

討18

熱延巻取機へのプロセス診断技術の適用

日本鋼管㈱ 福山製鉄所

小川定義 沖津博人○吉本松男

中村丈人 寺内琢雅 牟田 潔

1. 緒 言

近年の製鉄設備は、一層の高性能化・高速化・自動化を志向しており、設備管理面に於いては、従来以上の補修コスト低減と高機能維持が求められている。従って、設備管理方式は、従来のTBM^{*}から設備の劣化状態に基づいたCBM^{*}方式に変わりつつあり、これを支える技術が設備診断技術である。

また、設備診断技術とは設備特性の変化を監視することによって、設備の異常検知と異常原因・異常メカニズムの究明、さらには設備の寿命予測を行なうことである。ただし、この技術はややもすると設備単体、あるいは、保全的側面だけの活動に終始しがちであり、アウトプットである製品品質や歩留りとの関係がやや希薄であった。本稿では、設備診断技術の保全的側面の他に、設備状態と製品品質・歩留り等の因果律究明まで含めた、所謂『プロセス診断技術』を熱延巻取機へ適用した事例を紹介し、この技術の今後のあり方について検討する。

* TBM : Time Based Maintenance

* CBM : Condition Based Maintenance

2. ダウンコイラープロセス診断システムの必要性と構成

(1) 突発故障の防止

製鉄設備に於いては、突発故障は生産機会の損失ばかりでなく、大量の欠陥製品を生じる可能性が高い。特に、当所第2熱延工場はHDR比率が高く、エネルギーロス・工程混乱も大きな問題となる。

(2) 点検精度の向上

最新のメカトロ設備は非常に複雑化していると共に高精度・高速動作しており、定量データに基づく機能把握が求められる為、従来の五感による点検が困難となっている。

(3) 設備状態と品質・歩留りの因果律究明

自動化・高精度設備にあっては、製品品質や歩留りが設備状態に大きく支配されるため、この間の因果関係を定量的に把握することが設備管理上最重要である。

以上のような背景から Fig. 1 に示すような診断システムを構築した。

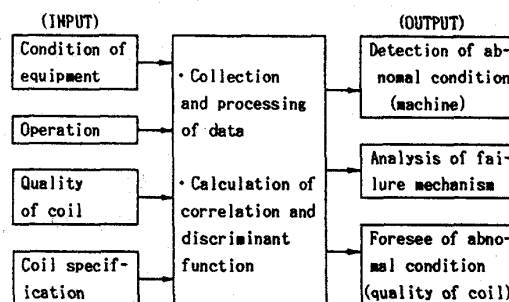


Fig. 1 Concept of Downcoiler Process Diagnosis system

3. システムの概要

3.1 システムのハードウェア構成

Fig. 2 にシステムのハードウェア構成を示す。プロセス情報としては、専用センサ(74点)、プロセスコンピュータ、各種制御装置から約100点を入力し、マイコン3台とパソコン1台で分散処理している。

また、これとは別にパソコンでコントロールされたコイル巻形状認識装置を設置しており、フロッピーディスクベースでデータのリンケージがなされている。

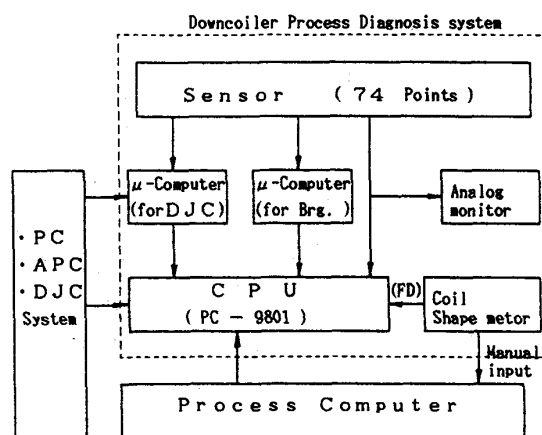


Fig. 2 Schematic diagram of Downcoiler Process Diagnosis system

3.2 システムの機能概要

主な機能は以下の5項目であり、それらの装置構成を Table 1 に示す。

- (1) ストリップ段差回避制御システム (DJC) の動作状態を監視し、機械・電気・油圧系の設備異常検知および、トップマーク・内径テレスコ等の異常予知。
- (2) ユニットロール (UR) 押付圧力を監視し、油圧系の異常に起因するセグメントマークの防止
- (3) ピンチロール押付力、ギャップ、電流、速度等とコイル形状の因果関係を解明し、最適操業条件を把握。
- (4) マンドレル、ピンチロール、URの軸受振動を監視し、重大故障を防止する。
- (5) コイル巻形状を定量評価し、更正要否判断の適確化と自動化および(3)項の評価へフィードバックする。

Table 1 Relation between fundamental functions and hard ware

Function	Hard ware		
	Exclusive μ -computer	Personal Computer	Analog out put
1. Monitoring of DJC Control condition	○	○	○
2. Measurement of Pinch roll Condition	—	○	○
3. Monitoring of UR pressing force	—	○	○
4. Monitoring of bearing condition	○	—	○
5. Measurement and judgment of coil shape	○	—	○

3.3 DJC監視機能と信号処理

上記機能の内、DJC監視について以下に示す。

Fig. 3に示すように、DJC監視に要するプロセス情報はUR変位(6)、シリンダー圧力(9)、指令(3)およびコイル仕様である。これらの情報は、Table 2に示すような信号処理を行ない、経験的に得られている基準値と比較し制御状態の良否判定および異常時のトラブルシューティングに供されている。

また、DJCの制御状態とトップマークの関係を表わす判別関数を(1)式のように定義し、コイル1本毎に演算、監視している。

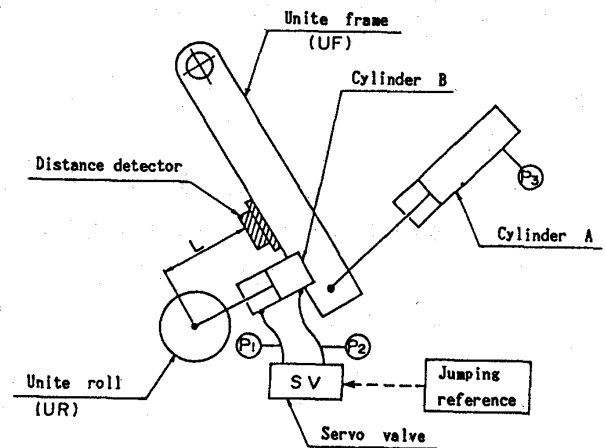


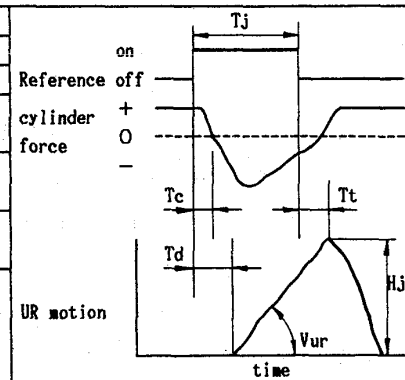
Fig.3 Location of sensor for DJC

$$K_{tm} = [\sum \{A(i) / \exp. B(j)\} \cdot K2(i, j)] \cdot K3 \quad (1)$$

- * K_{tm} : トップマーク影響指数
- * $A(i)$: UR固有値 ($i=1 \sim 3$)
- * $B(j)$: 巻数の影響 ($j=1 \sim 14$)
- * $K2(i, j)$: ジャンプ量による補正
- * $K2(i, j) = 1.2 - K_j(i, j)$: $K2 \geq 0$
- * $K3$: 先端形状による補正

Table 2 Monitoring item and commentary

No.	Item	Unit	Commentary
1	Hj	mm	Jumping height
2	Kj	—	$Kj = Hj / ST$ (ST : strip thickness)
3	Vur	mm/s	$Vur = Hj / (Tj + Tt - Td)$
4	Tc	msec	Lag time from reference on point to reverse point of cylinder force
5	Td	msec	Lag time from reference on point to start point of UR motion
6	Tt	msec	Lag time from reference on point to start point of UR motion
7	Kd	%	$Kd = \{ \int Hjo(t) - Hjd(t) \cdot dt \} / \{ \int Hjs(t) \cdot dt \}$ Hjo(t) : motion of UR operator side Hjd(t) : motion of UR drive side Hjs(t) : standard motion of UR



4. DJC監視の適用事例

4.1 DJC動作異常の評価事例

Fig. 4の板厚とジャンプ指数のグラフから分かるように、#1, 2 URにはジャンプ量不足の傾向があり、特に#1 URでは約1/3が全く動いておらず制御状態はきわめて悪い。

その他の特徴としては、#1, 2 URはUR変位速度の大幅低下、更に、Fig. 5に示すように#1 URは動作遅れの増加も認められる。以上のような測定結果の相対評価や装置の初期データとの比較から設備系統毎の状態評価をTable 3のように行ない、以下の異常原因を推定した。

- (1) #1, 2 URはメカロス増加を主因とし、UR変位速度が低下しジャンプ量不足となっている。
- (2) #1 URは、支点部摩耗やこじれによりメカロスが著しく増加している。
- (3) #3 URは正常に動作している。また、#1, 2 URについても、ジャンピングタイミングおよび制御装置には、異常は認められない。

これらの推定に従って、#1 URは機械系（ユニットフレーム）の一式取替を、#2 URは各支点部の潤滑強化を実施後再測定したところ、Fig. 4に示すように動作状態は改善しており、原因推定の評価とともにシステムの有効性が確認された。

これらのことから、監視項目を動作状態の良否判定用とトラブルシューティング用に大別し、前者はハード的に常時監視し、後者は異常発生時に出力可能なシステムとしている。

Table 3 Result of analysis by DJC system

UR NO.	Jumping height	Jumping velocity	Jumping timing	Delay of motion	Control system	Hydraulic system	Mechanical system
#1	Bad	Bad	Good	Caution	Good	Caution	Bad
#2	Caution	Bad	Good	Good	Good	Good	Caution
#3	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good

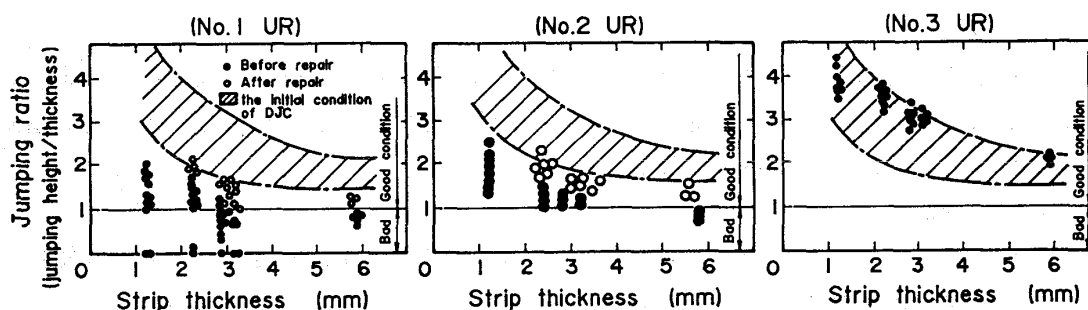


Fig.4 Relation between strip thickness and jumping ratio.

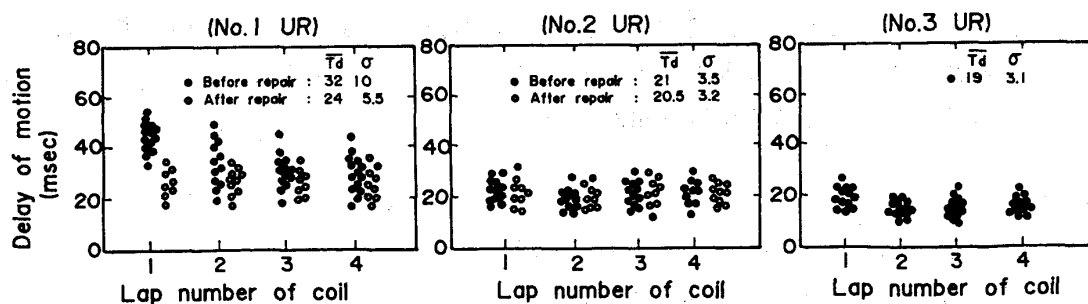


Fig.5 Relation between delay of motion and lap number of coil.

4.2 トップマーク影響指数の評価

トップマークの発生要因としては、D J Cの動作状態は勿論、ストリップ先端形状、板厚、巻取り温度等種々の要因が考えられ、その程度を予測することはきわめて困難な作業である。

前述の(1)式は、これらの内D J Cの動作状態とトップマークの関係を評価しようとするもので、板厚・鋼種・先端形状等に制約を設け実験的に適用したところ、Fig. 6 に示すような結果を得た。

ただし、データのバラツキも大きく先端形状の評価方法等の問題もあり実用レベルとは言えないが、プロセス診断の一方向として継続する必要がある。

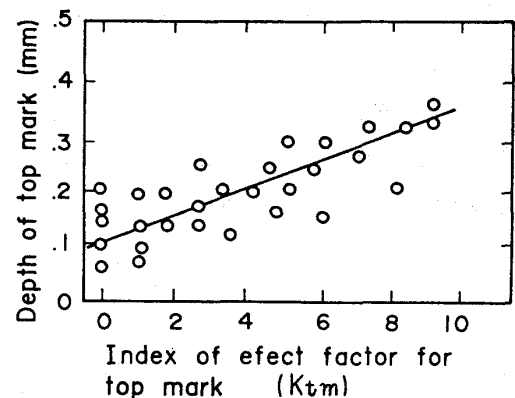


Fig.6 Relation between depth of top mark and index of effect factor for top mark.

5. プロセス診断技術の適用効果と今後の課題

5.1 適用効果

D J Cは、毎秒4～6回動作する高速・高精度設備であり旧来の五感検査は困難であったが、本システムにより設備状態の定量的把握が可能となった。このように、高速・高精度設備および動点検を要する設備に於いて、プロセス診断技術がより有効である。また、従来からの定説や経験によって定性的に整理されている品質と設備・操業状態との関係に科学的裏付けを与えるとともに、最適操業条件の把握や品質異常の予知に成果を上げつつある。

5.2 今後の課題

プロセス診断技術は実用化の緒に付いたばかりであり、設備異常の検出には数多くの実績と信頼性を得ているが、品質診断の面ではテーマ毎の1件対応を行っている。したがって、本技術の適用拡大・汎用化を図るに当たっては、以下の3点が今後の課題と云える。

- (1) 高信頼性・低価格センサの開発
- (2) フレキシビリティ、トレースアビリティの高いデータ収集・処理システムの開発
- (3) プロセス情報と品質情報を効率的に解析できる汎用ソフトウェアの開発

6. 結 言

製品品質ニーズの高まる中で設備管理に対する認識も変化しており、品質保全活動の重要性と効果が認められつつある。こうした中で、品質保全活動の中核技術であるプロセス診断技術に対しては、設備の信頼性向上、品質・歩留り向上に多大な効果が期待されており、本件についても、全面的な実用化に向けてシステムの機能アップと確性に取り組んでいる。

〔参考文献〕

- 1) 豊田ら；鉄と鋼，69（1983），13，S1086
- 2) 高田ら；鉄と鋼，70（1984），5，S352
- 3) 高田ら；鉄と鋼，72（1986），9，P308
- 4) 小川ら；鉄と鋼，73（1987），4，S379
- 5) 豊田ら；設備診断技術ハンドブック（1986），丸善