

多変量統計的プロセス管理による鉄鋼製品の品質操業管理システム

JFE スチール株式会社 茂森 弘靖

1. はじめに

品質異常発生原因の早期発見，ならびに，品質・操業管理の効率化を目的に標記システムを開発した．本システムは，S-PLUS を用いて開発されている．本講演では，本システムの概要と適用結果について述べる．

2. 対象プロセスと従来課題

鉄鋼業は巨大な装置産業であり，鉄鋼特有の製造設備により製品が作られる．採掘された鉄鉱石は高炉において還元反応により銑鉄が作られる．銑鉄は転炉において炭素など微量な化学成分を調整することにより溶鋼が作られる．溶鋼は，連続鑄造設備において冷却され，スラブ，ブルーム，ビームブランクなどと呼ばれる圧延向けの半製品が製造される．鉄鋼製品の製造工程は様々種類があり，厚鋼板，熱延鋼板，冷延鋼板，電磁鋼板，表面処理鋼板，H形鋼，鋼矢板，棒鋼，線材などの鉄鋼製品が製造される．また，製品完成までに多くの製造工程を経由して製品が作られる．鉄鋼製品は注文に基づく生産が基本であり，さまざまな顧客の要求に対応できるよう，多品種・小ロット生産への対応が可能な設備やシステムとなっている．製造にあたっては，製品仕様，および設備制約など様々な条件を考慮して，適切に各製造設備の運転条件を設定する必要がある．

鉄鋼製品は，基本的には製鋼での成分調整～圧延～熱処理により製品品質の作りこみが行われるが，要求品質が高い製品は必要な工程が増え，製品品質に影響を与える操業条件の数が非常に多くなる．

従来は一般的な一変量統計的プロセス管理 (USPC: Univariate Statistical Process Control) が行われていた．これは，品質に影響を与える全ての操業条件についてそれぞれ管理範囲を設定し，その範囲を超えるか監視する手法である．対象とするプロセスでは管理すべき操業条件の数が非常に多いため監視者の負荷が高く，また，実績値が管理範囲内であれば異常を容易に検知することができない課題があった．

3. 開発システム

上記の課題を解決するため，以下の特徴をもつシステムを開発した．

- (1) 各操業条件の実績値が互いに相関を持って連動することに着目し，主成分分析を用いて各操業条件データが表す空間を次元圧縮し，プロセスの本質的な変動を表現する T^2 統計量と，センサー異常等のような本質的でない変動を表現する Q 統計量の 2 つを監視する多変量統計的プロセス管理 (MSPC: Multivariate Statistical Process Control) [1] を適用した．
- (2) 非常に多い製造条件をもつ鉄鋼製品の品質操業管理に対し，上記手法をそのまま適用しても異常検出性能が十分ではない等の課題があったので，以下に示す手法の改善を行った．
 - a. 相関の弱い操業条件が多く混入すると十分な異常検出性能が得られないことが分かった．そこで，操業条件の相関関係をもとに各操業条件を数個のグループに分割した．同一グループ内の操業条件は互いに相関が強いものだけになるように分割した．分割したグループ毎に MSPC による監視を行うようにした．
 - b. 調整パラメータである主成分の次数を容易にかつ汎用的に決定できるよう，規格化後データの特異値で判別して定める手法を用いた．

- (3) 全ての通過工程の操作条件および製品品質実績が格納されるデータベースに、MSPC を搭載した汎用パソコンを LAN でつなげた簡易なシステム構成である (図 1)。本システムは、S-PLUS と Excel の連携機能を用いて開発した。データベースからのデータの収集および編集、MSPC の計算ロジック、ならびに、表示機能は、S-PLUS により作成した。監視者からの起動ボタン、および、管理範囲などのパラメータ設定機能は Excel により作成した。なお、S-PLUS で作成した機能について、オフラインにおけるスクリプト作成およびテストは、あらかじめ Visual Mining Studio を用いて行った (Visual Mining Studio と S-PLUS の連携機能の利用)。

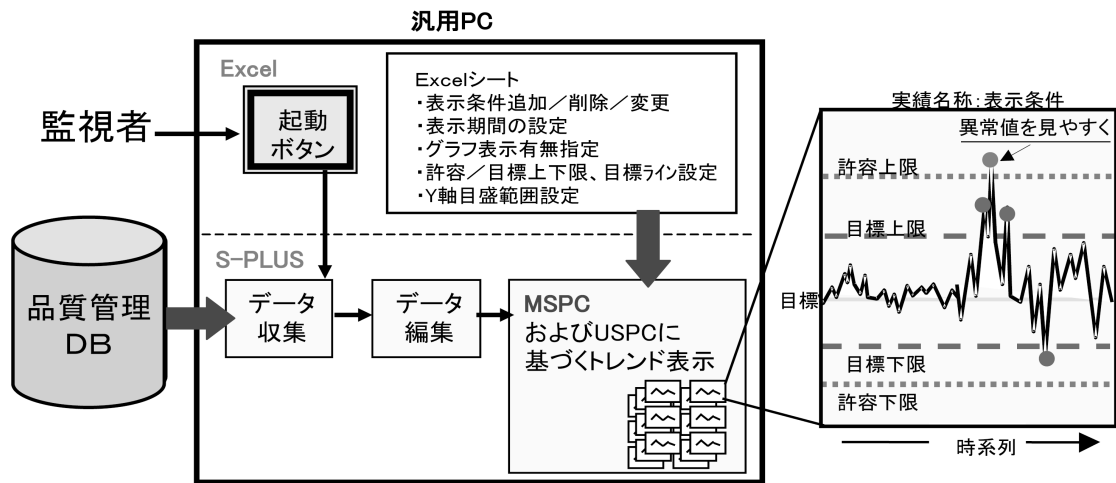


図 1 システム構成

4. 実機適用結果

本システムを鉄鋼製品の品質操作管理に適用した結果を以下に示す。

- (1) 2変数だけ (T^2 統計量と Q 統計量) の管理になるため、監視負荷が大幅に低減された。
- (2) 管理限界を超えた統計量に対する各操作条件の寄与度を定量評価できる。寄与度の高い操作条件から順に、作業負荷の高い物理的考察による品質不良発生メカニズムの仮説立案と製品分析による証拠探索を行った。本システムによりこれらを効率的に行うことができ、品質異常発生原因の早期特定に繋げることができた。
- (3) 製品の生産において、製鋼での成分や熱処理での炉温など複数のケースで、相関関係のずれなど、従来の管理手法では発見できなかった品質異常の発見と原因の特定ができ、本提案手法の有効性を実証できた。

5. おわりに

本システムは、品質異常検出の迅速化と大量品質不良発生の抑止に大きく貢献している。今後はさまざまなプロセスにも適用範囲を拡大していく予定である

参考文献

- [1] 加納学, プロセスケモメトリクスによる統計的プロセス管理, システム/制御/情報, 48-5, 165/170 (2004)
- [2] 茂森弘靖, 荒木義, 水島成人, 多変量統計的プロセス管理による薄鋼板品質操作管理システム, 材料とプロセス, 25, 1030 (2012)