance to Model	141	<b>【I】</b>		Membrane Bioreactor	3, 15
DM	141	ICA	105, 190	MLR	46
DMI	96	ICA-SVM	107, 110	Moving Hampel	43
<b>【E】</b>		Independent Component		Moving Window	54
ED	142, 153	Analysis	105	MSPC	173
Ensemble Prediction		<b>【J】</b>		Multiple Linear Regression	46
Method	80	JIT	54, 57	Process Control	173
EPM	81	Just-In-Time	54	MW	54, 55
Euclidian Distance	142, 153	<b>【K】</b>		<b>【N】</b>	
		$k$ -Nearest Neighbor	116, 160	Near Infrared	
		$k$ -NN	116, 160, 206	Spectroscopy	14
				NIR	14

<b>[O]</b>			<b>[R]</b>			
OCSVM	116, 160, 207	$r^2$		209	Support Vector Machine	
One-Class Support Vector Machine	160	RANGE		116	80, 105, 116	
One-Class SVM	116	Range based approach		116	Support Vector Regression	
Online Support Vector Regression	100	$r_{CV}^2$		209	11, 72	
Online SVR	72	Real Time Release Testing		14	SVM	
OSVR	72, 100, 201	Receiver Operating Characteristic 曲線		146	80, 105, 116, 195	
<b>[P]</b>		<i>RMSE</i>		209	SVR	
Partial Least Squares	11	$RMSE_{CV}$		209	11, 72, 198	
PAT	8, 15	$RMSE_P$		210	<b>[T]</b>	
PCA	173, 187	ROC 曲線		146	TD	54, 57, 150
PLS	11, 193	$r_P^2$		210	Tennessee Eastman Process	176
Principal Component Analysis	173	RTRT		14	TEP	176
Process Analytical Technology	8, 15	<b>[S]</b>			Time Difference	54, 150
<b>[Q]</b>		SD		151	<b>[U]</b>	
QbD	15	SG 法		166, 169, 186	UCL	185
Quality by Design	15	SPE		174	Upper Control Limit	185
Q 統計量	173	SQC		185	<b>[V]</b>	
		Squared Prediction Error		174	Variable Importance in the Projection	195
		Standard Deviation		151	VIP	195
		Statistical Quality Control		185	Virtual Methodology	8
		Stepwise		123, 129, 204		

—— 著者略歴 ——

船津 公人 (ふなつ きみと)

1978年 九州大学理学部化学科卒業  
1980年 九州大学大学院理学研究科修士課程  
修了(化学専攻)  
1983年 九州大学大学院理学研究科博士課程  
修了(化学専攻)  
理学博士(九州大学)  
1990年 豊橋技術科学大学講師  
1992年 豊橋技術科学大学助教授  
2004年 東京大学教授  
現在に至る

金子 弘昌 (かねこ ひろまさ)

2007年 東京大学工学部化学システム工学科卒業  
2009年 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了  
(化学システム工学専攻)  
2011年 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了  
(化学システム工学専攻)  
博士(工学)  
2011年 東京大学助教  
現在に至る

## ソフトセンサー入門

—基礎から実用的研究例まで—

Introduction to Soft Sensors

——From Fundamentals to Practical Study Examples——

© Kimito Funatsu, Hiromasa Kaneko 2014

2014年7月31日 初版第1刷発行

★

検印省略

著者 船津 公人  
金子 弘昌  
発行者 株式会社 コロナ社  
代表者 牛来 真也  
印刷所 新日本印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844 · 電話 (03) 3941-3131 (代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-06633-3 (横尾) (製本: 愛千製本所)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられております。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします