

技術報告

設備診断技術の開発

高田 努*・遠山 一郎*・川口 忠雄*²・住谷 英治*

The Development of Condition Diagnosis Technology

Tsutomu TAKADA, Ichirou TOYAMA, Tadao KAWAGUCHI and Eigi SUMITANI

Synopsis:

Condition Diagnosis Technology has replaced manpower with condition monitor and can detect the deterioration of equipments, but has a problem not to be linked with the quality of products. To search the profound connection with equipment and quality, authors have been developing Process Diagnosis Technology being applied to profile control of coiled hot strip which is influenced by a side guide or a mandrel.

Process Diagnosis Technology consists of two main techniques, one is software such as Discriminant function method, the other is Online Realtime Analyzer — as epitomized by Realtime transfer function analyzer (RFA) and Thyristor fail tracer (TFT). RFA takes only a few minutes to diagnose, as for TFT enable real time observation of the movement of gate pulse signal of Thyristor devise at a moment.

The result of this research and development introduced in a number of process is applicable to almost all equipment.

1. 結 言

鉄鋼業の基本構造は大規模・大量生産であり、これを支える各種設備は高性能化・高速化を志向している。

当然これらの設備を保守する立場からは、より少ない費用で、より故障の少ない状態をいかに維持しつづけるかが問題となる。

我が国の保全分野においては 1950 年代に導入された予防保全方式は定期的な修理をベースに生産保全、改良保全と内容・概念を変え進展した。しかし、いずれもあらかじめ決められた周期で設備の保全を行うという Time Based Maintenance であることに基本的な変化はなく設備の時間的な劣化状況や周囲の環境により変化する設備の状態を十分に把握した上での保全方式にはならず、管理面に重点の置かれた保全方式であった。

近年、設備の劣化状況を刻々把握しながら、そこで得られたデータを基本に保全を行う状態保全 (Condition Based Maintenance) の概念が定着しつつあり、従来の Time Based Maintenance にとつてかわろうとする動きが散見される¹⁾²⁾。

この状態保全方式を支える技術が設備診断技術である。設備診断技術とは設備特性の変化を監視することによつて設備の異常を検知し、設備の異常原因や異常のメカニズムを究明し、また設備休止や寿命の予測を行うことである。この技術はややもすると設備単体、あるいは

設備というグループだけの閉ループ活動に終始しがちであり、我々生産会社における最終の出力であるところの製品との結びつきがやや希薄であつたような気がする。本報告では設備によつて作り込まれた製品が、設備とどのような因果律を持っているのか、設備のどこを押さえれば、どんな製品ができるのかといった観点から製品を作り込むプロセス全体の診断を試みたもので、いわばプロセス診断技術³⁾の開発について述べる。プロセス診断技術は Table 1 に示すように、単に機械設備や電気計装制御設備にだけ着目するのではなく、製品と設備のかかり合いまで含めて、プロセス全体の診断をしようとするものである。

著者らの開発研究によればプロセス診断技術には大き

Table 1. Process and machine diagnosis technology.

Type of Objects of diagnosis	General concept of diagnosis technology.	
	Process diagnosis technology	Machine diagnosis technology.
Equipment, Controller		
Machine		
Products		

昭和 58 年 12 月 8 日受付 (Received Dec. 8, 1983)

* 新日本製鉄(株)君津製鉄所 (Kimitsu Works, Nippon Steel Corp., 1 Kimitsu Kimitsu 299-11)

*² 新日本製鉄(株)君津製鉄所 工博 (Kimitsu Works, Nippon Steel Corp.)

く分けて2つの考え方が存在すると思われる。それは問題をソフトウェア的に解決するか、ハードウェア的に解決するかである。前者の例として多変量解析をベースにして熱延プロセスにおいてコイルの巻形状不良を改善した開発研究例を中心に、また後者の例としてオンラインで実時間解析を行うことによつて製品の不良を減少させた開発研究例、また狭義設備診断の部類に入るが、サイリスタのトラブルを防止した開発研究例について第2章以下で詳述する。

2. 判別関数法によるプロセス診断

プロセスのアウトプットである製品の品質によつて、設備の性能を評価する場合、これを表す尺度は成分のばらつき、製品の強度等、長さや重さのような計量値で表現されるものと、疵の種類や、形状の乱れのパターンのように分類によつて表現されるものがある。また本来計量値で表現し評価すべき性格のものであつても、これを定量的に測定する便利な手段が無い場合、あるいは、オフラインで測定していたのでは、時間的な遅れが大きくなり実用上に合わないような場合、有害な形状の乱れがある製品と、そうでないものといったように、人の目視によつて、あたかも分類と同じような表現で評価し、この情報をもとに設備の手入れや、操業方法の修正アクションに結びつけられることが多い。このような事実を立脚して我々は判別関数法によるプロセス診断を試みたのである。

2.1 判別関数法の概要⁴⁾

判別関数法とは、例えば目的変数 y_j を品質の良品と不良品というように2つに分類し、これをプロセスのいろいろな状態を示す P 個の計量値で表される情報を説明変数として、サンプルが良品、不良品のどちらのグループに属するかを判定しようとするものである。

極く簡単な例として、2つの説明変数 x_{1j}, x_{2j} と製品が良品 (Aグループ) か不良品 (Bグループ) かがわかつた目的変数 y_j とが Fig. 1 のように散布している場合をとりあげよう。Fig. 1 からわかるように x_1 または x_2 のどれか一つの説明変数だけで、良品か不良品かを判別しようとしても x_1 軸、 x_2 軸に射影される良品グループと不良品グループの分布の重なりが大きくなりサンプルがどちらのグループに属するかを判別することが困難である。そこで Fig. 1 に示す z 軸を求めることができれば、 z 軸への射影の分布の重なりが小さくなり、2つの説明変数を用いて、サンプルがどちらのグループに属するかを判別することが可能となる。この Z を式で表すと(1)式となり、この Z を判別関数と呼ぶのである。

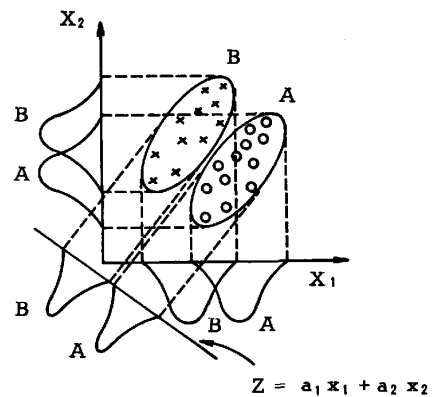


Fig. 1. Discrimination of two groups.

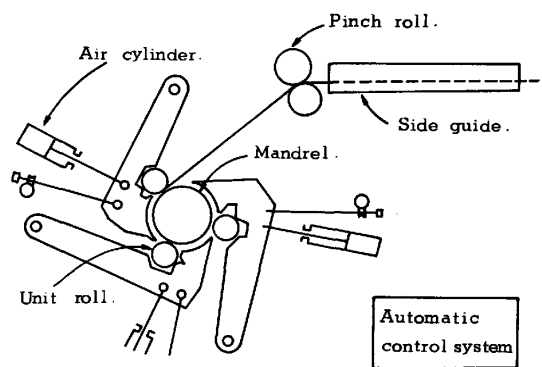


Fig. 2. Outline of a downcoiler.

$$Z = a_1x_1 + a_2x_2 \dots \dots \dots (1)$$

x_1, x_2 : 説明変数

a_1, a_2 : x_1, x_2 のそれぞれの係数

(1)式は説明変数が2つの場合であるが、説明変数が P 個の場合は(2)式のように表すことができる。

$$Z = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_{p-1}x_{p-1} + a_px_p \dots \dots \dots (2)$$

2.2 プロセス診断の開発成果

この節では、熱延巻取機のプロセス診断の実例について述べる。

熱延巻取機は、熱間圧延されたストリップをコイル状に巻き取るプロセスで Fig. 2 に示すように、種々の機械とこれらの制御装置とから構成されている。これに巻き取るストリップの先端は比較的高速度(数百メートル/毎分)でマンドレルに到達しマンドレルとユニットロールの間で圧力を受けながらマンドレルに巻き付けられる。

この設備の性能は、巻き取つたコイルの巻き形状の良否によつて評価できる。

巻形状不良をひき起こす要因は、機械の摩耗によるガタの発生や、制御装置の特性不良、設定精度不良等いろいろな要因が経験的に知られている。

Fig. 3 に診断システムの構成を示す。収集すべきプロセス情報(説明変数)は全部で66点ほどあるが、こ

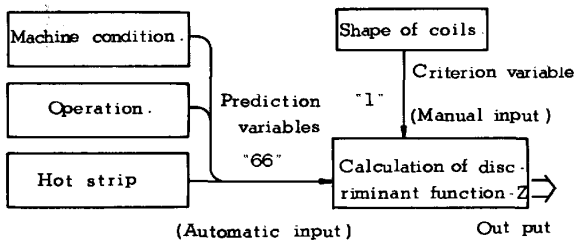


Fig. 3. Downcoiler process diagnosis system.

これらの種類と収集タイミングは経験則にもとづいて決定した。品質情報（目的変数）は、巻き取りを完了した直後のコイルの形状を、人の目視結果にもとづき、良品と不良品に区別してインプットしている。66種類の説明変数 x_{ij} を用いて判別関数を演算することは非効率であり、たとえ演算することが可能であった場合でも、この結果を保全や操業改善に反映する場合、情報が多くなりすぎて使いづらいものとなる。このため、判別関数の演算に先立ち、分散の極めて小さい説明変数はあらかじめ除外し、次に説明変数 x_{ij} 相互の相関係数を演算し、強い相関があるものについては、これらをグループ化し、次に品質の良いグループの説明変数の平均値 $\bar{x}_{ij|y}$ と、品質不良グループの説明変数 $\bar{x}_{ij|x}$ の平均値間の距離の一番大きいものを代表として選ぶことにした。次に判別関数の演算を行い F 値による検定を実施し有意であった場合、更に順次説明変数を1種類ずつ除外して判別関数を求め、その都度 F 値による検定をくりかえしながら説明変数を減少させる方法を採用した。

2.3 マンドレル張力制御装置の異常を診断した例

巻形状の良いコイル及び、巻形状が不良であったコイル、それぞれ17本のサンプルを抽出し、18種類のプロセス情報を用いた判別関数を求めた。この結果をTable 2に示す。Table 2で a_i は各説明変数 x_i にかかる係数、 b_i は個々の説明変数のグループ間の差、 $|a_i \cdot b_i|$ は各説明変数の Z への影響力を示す目安として算出したものである。判別関数を求めた結果を略式で表すと(3)式となる。

$$Z = 0.4016x_1 - 0.515x_2 - 0.5944x_3 - 0.2517x_4 + \sum_{i=5}^{18} a_i x_i \dots\dots\dots (3)$$

- x_1 : 巻き付け時の張力設定条件
- x_2 : マンドレル速度条件
- x_3 : No. 1 ユニットロール速度条件
- x_4 : No. 2 ユニットロール速度条件
- $x_5 \sim x_{18}$: その他の説明変数

各サンプルごとの判別関数の値の Z 軸上への射影分

Table 2. Results of calculation of discriminant function-Z.

x_i	x_i		a_i	b_i $(\bar{x}_{i x} - \bar{x}_{i y})$	$ a_i \cdot b_i $	$\frac{a_i \cdot b_i}{\sum_{i=1}^{18} a_i \cdot b_i }$
	Inferior coils $\bar{x}_{i x}$	Good coils $\bar{x}_{i y}$				
x_1	44.2353	39.7059	0.4016	4.6294	1.8190	0.2636
x_2	7.2353	6.3529	-0.5150	1.8824	0.9694	0.1352
x_3	46.6824	45.0941	-0.5944	1.6883	0.9440	0.1318
x_4	29.2941	26.2353	-0.2517	3.0588	0.7699	0.1074
x_5 ⋮ x_{18}						$\frac{18}{\sum_{i=5}^{18} a_i \cdot b_i } = 2.6677$ 0.372

\bar{Z}	Inferior coils	9.5098
	Good coils	8.8188
σ	Inferior coils	0.1075
	Good coils	0.1779
MAHARANOBIS D SQUARE = 22.1120		
F(18, 15) = 4.8946		

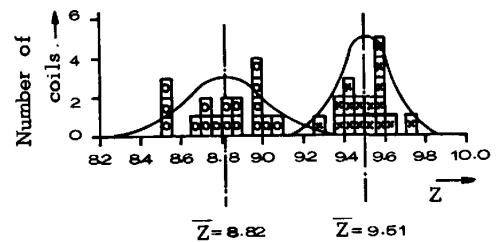


Fig. 4. Distribution of coils on the discriminant function-Z.

布を Fig. 4 に示す。(3)式によると、 x_1 、つまりストリップ巻き付け時の張力設定条件が大きい場合には Z の値が大きくなり、 x_2 、 x_4 及び x_3 、つまりマンドレルや No. 2 ユニットロールの速度条件及び No. 1 ユニットロール速度条件が小さい場合にも Z の値が大きくなり、コイル巻形状が悪化することを意味している。これらの結果は、単に統計的に導かれた結果であり、このままのみにはできないが、この結果にもとづき、実際の設備、特にマンドレル張力設定に大きく影響する部分を中心に点検調査した。この結果マンドレル電動電動機の界磁電流制御装置に不具合があり、所定の値よりも過大な界磁電流が流れ、しかも誤差の程度がコイル巻き取りごとにばらついていることが判明した。界磁電流が過大になると巻取り張力がこれに比例して大きくなると共に、ストリップが巻き付く直前のマンドレルの回転速度が界磁電流に反比例して小さくなるのが理論的にわかっている⁵⁾。このことから、界磁電流が過大となることにより、ストリップ巻き付け時のマンドレル速度条件 x_2 が小さく、また巻き付け時の張力設定条件 x_1 が大き

くなること、コイル巻形状を悪化させていると推定したのである⁶⁾。この結果は我々が経験論的に考えた場合と良く一致していた。また界磁電流制御装置の不具合を修正した結果、巻形状不良コイルの発生が減少した。

3. 実時間高速処理装置によるプロセス診断

設備の性能のうちでも、とりわけ自動制御系の性能がプロセス全体の性能に及ぼす影響は甚大なものである。

このため従来から、経験豊富なメンテナンスマンを多数養成し、この人々が主として過去の設備の運転経験をもとに、種々の予防保全活動を行い設備性能を維持しようとする努力が払われてきた。しかし経験則的あるいは、現象論的アプローチでは解決できない問題が残されてしまい、突発故障が防ぎ得ない場合や設備の性能低下を未然に防止できないなどの問題が顕在化してきた。ことに自動制御装置では、機械装置とエレクトロニクス装置が互いに作用しながら所定の性能を発揮しており、エレクトロニクス部品の劣化が機械装置の異常な振動となつて顕在化したり、逆に機械装置の摩耗がエレクトロニクス装置の異常動作のように見えたりして装置の性能低下の原因判定が困難な場合が多い。またエレクトロニクス装置では、百万分の数秒という、極く短時間に異常が発生し、その直後に正常な状態に復元してしまうような故障も多く、このため異常が起こつた後で原因を調査しても、なかなか見つけることができず、同じ原因による故障を何度もくりかえすことが多い。このような状況のなかで設備の異常徴候を的確にキャッチし、設備の性能低下あるいは故障を未然に防止し、また不幸にして故障が起こつた場合には、その原因とこれを取り除く手段を人にすばやく示唆することのできる技術を求める声が強まり、開発に取り組んだ。

3.1 実時間伝達特性解析装置によるプロセス診断

3.1.1 実時間伝達特性解析装置の測定原理

鉄鋼製造プロセスにおける自動制御系は、理論的に線形システムとして取り扱えるもの、あるいは非線形システムであつても、全動作範囲のうち、小さな部分的な動作範囲に限定すれば近似的に線形システムとして取り扱うことが可能な自動制御システムが多い。実時間伝達特性解析装置は、このような線形システムの動特性をオンラインで測定するために開発したもので Fig. 5 にその測定原理を示す。自動制御装置に加える試験信号にはM系列PN信号を用いている。この信号の波形は Fig. 6 (a) に示すようなものであるが、これに含まれる周波数の成分は Fig. 6(b) に示すようにいろいろな周波数成分が含まれている。この周波数成分の分布は Fig. 6

(a) に示す Δt を変えることによつて種々選ぶことが可能である。

伝達関数の演算は、入力 $x(t)$ の自己相関及び入力 $x(t)$ と出力 $y(t)$ の相互相関を演算し、次にこれらを高速フーリエ変換することにより行つている。実際の測定にあつては外乱による測定誤差を小さくするために、相関係数の演算⁷⁾の際に同じ計算を何度もくりかえしてこれらの平均をとるようになると共にスペクトル本数の適切な選択、Fig. 6 (a) の Δt とデータサンプリング周期を適切に選定することによつて、プラントが実際に操業している最中に、操業や製品品質に悪影響を与えることの無い微小な入力 $x(t)$ で、実用上十分な測定精度が保証できた。Photo. 1 に実時間伝達特性解析装置の外観を示す。

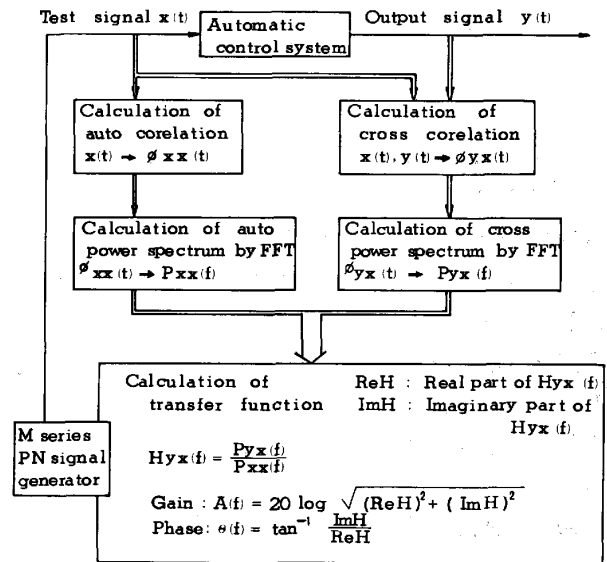


Fig. 5. The measuring principle of "Real time transfer function analyzer".

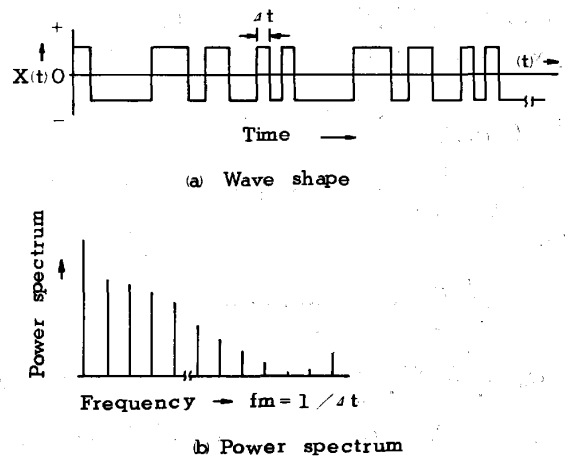


Fig. 6. The wave shape and its power spectrum of M series PN signal.

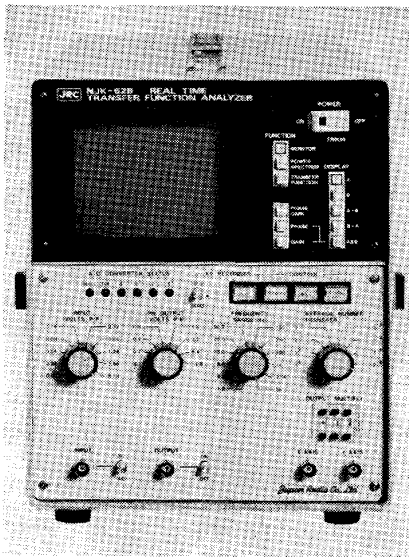


Photo. 1. The out view of "Real time transfer function analyzer".

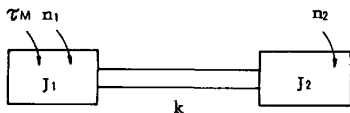


Fig. 7. Simplified model of a driving system.

3.1.2 ストリップ表面チャタリング疵原因の診断

圧延機駆動系は、電動機、歯車、スピンドル、圧延ロール等から成り立っている。これらを力学的にながめると質点とバネとを接続したものとみなすことができる。

したがってこれに外力が作用すると、これらは振り振動を伴った動きをすることがある。このような駆動系を速度制御装置によって制御する場合次に述べるねじり振動の防止に注意を払う必要がある。Fig. 7 は圧延機駆動系を極く簡略化して示したものである。同図で J_1 は電動機の慣性モーメント、 J_2 はロールの慣性モーメント、 k はスピンドルを含む軸系のねじり剛性を表している。このような機械系にモータの出力トルク τ_M を与えたとき、モータの回転速度 n_1 は次の式で求められる。

$$n_1 = \frac{1}{(J_1+J_2)S} \cdot \frac{(J_1+J_2)}{J_1} \cdot \frac{S_2+2\xi_1\omega_1 S+\omega_1^2}{S^2+2\xi_2\omega_2 S+\omega_2^2} \tau_M$$

$$= \frac{1}{(J_1+J_2)S} \cdot G_m(s) \cdot \tau_M \dots\dots\dots (4)$$

上式で

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{k}{J_2}} \dots\dots\dots (5)$$

$$\omega_2 = \sqrt{k \frac{(J_1+J_2)}{J_1 \cdot J_2}} \dots\dots\dots (6)$$

(4)式において ω_1 は Fig. 7 に示すモデルの反共振周波数 (rad/s)、 ω_2 は共振周波数 (rad/s) を表している。また ξ は機械的なフリクションの大きさで決まる減

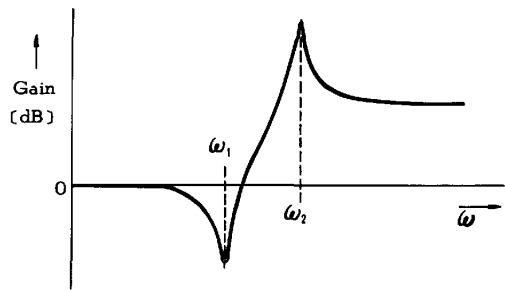


Fig. 8. Frequency response characteristic of $G_M(s)$.

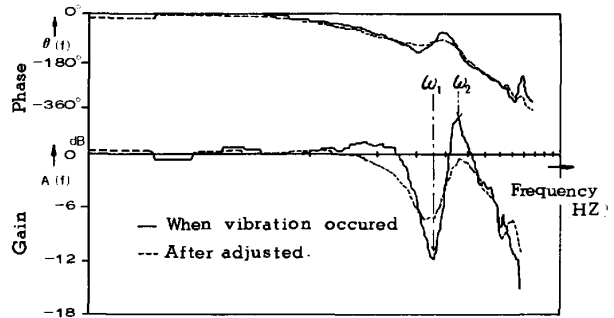


Fig. 9. The bode diagram of the rolling mills speed control system when abnormal torsional vibration occurred.

衰定数を表している。

$G_m(s)$ をボード線図のゲイン特性で表すと Fig. 8 のようになり、反共振周波数 ω_1 において、電動機出力トルク τ_M の変化に対して、電動機回転数の変化が小さく、逆に共振周波数 ω_2 では、わずかな電動機出力トルク τ_M の変化でも、電動機回転 n_1 は大きく変動することになる。このような特性を持つ圧延機駆動系をエレクトロニクス入回路によって速度制御する場合、共振周波数 ω_2 におけるゲインが 1 より大きく (0dB 以上)、かつ ω_2 における位相が 180° 以上遅れていると、圧延機駆動系の特性と、エレクトロニクス回路の特性とが干渉し合つて有害な振り振動を起こす結果となる。今回述べる事例は、圧延されたストリップの表面に 20~40 mm ピッチで、圧延方向と直交する方向に薄い縞模様の疵が発生するという俗にチャタリングと呼ばれる現象で顕在化したものである。この原因を究明するために、速度制御装置全体の動特性を測ることを試みた。この結果 Fig. 9 のようなボード線図を得た。Fig. 9 で実線で示すゲイン特性は、チャタリング問題が起こっていた時の特性を示すもので図中 ω_1, ω_2 で示す周波数は Fig. 8 で示した反共振周波数 ω_1 、共振周波数 ω_2 に相当するものである。Fig. 9 では共振周波数 ω_2 におけるゲインが +4 dB、位相の遅れが 180° 近辺になつており、自動制御

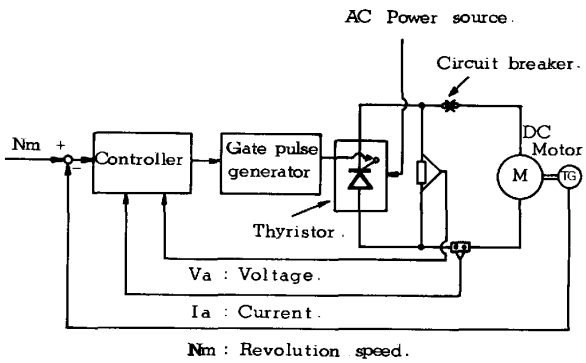


Fig. 10. Thyristor-Leonard system.

系として不安定な状態になつており、機械的に発生する微小なねじり振動を、エレクトロニクス装置が助長して、大きなねじり振動を起こしていることを同図から読み取ることができる。

この結果、チャタリング問題は、圧延機駆動系のねじり共振特性と、制御装置の特性が互いに干渉し合つて有害なねじり振動を起こしていることがわかつた。同図で点線で示す特性は、制御装置のゲインを修正した後のもので、実線のような、共振周波数 ω_2 でのゲインの異常な増加が防止されている。この処置により、チャタリング問題は解消した。

3.2 サイリスタフェイルトレーサによるプロセス診断

鉄鋼製造設備の自動制御装置には、圧延機駆動電動機や、鋼板処理プロセスラインの電源として用いられるサイリスタレオナード装置等に、多くのサイリスタが使用されている。Fig. 10 はサイリスタレオナード装置の概要を示すものである。同図で、直流電動機に印加される電圧 V_a は、サイリスタのゲートに印加されるゲートパルスの位相によつて決まる。したがつて同図に示す演算制御装置は、電動機速度 N_m 、電流 I_a 、電圧 V_a 等を検出して、これを所定の値にするようにゲートパルスの位相を制御している。サイリスタレオナード装置の部品が破損したり、信号を伝える電線が断線あるいは一時的な接触不良を起こしたり、電気的なノイズが印加されると、ゲートパルスの位相が正常な状態からずれを生じ、この結果サイリスタ出力電圧が大幅に変動し、異常に大きな電流が流れ、装置の機能が停止してしまう。このような故障は、いつたん故障が起こつて、その後も故障状態が継続する場合と、故障が起こつた直後に見かけ上正常な状態に復元してしまう場合とがある。これを我々は瞬時回復性の故障と呼んでいる。故障の原因を調査する場合、故障の状態が継続していれば比較的容易に調査が可能であるが、瞬時回復性の故障の場合、回復してしまつた後で種々の調査を実施しても真の原因を探し

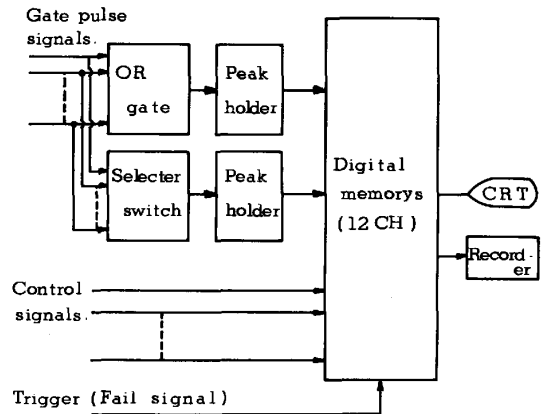


Fig. 11. Schematic figure of Thyristor fail tracer.

出すことが不可能である。このような場合、真の原因がわからないまま設備の運転を再開することが多く、この結果同じ原因に起因する設備休止をくりかえし起こすことが多い。

3.2.1 サイリスタフェイルトレーサの測定原理

サイリスタ設備に発生する種々の故障原因追求を容易にするには、故障が起こつた直前直後の情報が把握できればよい。この情報のうちでも特に瞬時回復性の故障が多いという理由により、ゲートパルスの挙動を正確に掴むことが不可欠となる。このためサイリスタフェイルトレーサでは、演算制御装置各部の信号挙動や、サイリスタの出力電圧、電流の挙動に加えて、ゲートパルスの挙動を的確に捕捉できるように工夫がなされている。Fig. 11 は、サイリスタフェイルトレーサの測定原理を示す。同図で演算制御装置各部の信号や、サイリスタの出力電圧、電流、及び制御指令信号等は、直接半導体デジタルメモリーに記憶されるが、ゲートパルス信号については、時間的に異なつたタイミングで発生する別々のゲートパルス信号を、一つの時間的に直列に並んだ信号に変換する OR 回路と、これらのゲートパルス信号のうち、パルス信号の種類を識別するための基準となるべきゲートパルスの抽出回路とを備え、更にこれから得られるパルス信号をピークホールドした後に半導体デジタルメモリーに記憶する。OR 回路の役割は、半導体デジタルメモリーの入力チャンネル数を極力減少することにより装置を小型化するために備えられたものである。ピークホールド装置は、ゲートパルス信号の尖頭値の接続時間が、数 μs 以下であるため、これをゆつくりとサンプリングした場合でも、パルスの尖頭値を正確に記憶するために備えたものである。

3.2.2 サイリスタフェイルトレーサによる診断

ここで述べる例は鋼板連続焼鈍設備のコイルホルダ駆

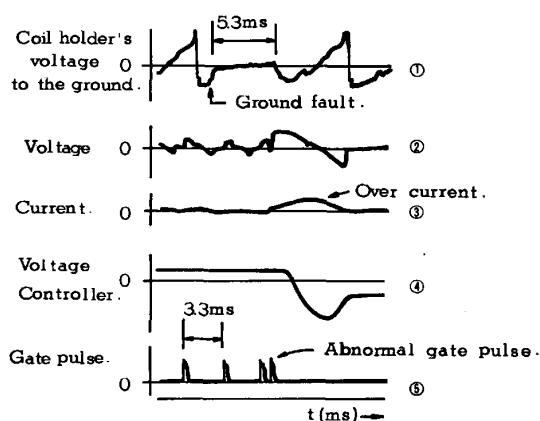


Fig. 12. The wave shape charts when ground fault occurred.

動電動機，端子口の絶縁被覆が破れ，この点で火花放電が起り，これが炉部ハースロールサイスタ制御装置に瞬間的なノイズを誘発し，ゲートパルスの位相に狂いを生じた結果，ハースロールに流れる電流が異常となり，設備休止がくりかえし発生した時のものである。

Fig. 12 は故障が起こった直前直後の信号波形をサイスタフェイルトレサで記憶再生したものである。同図①に示す波形はコイルホルダ電動機端子と大地間の電位を描いており，火花による接地の様子が約 5.3 ms の間，大地電位がゼロになることにより明確に記録されている。

これと全く同じ時に，同図⑤に示すようにゲートパルスの位相が異常となり，この結果同図②及び③で示すごとく，電圧，電流が異常となつて，ヘルパーロールが停止したということが判明した。このように，ヘルパーロールとは一見かわりの無い，コイルホルダの電動機に発生した火花放電が，ヘルパーロールの停止という形で顕在化した場合，異常が起こった瞬間的確な情報が残されていないと，故障原因の究明は全く不可能といつても過言ではあるまい。サイスタフェイルトレサはこのような瞬時回復性の故障原因の調査に欠くことのできないツールとなつてきた。

4. 結 言

設備診断技術をソフトウェア的手法とハードウェア的手法に分けて開発を行い次の結果を得た。

1) ソフトウェア的手法として多変量解析手法の一つである判別関数法を用いて，熱延巻取機におけるコイル巻形状悪化原因の同定を行い，この方法が，非常に多岐にわたるプロセス性能低下要因のなかから，実際に悪影響を及ぼしている主たる要因を抽出する手法として有効であることを確認した。

2) ハードウェア的手法として，実時間高速処理装置による診断を行った。この方法は自動制御装置のオンライン動特性診断技術と，自動制御装置の瞬時回復性の故障診断技術とから成り，前者では，冷間タンデムミル速度制御系の動特性を測ることにより，制御系を構成する機械品とエレクトロニクス装置の総合特性を知ることが可能で，これによりチャタリング問題のような品質異常の解決が可能であることを示した。後者では，ノイズによるサイスタ装置の誤動作を調査した事例を紹介した。

以上述べてきた設備診断技術は，単に設備単体の診断技術としてではなく，プロセス全体の性能を診断すると共に，性能を低下させた要因を同定する技術，つまりプロセス診断技術と呼ぶことが可能で，今後の設備保全活動の要となるものと信じている。

文 献

- 1) 豊田利夫: OHM, 69 (1982) 12, p. 25
- 2) 山本益久, 吉田照彦, 人見勝人: 日本機械学会論文集 (C), 47 (1981), p. 1241
- 3) 金倉三義基: 日本機械学会誌, 84 (1981), p. 971
- 4) 奥野忠一, 久米均, 芳賀敏郎, 吉澤正: 多変量解析法 (1971), p. 259 [日科技連出版社]
- 5) 広瀬敬一, 猪狩武尚: 電動力応用 (1964), p. 60 [コロナ社]
- 6) A. M. Kuszj: Iron and Steel Engineer, (1968) May, p. 77
- 7) 吉村力, 石井泰, 大岡崇: 測定値の統計的処理 (電気学会通信教育会編) (1968), p. 117
- 8) 小山建次, 久保田伸夫: 三菱電機技報, 48 (1974) 2, p. 209