
設備診断と計測技術

Machine Condition Diagnosis and Instrumentation and Control Techniques

飯田 永久(Nagahisa Iida) 下西 幾二(Ikuji Shimonishi) 近藤 広章(Hiroaki Kondo)

要旨：

設備診断技術と計測技術の関係を、(1)設備診断の重要な要素技術としての計測技術および(2)診断の対象としての計測設備の二つの観点から論述した。要素技術としての計測技術は、従来センシングが重要であったが、信号処理、診断論理の点でも重要性が増してきた。また当社の事例にも、計測制御設備を対象にしたものが増えてきつつある。知識工学を応用した圧延機油圧装置の診断システム、圧延機直近厚さ計の遠隔診断システム等がその例である。新しい傾向として、プロセス全体の診断を、製品品質等から総合的に行おうとする試みがみられる。今後の展開としては、知識工学の応用が設備診断技術に与える影響がますます大きくなると予測される。

Synopsis：

Machine condition diagnosis technique is closely related to and largely depends on instrumentation and control techniques. Not only the detection and processing of signals from the equipment concerned, but also judging or diagnosing algorithms are given by control techniques, including knowledge engineering. This paper describes the roles of instrumentation and control techniques in the machine condition diagnosis and general situation of the diagnosis systems around the instrumentation and control devices or systems at Kawasaki Steel, with some actual examples. Among them explained are an expert system, one of the knowledge engineering techniques, applied to a hydraulic rolling mill control system, and a monitoring system for a γ-ray thickness gauge in very severe circumstances. The probability is also suggested that physical and operational conditions of a production line can be diagnosed using, as diagnosis parameters, the information of the product quality and the overall performance of the line.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Machine Condition Diagnosis and Instrumentation and Control Techniques



飯田 永久

Nagahisa Iida

水島製鉄所 電気・計装
部電気・計装技術室 主
査(部長補)

下西 幾二

Ikuji Shimonishi

鉄鋼企画本部 設備部
主査(部長補)

近藤 広章

Hiroaki Kondo

知多製造所 設備部設
備技術室 主査(掛長)

1 緒 言

物理量を検出し、それを利用しやすい形に変えるという意味の「計測技術」は、すべての応用技術分野にとって極めて重要な要素技術であり、このことは設備診断技術の場合も例外ではない。それどころか、設備診断技術は他のどの応用技術よりも計測技術に対する依存度の高いもので、その発展は計測技術の進歩によって支えられてきたと言っても過言ではない。

一方、鉄鋼の生産設備を機械設備、電気設備、計測設備と分類したとき、設備診断技術の恩恵は、これまでは主として機械設備と一部の電気設備だけが享受してきたといつてよいだろう。これは次のような理由によると思われる。

- (1) 従来は生産設備全体に対して機械設備が最も構成上の比率が高く、その故障が生産設備全体の停止に直結することが多かった。一方、計測設備は故障しても次の保全チャンスまでその機能を停止しておくことが許される場合があった。
- (2) 回転機器の診断では、周波数領域での解析が比較的容易かつ有効であり、この関連の技術を中心に普及した。
- (3) 計測設備は一般にそれ自体がインテリジェンスを持ち、自己診断機能を有するものが多い。

しかし、これまで計測設備への設備診断技術の適用例を少なくさせていた上のような事情は、現在大きく変わりつつある。制御設備を含めた広義の計測設備の重要性が急速に高まっていること、知識工学などの新しい診断技術支援ツールの発展が著しいことなどがその主な変化である。

本論文では、当社での設備診断の事例を紹介し、上のような観点から設備診断技術と計測技術との関連について述べる。

要旨

設備診断技術と計測技術の関係を、①設備診断の重要な要素技術としての計測技術および②診断の対象としての計測設備の二つの観点から論述した。要素技術としての計測技術は、従来センシングが重要であったが、信号処理、診断論理の点でも重要性が増してきた。また当社の事例にも、計測制御設備を対象にしたものが増えてきつつある。知識工学を応用した圧延機油圧装置の診断システム、圧延機直近厚さ計の遠隔診断システム等がその例である。新しい傾向として、プロセス全体の診断を、製品品質等から総合的に行おうとする試みがみられる。今後の展望としては、知識工学の応用が設備診断技術に与える影響がますます大きくなると予測される。

Synopsis :

Machine condition diagnosis technique is closely related to and largely depends on instrumentation and control techniques. Not only the detection and processing of signals from the equipment concerned, but also judging or diagnosing algorithms are given by control techniques, including knowledge engineering. This paper describes the roles of instrumentation and control techniques in the machine condition diagnosis and general situation of the diagnosis systems around the instrumentation and control devices or systems at Kawasaki Steel, with some actual examples. Among them explained are an expert system, one of the knowledge engineering techniques, applied to a hydraulic rolling mill control system, and a monitoring system for a γ -ray thickness gauge in very severe circumstances. The probability is also suggested that physical and operational conditions of a production line can be diagnosed using, as diagnosis parameters, the information of the product quality and the overall performance of the line.

2 設備診断技術と計測技術

計測の意味は Fig. 1 に示した設備診断システムを構成する要素でいうと、検出と信号処理の部分だけを指す場合があるが、本論文では、検出され処理された情報の「種々の加工」や、その結果を用いた「制御」も含むものとする。したがって、計測技術は判断と診断のための技術も含むことになる。また、ここで計測設備とは、計装システムを構成する一般工業計器、放射線厚さ計、分析計等の特殊計測装置、プロセス制御用のマイクロミニコンピュータ等を意味するものとする。

本章では計測技術および計測設備と設備診断技術との一般的ななかかわりについて述べる。

* 平成2年2月28日原稿受付

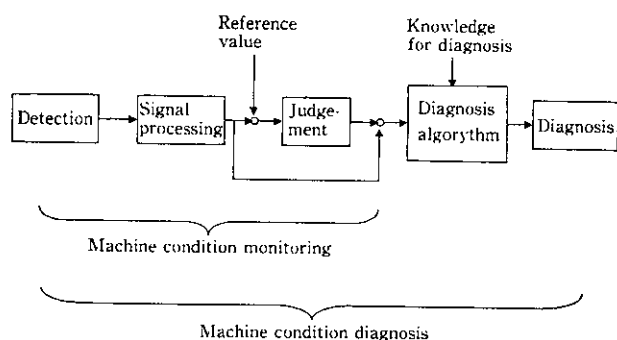


Fig. 1 Machine condition diagnosis and monitoring

2.1 設備診断技術の要素技術としての計測技術

設備診断技術は、特定の技術をさまざまな分野に応用しようというシーズから生まれた技術ではなく、一般に生産技術にみられるように、目的達成のために必要なあらゆる技術を結集したニーズ志向型の技術の総称である。したがって、設備診断技術の体系的整理は一律にはできないが、現在用いられている主な設備診断技術要素を、(a)異常の検知、(b)異常原因の同定、(c)異常の予測、の設備診断技術の3要素機能に分けて整理したのが Table 1¹⁾である。これをさらに計測技術から整理すると、Table 2 のようになる。ここで、設備診断技術を構成する各要素は、Fig. 1 のように考えるものとする。Table 2 で * 印のものが、当社での開発事例の多いものである。特殊な設備診断用センサとしては、超音波を利用した距離計、切削加工時の応力検出を目的としたロードセル、可聴音用マイクロフォン等がある。

また発想しだいで同じ技術を別の目的に用いることも可能であり、今後とも各種の計測技術が設備診断技術に多様に用いられることになる。特に当社の場合には、古くから鉄鋼関係の計測機器の開発を手がけてきた関係会社川鉄アドバンテック株式会社と連携して設備診断用の機器/システムの開発を進めてきているのが特徴である。すでに両社共同で汎用化し、商品化したものも多い²⁾。

Table 2 Instrumentation techniques commonly used in machine condition diagnosis

Detection	• Force, acceleration sensor* • Temperature (pattern) sensor • Acoustic (sound) sensor* • Displacement sensor (ultra-sonic*, etc.) • Color sensor • Time monitoring
Signal processing	• Frequency analysis* • Filtering of various kinds
Judgement	• Statistic control • Pattern matching
Diagnosis	• Expert system* • Model reference • Arrow-oriented network diagram

* Techniques frequently used at Kawasaki Steel

2.2 計測設備を対象とした設備診断

Table 3 に、当社で開発または導入した設備診断システムの事例数を示す。

Table 3 Number of the machine condition diagnosis systems introduced to the two works of Kawasaki Steel

Works	Year				
	No. of the machine condition diagnosis systems (No. of the systems applied to instrumentation and control equipment)				
	1984	1985	1986	1987	1988
Chiba Works	10 (0)	15 (0)	12 (1)	16 (1)	24 (2)
Mizushima Works	5 (1)	10 (0)	15 (1)	11 (0)	4 (0)

Table 1 Major elementary techniques used for machine condition diagnosis

	Failure detection	Identification of failure causes	Failure prediction
Applied techniques	MSA (Mechanical Signature Analysis) Diagnosis of rotating bearings Diagnosis of rotating machines Lubricant analysis Insulation diagnosis Leak detection Non-destructive testing Acoustic emission monitoring		
Basic techniques	Sensing techniques Signal processing Chemical analysis	Knowledge engineering Pattern recognition Systematization theory Control theory Fuzzy logics Multi-variable analysis	Material life prediction (fatigue, creep, corrosion) Failure physics

Table 4 Examples of the machine condition diagnosis/monitoring systems at Mizushima Works (1984~)

Diagnosis of unloaders
Diagnosis of No. 2 blast furnace body
Diagnosis of low speed bearings in CC
No. 2, 6 CC roll gap sensors
No. 2, 5, 6 CC machine condition diagnosis
Slab CC roll condition monitoring
Plate mill hydraulic AGC diagnosis*
Plate mill back-up roll diagnosis
AE diagnosis of plate mill bearings
Hot strip mill machine monitoring system
Hot strip mill spindle monitoring system ⁹⁾
Machine monitoring system of block mill for rods
Continuous annealing line machine monitoring system
No. 2 cold rolling mill machine monitoring system
EGL machine monitoring system
No. 2 cold rolling mill hydraulic control system diagnosis*
CGL machine monitoring system

* Systems applied to measurement and control equipment

Table 4 は、水島製鉄所の設備診断事例を具体的に示したものであり、表中(*)が広義の計測設備を対象としたものである。

これらの事例を含む当社の設備診断システムの状況をまとめると次のようになる。

- (1) 機械設備では、主として連続鋳造以降のプロセスで軸受の振動監視を主な機能とする事例が多い。特に、連続焼鈍ラインなどの最近建設された連続処理プロセスには、数百点の監視点を有するモニタシステムがすべて導入されている。
- (2) 電気設備では、電動機、変圧器などの絶縁測定による診断が定期的に行われているが、大規模なオンラインの設備診断システムは構築されていない。
- (3) 常設のシステムとしては固定設置されていないが、必要な時に機動的に使用できる絶縁診断器、赤外線温度パターン計測装置等の可搬の診断機器が、電気・計測設備の診断用として効果的に用いられている例がある(本号製品紹介⁴⁾参照)。
- (4) 計測設備では、油圧機器の診断システムの導入例などがみられるが、計測器メーカーの標準として装備されている RAS (reliability, availability and serviceability) 機能等を除くと、設備診断アプリケーションの事例数は少ない。Table 5 にメーカ

Table 5 Common RAS (reliability, availability and serviceability) functions for instrumentation equipment

Sensing	- Automatic gain monitoring - Automatic calibration
Data way	- Error frequency monitoring - Circuit reliability control - Double circuit coincidence check
Power supply	- Power deterioration monitoring - Power failure diagnosing
Arithmetic unit	- Error frequency monitoring - Majority decision system

標準のものを含んだ計測設備に関する診断機能をまとめた。

上に示したように、計測設備についての設備診断事例は現在はまだ決して多くはないが、今後の計測設備の重要性の増大、計測設備保全員、特に熟練保全員の確保の困難さ、設備の高安定稼働のニーズ等に応じて、着実に増加すると思われる。

3 新しい設備診断技術と計測制御技術

マイクロエレクトロニクスの進歩により、センサや信号伝送のコストが全般的に下がり、また高度のインテリジェンスを持つものが容易に入手できるようになった。新しい各種のセンサ等は色々な設備診断項目に有効に利用できる可能性を持っている。一方、知識工学の発達には設備診断システムの診断性能を飛躍的に高めつつある。

3.1 設備診断のための新しいシーズ技術

前述のように設備診断技術はニーズ中心の技術であるため、シーズ技術は極端に言えば何でもよい。そのため実に多岐にわたる技術が使われているが、計測技術を中心にしたシーズ技術について、最近の傾向と今後有望な項目とを Table 6 に示しておく。*印のものは当社でも重点的に取り上げ、実用化を推進している項目である。

これらのシーズ技術の特徴は以下のとおりである。

- (1) 設備の状態の検出法としては、振動検出に加えて AE (Acoustic Emission)、可聴域の音の使用例が増えている。
- (2) FFT などの信号処理技術や通信技術が大きく設備診断技術を進歩させつつある。
- (3) ファイバースコープ、赤外線カメラなどを検出端として、画像処理技術を利用したシステムが考えられている。
- (4) 超音波法あるいはそれに類似した方法(パルス反射法)で、煉瓦、ケーブルなどの残存厚さ、長さを測定する技術も今後増えよう⁹⁾。
- (5) X線(あるいは γ 線)や超音波による工業用 CT 技術も発達してきた⁹⁾。
- (6) 診断法に知識工学手法を用いるものが著しく増えてきている。
- (7) その他、遠隔点検技術への高解像度 ITV、工業用ロボット

Table 6 Recent tendency and prospective techniques for machine condition diagnosis

Detection	- High resolution ITV - Audible sound monitoring* - Holography - Monitoring of action time interval* - Optical fiber (temp. distribution monitoring etc.)
Signal processing	- FFT* - Image signal processing* - Computer tomography technique
Judgement/diagnosis algorithm	- Expert system* - Fuzzy theory* - Neural network* - Simulation techniques of various kinds
Others	Application of robots (including remote existence)

* Items being developed with emphasis by Kawasaki Steel.

の応用、微小歪みの検出へのホログラフィの応用等が考えられる。

また、原子力発電所や航空機整備工場等の、極めて高い信頼性が必要な場面で実用化されている診断技術の一般産業の生産設備へのトランスファについて、評価し検討を加えてみる必要がある。

3.2 設備診断からプロセス診断への移行

「設備」は生産活動全体からみれば、やはり手段であって目的のものではない。設備診断技術は設備単体の診断から、より企業の目的に近いもの「診断技術」へと発展すべきである。つまり、個々の設備機器の診断にとどまらず、製品品質などの設備の状態を表す各種の指標を観察して、生産に関係するプロセスの多くの構成要素の健全性や操業自体の妥当性を診断する方向に発展しなければならない。

必ずしも単体設備だけに着目せずに、生産の過程そのものあるいは製品そのものの状態にも着目した監視・診断技術はこれまでもあった。たとえば次のごときものである。

- (1) 連続鋳造ブレイクアウト予知
- (2) 連続鋳造鋳片表面キズ発生予知
- (3) 薄板コイルエッジ巻き形状計⁷⁾
- (4) オンライン圧延ロールプロフィール計⁸⁾

これらは診断というよりも監視あるいは合否判定に近いものではあるが、実用になっている類似技術という点で、新しい設備診断技術を考えるとき、十分に参考にすべき技術である。(1)については後で詳述する。

上記のような製品品質の異常を知って、設備の異常部位を同定する診断ロジックには、大規模な知識工学応用システムの適用が不可欠である。有力な診断シーズ技術としての ES (Expert System) を中心とした知識工学の発達、近い将来に設備診断技術にも大変革をもたらすと予想される。廉価、高速、高性能な ES ツールの出現によって、次のような傾向が強まろう。

- (1) 熟練設備技術者をしのぐ設備診断装置の普及
 - (2) より複雑な構造の因果関係を解くロジックの開発と普遍化
- 現在、すでにこれに属するシステムの報告がなされ始めている。以上のような考え方を Fig. 2 に示す。

3.3 設備診断技術の今後と計測技術

今後の設備診断技術の方向について、計測技術に重点を置いて考えてみる。変化の比較的大きそうな要因を挙げると次のようになる。

- (1) 診断コストの低廉化とそれによる診断の普及
通信技術の発達や超 LSI 技術によるセンサと配線コストの低価格化等が進むとともに、パーソナルコンピュータでの信号処理が容易になるため、回転機械系を対象とした標準的な設備診断システムは急速に一般化している⁹⁾。
- (2) 知識工学による診断ソフトのレベル向上
ES に代表される知識工学の本格的応用技術が発達し、熟練者の判断の代替が可能になる。ただし、これは知識獲得技術の発達が前提となる。
- (3) 計測設備の診断への適用の拡大
計測機器の校正作業、故障時のトラブルシューティング等への ES 応用の設備診断技術の適用、表面処理鋼板のめっき付着量計のようなかなり複雑な計器の、システムとしての健全性の診断システムの開発などがなされよう。
- (4) 診断システムの診断技術、診断機器の信頼性向上

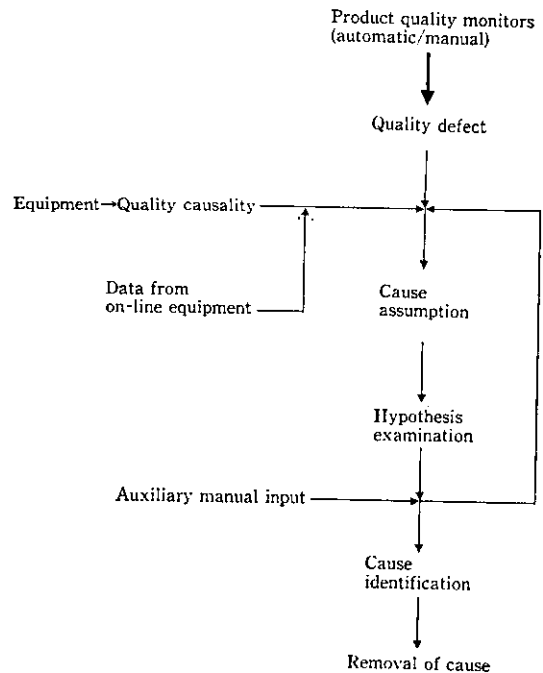


Fig. 2 A model flow of total process monitoring/control system

診断システムの増加、複雑化に伴い、センサの劣化判定法を含めた診断システム自体の診断機能の必要性が高まる。この場合は診断ロジックよりもよりハード的な監視、診断機能が用いられよう。

(5) ソフトウェアの異常予知、診断

各種のソフトウェアが膨大になり、複雑化していく中で、その劣化度の監視・診断の必要性も生じてきた。オンラインではエラー発生モードの監視、オフライン的にはシミュレーションによる診断などが考えられる。

4 設備診断の実例

当社での設備診断技術適用システムの実例を以下に示す。

4.1 圧延機直近放射線厚さ計の診断¹⁰⁾

鉄鋼各社は極限までのプロセス変数の計測を追求しており、近年、計測機器が非常に環境の悪い場所に設置される例が増えてきている。熱間圧延機の直近に設けられる厚さ計などがその典型的な例である。一般に鉄鋼プロセス用の厚さ計は、 γ 線などの放射線を用いたもので、苛酷な条件の現場に設置される線源部および検出部は複雑な構造をしているうちに、振動や高温に弱い電子部品等を内蔵している。したがって、通常は厚さ計の線源部および検出部は必要な時に測定のための場所から退避させて保守点検を施すことが可能なように設計されている。しかし、1台の圧延機で往復して圧延する厚板圧延では、板厚制御精度向上のために圧延機の直近で厚さを測定する必要があり、スペースの制約で線源部および検出部の移動が不可能なものがある。当社水島製鉄所の厚板工場で、圧延機の直近に設置した γ 線厚さ計はこの例であり、15~25日間は線源および検出部の直接的な保守点検はできない状態が続く。Fig. 3にこの厚さ計の機械的構成を示す。線源および検出部は厚さ計専用のフレームを持たず、圧延機ハウジングにそれぞれ固定設置されている。厚さ計の制御部では、温度、振動、湿度、高電圧値、校正状態など、測定精度に影響を与える諸条件が監視できるようになっているほ

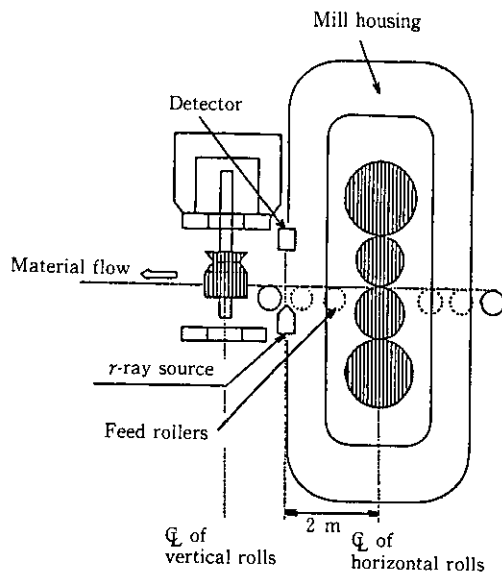


Fig. 3 Location of the thickness gauge in the plate rolling mill

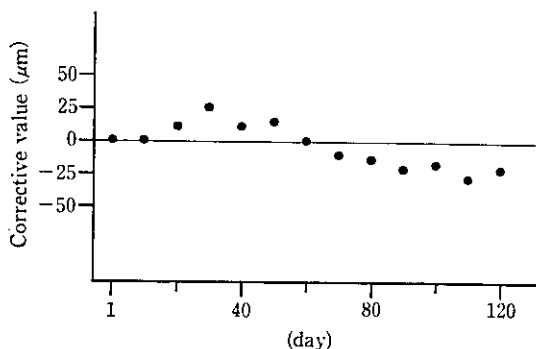


Fig. 4 Stability of the thickness gauge

か、線源からの放射線強度を直接監視して、厚さ計の異常の有無の診断が常時可能となっている。Fig. 4はオンライン自動多点校正結果の推移である。ドリフトは $21.6 \mu\text{m}/\text{month}$ 程度で、安定している。この事例では、厚さ計の振動が一定値以上になると、診断システムが厚さ計の「装置異常」と判断するが、これにより圧延機に付属している機械部分の異常の検出も可能である。

4.2 知識工学による油圧制御装置の診断

知識工学は、医療診断技術をその最初の対象として発展してきたことでもわかるように、設備診断の診断機能を構成するための極めて有効な技術である。知識工学分野での課題の一つである知識の獲得技術の進歩と産業界での熟練労働者の不足への危機とが相まって、知識工学は確実に今後の設備診断ロジックの主流になりつつある。本特集号別稿の回転機器の診断へのESの適用もその典型的な例であるが、ここでは圧延機の油圧圧下装置の設備診断への適用例について述べる。

Fig. 5に水島製鉄所第2冷間タンデム圧延機油圧圧下装置に設置されたシステムの診断メカニズムを示す。エキスパートシステムの中心をなすのは、エンジニアリングワークステーションES-330(日立)であり、知識表現用ソフトウェアとしてC言語とLISPを用いている。Fig. 6はこのシステムの診断例を示すフローである。オペレータはエンジニアリングワークステーションのCRT画面と対話しながら診断を進める。Table 7にこのシステムの諸元を示す。本

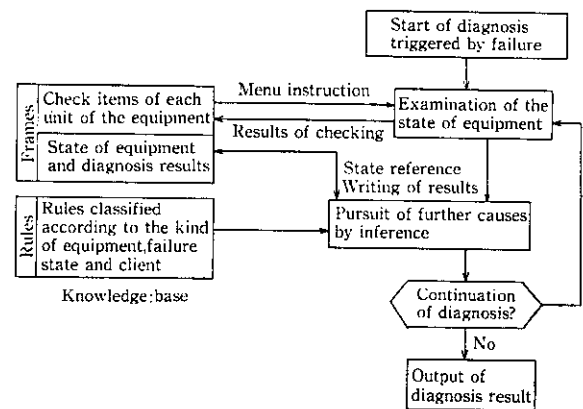


Fig. 5 Diagnosing mechanism of the expert system for the hydraulic system

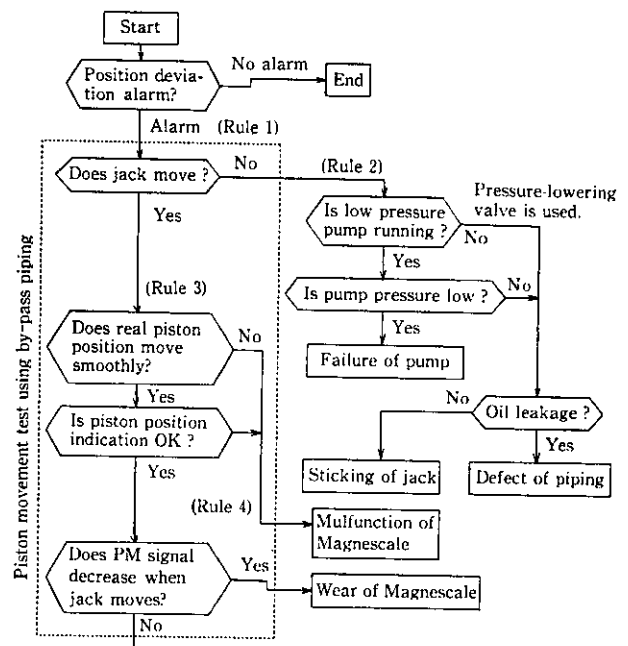


Fig. 6 Diagnosing example in the case of abnormal deviation of piston position

Table 7 General specifications of the expert system for the rolling mill hydraulic system

Knowledge expression	Frames and rules
Number of frames	~ 30
Number of rules	~130
Language used	C (diagnosing mechanism) LISP (knowledge base, editor)
Diagnosing levels	2 (operator level, maintenance person level)
Proper functions	• Re-diagnosing (repeating) function • Explanation (help) function • Certainty factor operation
Processor	Engineering work station ES-330 (Hitachi)

システムはまだ熟練保全員のレベルには達しておらず、中級者のレベルであるが、機器故障時のオペレータの一次判断の補助機能を担っている。

4.3 連続鋳造設備のブレイクアウト予知

連続鋳造設備の操作にとって、1500°C 程度の溶鋼が飛散するブレイクアウトは、極めて大きい損失をもたらす。これまでもその発生の予知のために、モールドオシレーション波形の歪み観測やオシレーションの機械的負荷の解析が試みられたが、成功していなかった。千葉製鉄所の No. 1 および 3 連続鋳造設備では、Fig. 7 に示す

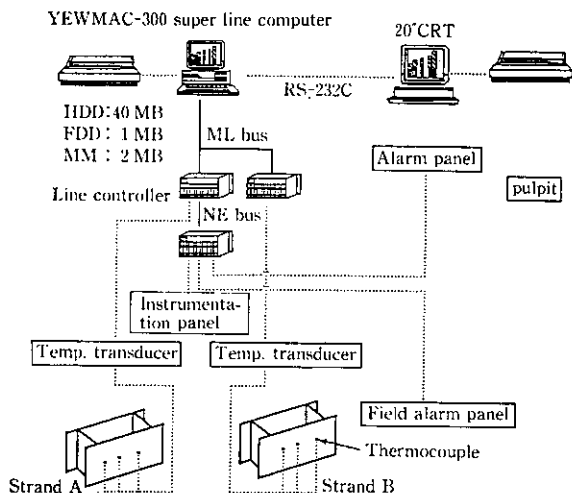


Fig. 7 Breakout prediction system of No. 3 CC at Chiba Works

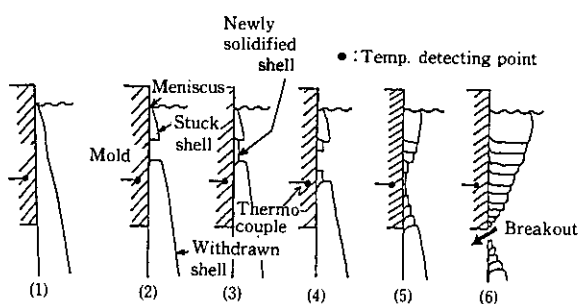


Fig. 8 Generation of restricted breakout

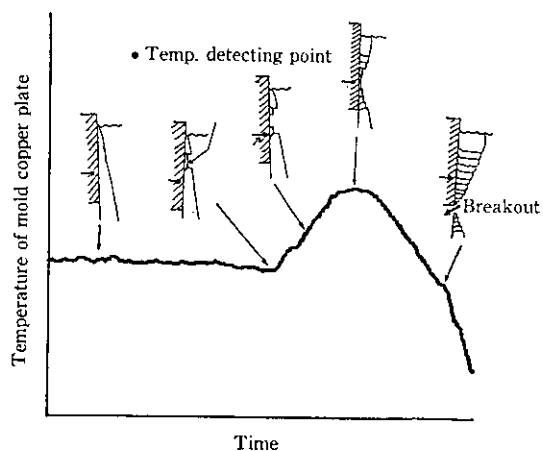


Fig. 9 Temperature transition of mold copper plate during the generation of restricted breakout

構成のモールド銅板の温度解析を基本原理とするブレイクアウト予知システムを開発した。ブレイクアウトはモールドの銅板と鋳片の凝固シェルとが密着して凝固シェルが破断し、この破断箇所が下方に移動してモールド下端から出た所で生じるものと考えられている。この発生メカニズムを Fig. 8 に示す。ブレイクアウト予知は、ブレイクアウトの可能性の大きい箇所が V 字状をし、モールド銅板に沿って上から下に動くときに観測される温度変化 (Fig. 9) を銅板に埋め込んだ熱電対で検出するものである。本システムでのブレイクアウト予知の性能は、千葉製鉄所 No. 3 連続鋳造設備の場合、過検出率が 14.3%、的中率が 85.7% であり、不検出率は 0% であった。この結果ブレイクアウトの発生を 100% 防止することができている。

4.4 切削機械の状態診断

鉄鋼製品の製造工程には比較的機械加工プロセスは少ないが、鋼管の製造の最終段階では、各種の切削機械が使用される。知多製造所では、Fig. 10 に示す鋼管の端面を切削加工する面取機用の切削工具の状態診断装置を開発し、オンライン化に成功した。この診断装置の目的は、製品の切削加工面の品質を安定に保つことと切削工程の監視員の省力化である。切削工具の状態を鋼管端面の切削中に診断するために、面取機の回転方向と押し付け方向のそれぞれの切削力に着目し、切削工具の状態診断に適した信号検出が可能かどうかを検討した。その結果、押し付け方向の切削力が切削工具の状態によりかなり変化することが判明した。Fig. 11 に、切削工具が切

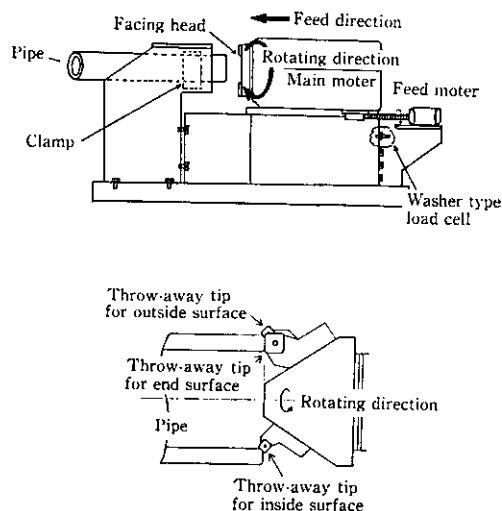
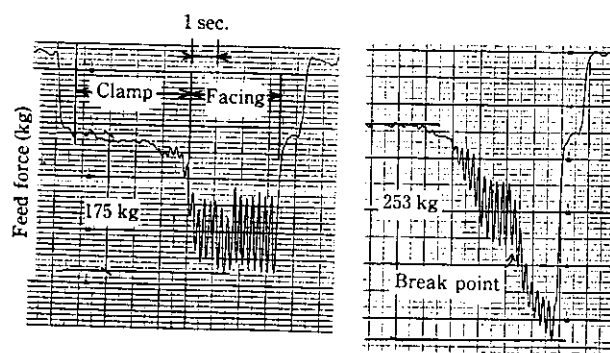


Fig. 10 Schematic structure of pipe-end facing machine



Pipe dimension: 177.8 ϕ $\times$ 30.0 t
Feed speed : 0.46 mm/s
Rotating speed: 280 rpm

Fig. 11 Feed force data during facing

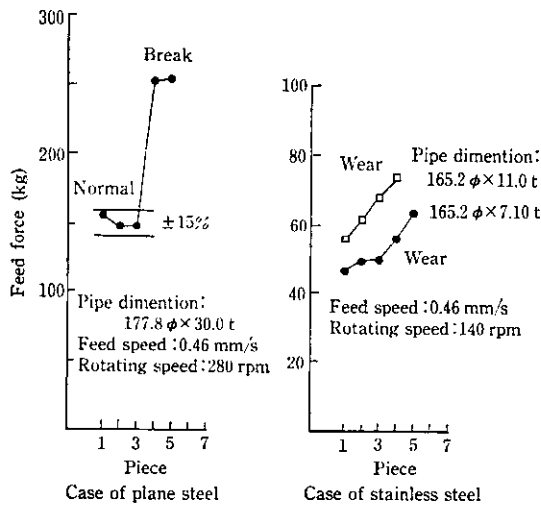


Fig. 12 Change of condition on feed force

削中に欠損したときの、ワッシャ型ロードセルによって検出された、押し付け方向切削力の変化を示す。従来のこの種の診断技術としては、回転方向の切削力の変化を、切削モータの負荷電流あるいは鋼管クランプ装置の回転反力の測定によって検出するものが中心であった。しかし、切削工具の異常による回転方向切削力の変化は回転体の慣性に比較して小さいため、この方法では精度のよい切削

工具の状態診断はできないとされていたが、今回の検討でもこのことが立証された。

Fig. 12 に、本システムによる切削工具の状態変化検出の例を示す。切削工具が欠損した場合、ステンレスを切削したときの切削工具が急速に磨耗した場合および普通鋼を長期間切削した場合の状況がそれぞれ判別できる。

5 結 言

計測技術と設備診断技術とのかかわりについて、設備診断技術における重要な要素技術としての計測技術という観点と、計測制御設備への設備診断技術の適用という観点とから、いくつかの例を紹介し、論じた。

当社における設備診断技術の開発は、これまでのところでは、主に回転機械系の振動解析を中心として展開されてきたが、今後は電気・計測系設備への適用の拡大、さらには品質情報に基づく総合的なプロセス診断、操業診断システムの開発へと、より広範囲で複雑な方向へ向かうことになろう。このことは当社内に限らず、産業界一般の大きな流れでもあり、こうした状況が設備診断技術と計測技術との関係をますます密接にすることは論を待たない。計測技術は検出から診断までのすべての設備診断の要素を担い、かつそのレベルを大きく高める可能性を持っている。今後の計測技術者の設備診断技術に対するより積極的な取り組みが必要となろう。

参 考 文 献

- 1) 高田祥三:「システムの高信頼化と診断技術」, 計測自動制御学会講習会テキスト, (1988) 1月, 81-96
- 2) 永井 勲, 和田憲三, 竹内一則: 川崎製鉄技報, 22 (1990) 2, 121-125
- 3) 川崎製鉄(株): 公開特許公報 昭 59-37443
- 4) 田部井邦夫: 川崎製鉄技報, 22 (1990) 2, 135-136
- 5) 岡田利武, 下村興治, 堀 隆一, 新井明男, 永井信幸, 森山 隆: 材料とプロセス, 2 (1989) 4, 134
- 6) 実森彰郎: 計測と制御, 26 (1987) 8, 675-680
- 7) 福高善己, 中島久志, 植木 茂, 田中英一: 第 23 回 SICE 学術講演会, (1984), 3302
- 8) 奥野 眞, 市川文彦, 石川 孝, 武智敏貞: 材料とプロセス, 2 (1989) 5, 520
- 9) 笠井 聡, 多田吉男, 長谷川恒也, 佐能克明, 藤本茂樹: 川崎製鉄技報, 22 (1990) 2, 74-82
- 10) 片山二郎, 山崎順次郎, 馬場和史, 岡村 勇, 小川隆生, 井上正敏: 材料とプロセス, 1 (1988) 2, 335