
連続鋳造設備における設備診断技術の開発

Development of Machine Diagnosis Techniques in Continuous Caster

後藤 信孝(Nobutaka Goto) 大西 廣(Hiromu Onishi)

要旨：

製品品質保証と設備の安定稼動保証を目的として、連続鋳造設備における設備診断技術の開発を行った。品質保証のための設備精度監視として、モールド内の冷却状況、ロールギャップやロールアライメントの監視が行われる。また、突発的な故障を回避するための手段として、振動法による回転機器の監視、マシン冷却水の監視、油圧、潤滑監視、電動機の電流監視が行われる。個々の診断情報は、設備診断システムの中に取り込まれ、有効に活用される。これらの技術により、スイングタワーの旋回軸受け診断、駆動電流によるピンチロールの異常診断、ブレークアウト予知精度向上が可能になった。

Synopsis：

In order to assure the quality of products and steady casting, the authors developed the techniques of machine diagnoses in the continuous caster. Watching of the mold cooling condition and monitoring of the roll gap and roll alignment have been carried out for assuring the quality of products. Observation of the rotary machine by vibration monitoring, and watching of the machine cooling water flow, hydraulic pressure, lubricating system, and the motor current have been practiced for prevention of breakdown. These are systematized in the machine-condition monitoring system, and are used effectively. By these techniques, the diagnosis of the turning bearing in the swing tower, and pinch roll unit, and improvement of the break-out detector have become possible.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Development of Machine Diagnosis Techniques in Continuous Caster



後藤 信孝
Nobutaka Goto
水島製鉄所 設備部設備
技術室 主査(課長
補)



大西 廣
Hiromu Onishi
水島製鉄所 設備部設備
技術室 主査(部長
補)

1 緒 言

鉄鋼製造設備の製造プロセスの連続化、同期化を背景に、製造プロセスとしては上工程に位置する連続鋳造設備は、特に設備の信頼性が重要で安定操業を要求されている。また、設備の精度が製品品質に及ぼす影響も大きく、故障予知を目的とした設備監視のみならず、品質のつくり込みを目的とした設備精度監視も必要で、これらを組み合わせた設備診断システム^{1,2)}を構成しなければならない。ここでは当社の連続鋳造設備における設備診断の概要といくつかの事例を紹介する。

2 設備診断の概要

2.1 設備診断の目的

連続鋳造設備は溶鋼をモールド内で表面凝固させ、さらにロール帯でスプレー水により内部凝固させながら連続的に鋳片を引き抜き、製品を造り出す設備である。製品の品質や歩留まりは操業技術と設備精度によって決定されるが、特に最近の自動化により設備精度の影響が増大してきている。これまでさまざまな設備信頼性向上対策を実施してきたが、その中の重要な一つに設備診断技術の開発と適用が挙げられる。連鋳機における設備診断の目的は次の2点である。

- (1) 設備起因により鋳片に生じる種々の品質欠陥の発生を防止すること。
- (2) 設備損傷が軽度の時にこれを検知し、あらかじめ定めた方法で設備の突発的な停止を回避すること。

すなわち、品質保証の点では、モールドやロール設備の精度低下による鋳片内部あるいは表面欠陥の発生防止、モールド冷却水やス

要旨

製品品質保証と設備の安定稼働保証を目的として、連続鋳造設備における設備診断技術の開発を行った。

品質保証のための設備精度監視として、モールド内の冷却状況、ロールギャップやロールアライメントの監視が行われる。また、突発的な故障を回避するための手段として、振動法による回転機器の監視、マシン冷却水の監視、油圧、潤滑監視、電動機の電流監視が行われる。個々の診断情報は、設備診断システムの中に取り込まれ、有効に活用される。これらの技術により、スイングタワーの旋回軸受け診断、駆動電流によるピンチロールの異常診断、ブレークアウト予知精度向上が可能になった。

Synopsis :

In order to assure the quality of products and steady casting, the authors developed the techniques of machine diagnoses in the continuous caster. Watching of the mold cooling condition and monitoring of the roll gap and roll alignment have been carried out for assuring the quality of products. Observation of the rotary machine by vibration monitoring, and watching of the machine cooling water flow, hydraulic pressure, lubricating system, and the motor current have been practiced for prevention of breakdown. These are systematized in the machine-condition monitoring system, and are used effectively. By these techniques, the diagnosis of the turning bearing in the swing tower, and pinch roll unit, and improvement of the break-out detector have become possible.

プレー冷却水の系内の詰まりなどに起因する不均一冷却による欠陥の発生防止などである。一方、設備故障予知の面からみると、当然のことながら故障頻度の高い設備や突発故障時の復旧に長時間を要する重要設備を主な対象として設備監視を行い、その結果に基づいて致命的な故障を予防することである。具体的には軸受け、ファン等の回転機器の破損防止、油圧作動油や潤滑油の油洩れの早期発見などである。

2.2 設備診断の特徴

連続鋳造設備における設備監視およびそのデータに基づいた設備診断項目を Table 1 に示す。この中には既存の業監視操データを流用したものもあるが、診断のための独自の技術開発を行ったり、あるいは既存技術のうえに工夫を加えて実用化したものが多い。

以下、連続鋳造設備における設備診断の特徴を設備精度監視と設備故障予知に分けて述べる。

2.2.1 設備精度監視

連続鋳造設備における設備診断の特徴として、まず第一に設備起因により凝固過程で生じる品質欠陥を防止するため、設備精度監視

* 平成2年2月14日原稿受付

Table 1 Main machine diagnosis in continuous caster

	Equipment	Diagnosis objects	Main diagnosis items
Observation of machine condition for the quality assurance of product	Mold	Slab normality (Break out detection)	Mold cooling water flow and temperature Mold copper plate temperature
	Oscillation	Lubrication between slab and mold copper plate	Oscillation displacement
	Roll unit	Choking or leakage in the cooling water system	Slab cooling water flow and temperature
		Abnormal strain in slab	Roll gap, roll alignment Pinch roll torque Hydraulic pressure in pinch roll cylinder
		Crack on the roll surface	Roll cooling water flow and temperature
Prevention of breakdown	Bearing damage of swing-tower	Vibration of turning bearing in swing-tower	
	Damage of bearing or fan	Vibration of fan or pump	
	Leakage in hydraulic system	Hydraulic tank level and pressure	
	Damage of reducer	Vibration of reducer	
	Damage of bearing and electric device	Motor current	

および設備機能監視を行っていることが挙げられる。たとえば、モールド内の冷却状況や鋳片と鋳型間の潤滑状況の監視、ロールの間隔やロール回転状況の監視、水スプレーによる鋳片の冷却状況の監視などである。

まず、モールドにおいては、欠陥のない鋳片を製造するために必要とされる主な設備機能として次の2点がある。

- (1) 均一で安定した鋳型冷却の実現
- (2) 鋳型と溶鋼間の正常なパウダー潤滑状態の維持

これらの状態を監視するための手段として、モールド冷却水の温度、流量の連続監視に加えて、熱電対を用いた鋳型鋼板の冷却状況の監視および凝固鋳片シェルの破断によるブレイクアウトを予知する技術が実用化されている。また、潤滑材として用いられる溶融パウダーを均一流入させる機能を持ったオンレーション装置の変位を監視することによって、鋳片と鋳型間の潤滑状態を推定している。

次に、ロール設備において要求される機能は次の2点である。

- (1) 鋳片に異常な曲げ、矯正力を及ぼさないような適正なロール間隔とロールの配列の維持
- (2) 鋳片に異常応力を発生させないための均一冷却の実現

これらの機能を監視する手段として、変位センサを用いたロールギャップおよびロールアライメントの監視装置、2次冷却水の温度、流量監視装置などが設置されている。

2.2.2 設備故障予知

連続鋳造設備において突発的な故障を回避するための主な設備監視項目としては次のようなものが挙げられる。

- (1) 振動法による回転機器の監視

2次冷却帯で発生する水蒸気を排気するためのファンは、モールド内の潤滑材として使用したパウダーの付着、剝離により急速なアンバランスが生じ、放置すると軸受の破損に至る。また、レードル移送設備であるスイングタワーの回転軸受は超大型軸受で、損傷時の取り替えに長時間を要する。したがって、安定操業維持のためにはこれらの軸受の常時監視が必要であり、その手段として振動法を用いている。

- (2) 鋳片冷却用スプレーおよびマシン冷却水の流量と温度の監視
鋳片冷却水量は製品品質に重大な影響を及ぼすばかりでなく、鋳片の過冷却の場合には、ロール設備に過大荷重を与え、ロール折損や軸受の破損を招くおそれがある。

また、ロール冷却水量が不足すると、ロール温度が上昇し、ロール表面にクラックを発生させたり、ロール曲がりの原因となることもある。これらの設備損傷を防止するため、2次冷却水量およびロール冷却水量の常時監視を実施している。

- (3) 油圧および潤滑設備の監視

連続鋳造設備においてはピンチロールの押し付けなどに油圧設備が多く用いられている。油圧設備はコンパクトである反面、油洩れトラブルの危険性が高く、突発故障の主要な原因の一つとなっている。また、グリス潤滑が多く用いられているが、潤滑設備の故障による軸受破損も発生している。したがって、油圧作動油の洩れ監視ならびにグリス給脂異常監視を行っている。

- (4) 電動機の電流監視

従来から電動機や制御機器の保護を主な目的として電流監視が行われているが、最近では電流値による電動機自身の診断や、電気機器全般にわたる診断へと拡大している。さらに、電動機の電流監視は後述のように機械設備、電気設備を包含した系全体の診断情報としても活用しつつある。

2.3 設備診断システム化

これまで述べたように、品質保証と稼働率保証の目的から設備診断を行ってきたが、同時に設備監視データの処理やこれに基づいた診断を迅速にかつ効率的に行うためにコンピュータを用いた設備診断システム化を進めてきた。また、診断情報をネットワーク化することにより、データの伝送が迅速かつ容易に行えるようになった。これまで、設備診断データを処理するシステムとして、使用目的と規模に応じて、以下に示すような方式を採用してきた。

- (1) 全ての設備監視項目を操業システムの一環として集中監視し、さらにこのデータによる診断を一括して行う総合システム
- (2) いくつかのサブシステムを組み合わせて、必要に応じて選択的に上位の操業システムと接続する方法
- (3) 各診断項目をパソコンなどに接続し、独立したシステムとして操業システムと切り離して監視する方法

最近では安価なパソコンを有効に活用した(2)および(3)に相当するいくつかのシステムを連鋳設備診断に採用してきた。その一例として、Fig. 1に水島 No. 5, 6 連続鋳機の設備診断システムを示す。設備監視データはパソコンで収集、解析している。またデータの伝送は LAN ネットワークを用いており、送受信が複数の端末から容易に実施できる。さらに、品質に影響する診断項目は中央コンピュータまで情報が上げられ、品質データと対応づけている。このシステムの特徴は、設備起因による品質欠陥防止のための監視項目および設備故障予知項目を各々ブロック化して機能分担させていることである。

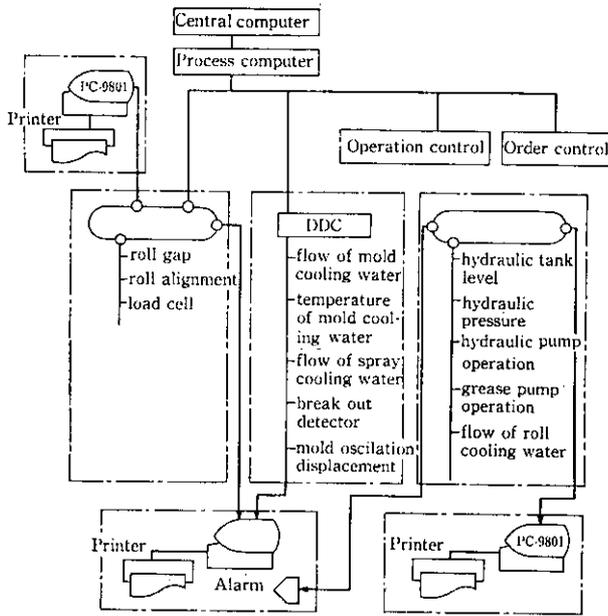


Fig. 1 Machine monitoring system of Mizushima No. 5 and 6 CC machines

3 設備診断事例

3.1 スイングタワー旋回軸受の診断

スイングタワーは Fig. 2 に示すように連続鋳造設備において溶鋼レールを所定の鋳造位置まで搬送するとともに、鋳造中のレールを支持する旋回アームを有した設備である。ここに用いられている旋回軸受は超大型で、その突発的な破損は長時間の設備停止を招く。そこで、異常を早期に発見して計画的なメンテナンスを行うことが予防保全上不可欠である。

スイングタワーの旋回軸受の回転速度は0.7(rpm)と極低速回転で、ころが傷上を通過する時に生じる衝撃波のエネルギーが小さいため、従来の汎用的な振動診断法³⁾では検出が困難である。そこで、以下に示すように振動値の経時的な変化を監視する方法とフェログラフィー法を組み合わせることで異常を診断した。

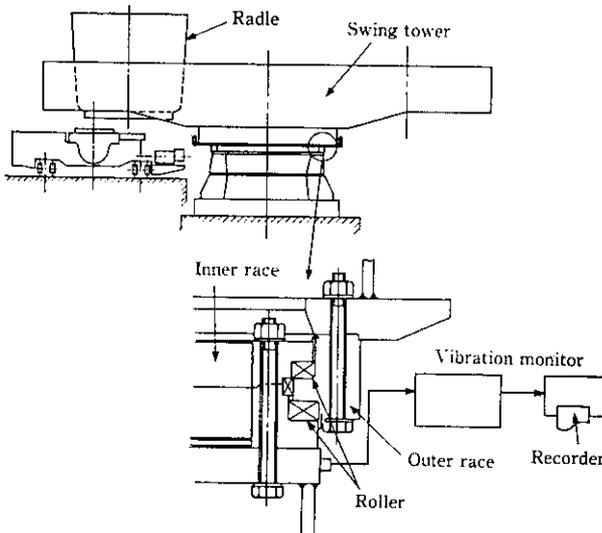


Fig. 2 Turning bearing diagnosis of swing tower

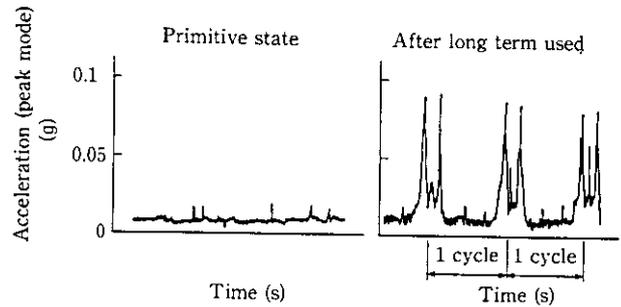


Fig. 3 Results of vibration monitoring of swing tower

極低速回転のため損傷初期段階から損傷末期に至るまでの経過時間が相当に長いこと、および末期段階に近い状態でも旋回輪、固定輪とも浸炭鋼のため割損にはなりにくいことから、すぐに不転になることはない。そこで、軸受が不転になる前に損傷が検知できればよいと考え、あえて振動法の適用を試みた。

高速回転軸受の振動法による診断では、軸受の負荷圏をあまり考慮せず振動センサを取り付ける場合が多い。しかし、旋回軸受の損傷による振動センサの加振力は小さく、かつ超大型軸受なので、負荷圏の考慮も必要で、ここでは衝撃負荷の大きいレール登載位置付近に取り付けた。また、振動計の感度を高め、通常のものに比べ+20 dB のものを用いた。

Fig. 3 に加速度ピークの測定例を示すが、長期使用後の振動測定結果には旋回に同期した振動値の周期的増減が顕著にみられた。使用初期段階においては、このような特徴は認められなかったため、軸受の損傷があると予想した。また、フェログラフィーにより排出グリスを検査した結果、疲労損傷の特徴であるスボール(15 μm 以上)やラミネー(5 μm 以下)⁴⁾が多く認められ、これらは軸受旋回輪または固定輪(SCM 445)と保持器(HBsC 1)の成分であることが確かめられた。

軸受を取り替え後、分解点検した結果、損傷は予想どおり旋回輪の負荷圏と固定輪の充満通過側に広範囲にわたりフレーキングがみられたことから、軸受の損傷末期近くになると振動法およびフェログラフィー法により損傷の診断が可能であるといえる。

3.2 駆動電流値によるピンチロールの診断

ロールおよびその周辺設備の中でもピンチロール設備は設備故障頻度も高く、製品品質に与える影響も大きい重要な設備である。ピンチロール設備の主なトラブルとしては次のようなものが挙げられる。

- (1) ロール押し付け用シリンダーおよび油圧系の故障
- (2) 軸受や減速機の損傷および異常錆片による負荷の増大
- (3) 電気および制御設備の故障

上記故障の検知手段として、(1)については前述の油圧監視装置があるが、(2)および(3)については簡便な診断手段がなかった。従来から電動機の設備保護対策として、過電流検知が行われているが、これも結果的には設備停止となり安定操業を維持できない。また、電流実績値のみでは情報が少なすぎて、機械および電気設備全体にわたるトラブルシューティングには不十分である。そこで、Fig. 4 に示す駆動電流および鋳込み速度各々の指令と実績を監視し、あらかじめ設定した設備異常の場合の変動パターンと照合することにより、機械設備ならびに電気設備の診断を行うようにした。

設備異常の場合にみられる代表的な電流および鋳込み速度の変動パターンを Table 2 に示す。たとえば軸受の回転不良などの場合

Table 2 Patterns of diagnosis by casting speed and pinch roll motor current

Case	Casting speed		Pinch roll motor current		Patterns (---Reference —Feed back)	Estimated causes
	Reference	Feed back	Reference	Feed back		
1	Constant	Decrease	Increase	Increase		Load increasing
2	Constant	Hunting	Hunting	Hunting		Failure of tacho generator or its coupling Load hunting
3	Hunting	Hunting	Hunting	Hunting		Abnormal reference to speed controller
4	Constant	Zero	Increase	Zero		Failure of thyristor or current controller

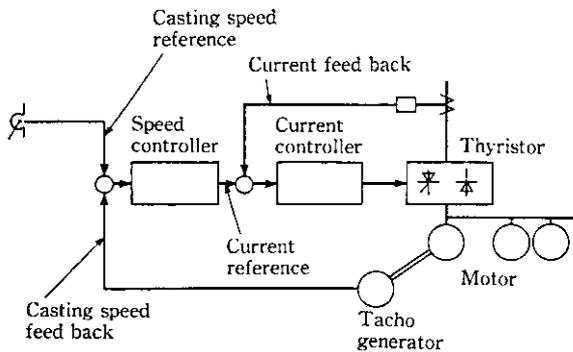


Fig. 4 Block diagram of pinch roll speed control system

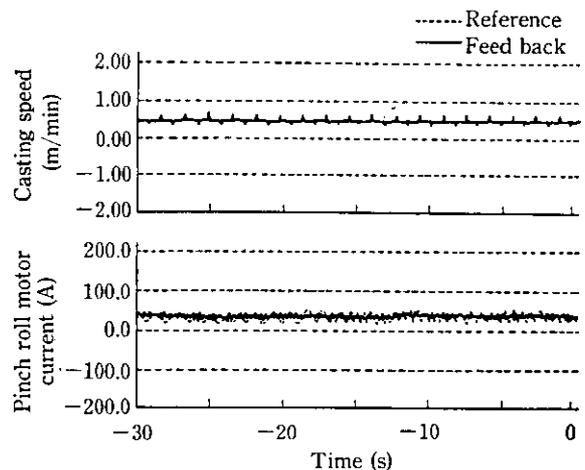


Fig. 6 Example of hunting in casting speed and pinch roll motor current

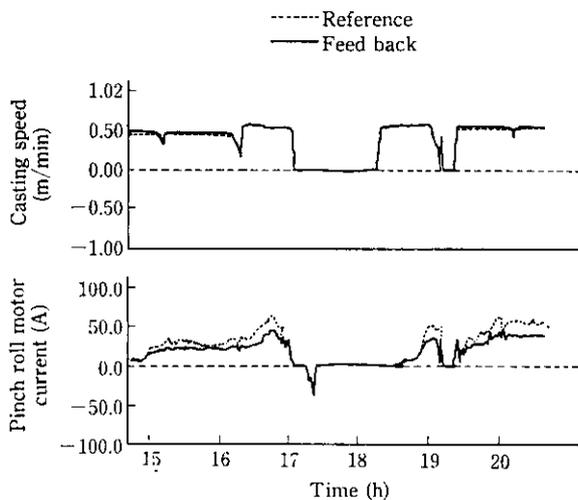


Fig. 5 Example of graphic display about casting speed and pinch roll motor current

は、電流値が増加し、同時にロールの回転速度が低下する(case 1)。また、ダミーペーパーまたは鋳片とロールの間で滑りが生じたり、速度検出器に異常がある場合は電流および速度実績にハンチング現象が

おこることがある(case 2, 3)。さらに、速度コントローラやサイリスタの異常は、指令信号と出力実績の差を監視することにより検知できる(case 4)。

Fig. 5 にピンチロール駆動電流と鑄込み速度の監視例を示す。ここではデータの取り込みは 0.1 s 周期で行われ 30 s ごとに異常パターンと照合、判定される。

Fig. 6 は操業中に電流値のハンチングを検出した例である。この場合は電動機に取り付けた速度検出器の異常あるいは取り付けカップリングのゆるみがおこっていたもので、これを取り替えた後はハンチング現象はみられなくなった。

以上のように鑄込み速度とピンチロール電流値を組み合わせることで、機械および電気を含めた設備全体の異常診断が可能で、さらにピンチロールの押し付け力など、他の信号も取り込んでエキスパートシステム化すれば診断精度の向上が図れる。

3.3 モールドにおけるブレークアウト予知

前述のように、モールドでの品質決定要因は冷却条件と潤滑条件

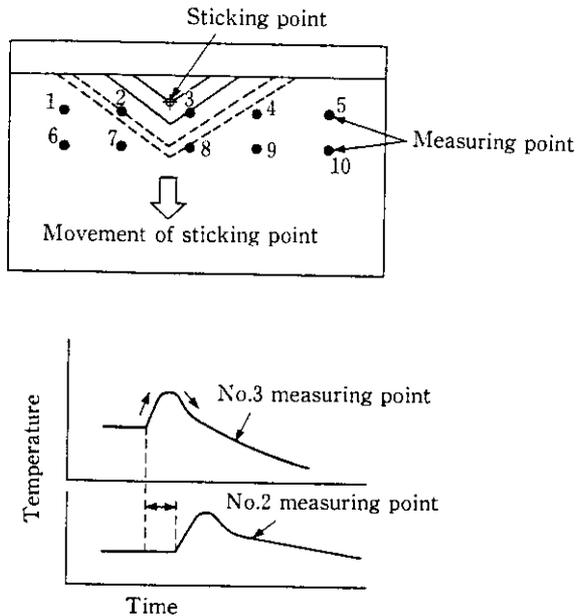


Fig. 7 Temperature transition of mold copper plate during the generation of restricted breakout

であるが、これらの条件が極めて悪い場合は、凝固シェルを伴う拘束性ブレイクアウトが発生することがある。これは凝固シェルが銅板表面に焼き付き、引張り力が作用して破断するものであるが、この時銅板に温度上昇が生じることを利用して焼き付きを検知することができる⁹⁾。また、シェルの破断点は鋳込みに伴って下方に移動し、Fig. 7に示すように周辺に設けた熱電対に同様の温度変化が生じるため、この温度伝播によっても検知可能である。

しかし、上記の方法ではブレイクアウト検知は可能であるが、以下の原因により過検知が多発する。

- (1) 鋳込み速度の増速時に生じる温度上昇
- (2) 特定の鋼種、モールドパウダーに特有の銅板温度変動

ブレイクアウト発生の場合と上記(1)の場合を比較するとFig. 8(a)に示すように、銅板温度が急速に上昇し、その後下降する時の温度勾配が異なることが分かった。すなわち、焼き付きが生じた場合はその位置で凝固シェルが成長するため温度降下が急速であるのに対し、(1)の場合は温度降下が緩やかである。この差異を利用してブレイクアウト検知には、温度上昇条件と下降条件を組み合わせた判定方法を用いた。ブレイクアウトを検知した場合には鋳込み速度を一時的に低下させ、シェル成長を待つことにより、Fig. 8(b)に示すように操業の継続が可能である。さらに、上記(2)の場合を含め過検知対策として以下の方法も実施している。

- (1) 鋳込みの加速度をみて増速時と定常時を判定してパラメータ

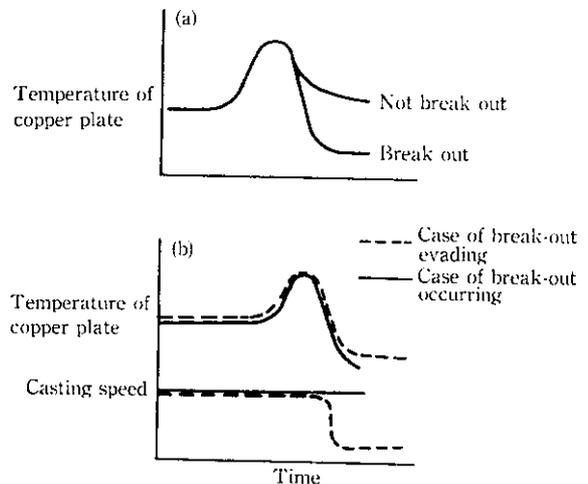


Fig. 8 Transition of temperature and casting speed at break-out detection

(温度偏差および変化率のしきい値)を切り替える。

- (2) 判定パラメータを鋼種、サイズ等により自動的に切り替える。
- (3) 鋳込み開始、タンデッシュ交換後一定時間および鋳込み速度がある値以下はマスキングする。

以上の改善により千葉3連鋳工場および水島5および6連鋳工場における過検知がほぼ解消できた。

4 結 言

連続鋳造設備における設備診断の概要と特徴について、設備精度監視と故障予知の観点から例を交えて述べた。すなわち、

- (1) 連続鋳造設備における設備診断の特徴として、品質保証を目的とした設備精度監視と突発故障回避のための設備故障予知が重要な項目である。
- (2) 各設備監視データの処理をシステム化することによって、診断を迅速かつ容易に行えるようになった。
- (3) 具体的な診断事例として、スイングタワーの旋回軸受の診断、駆動電流によるピンチロールの異常診断、ブレイクアウト予知精度向上が可能となった。

今後ますます連続鋳造設備の高稼働率化と製品の高品質化が進むと考えられ、品質情報に基づく総合的なプロセス診断の開発など、より複雑で多機能化した設備診断システムの方角に向かうことになろう。したがって、自動診断機能やエキスパートシステムなども取り入れた総合的な生産支援システムとして活用できるようにすることが今後の課題である。

参 考 文 献

- 1) 下戸研一, 池田圭吾: 「パソコンによる連続鋳造設備状態監視システム」, 川崎製鉄技報, 18 (1986) 1, 25-29
- 2) 中村勝美, 大西 廣, 佐藤国浩, 工藤敏夫, 柿原節雄, 福原 渉: 「千葉製鉄所第3連続鋳造機における設備診断技術」, 川崎製鉄技報, 14 (1982) 3, 47-48
- 3) 例えば, 異常診断設備診断技術研究会: 「故障予知異常予測技術資料集」, (1981), 592, [経営開発センター]
- 4) 野呂瀬進: 「フェログラフィによる潤滑摩耗粒子観察と機械診断」, 油圧技術, 7 (1983), 59-60
- 5) 椿原 治, 藤木紘一, 松下 昭, 大橋 渡, 庄司武志: 「モールド総合診断によるブレイクアウト予知及び表面品質解析」, 鉄と鋼, 70 (1984) 4, S 206