

潤滑技術・管理による設備の安定稼働と長寿命化

Stable Operation and Life Expansion of Equipment Based on the Lubrication Technology

四 阿 佳 昭*
Yoshiaki SHIA

抄 録

潤滑は全ての機械設備の稼働および保全にとって欠かせない基盤的な技術要素である。製鉄設備においては、これまで長年にわたる日常の潤滑・給油脂管理と、それを実行する各工程の操業や設備保全担当者のそれぞれの役割および協力関係、また潤滑技術担当部門による、潤滑剤の選定、浄油や長寿命化による改善、トラブル原因究明と対策、教育、啓蒙等によって日々の安定稼働が支えられている。特に現場の潤滑関連活動は、適切な日常管理を効率的に行うことと、トラブル解消、周期延長による保全負荷軽減に向けた改善や潤滑剤開発が継続的に行われてきたので、潤滑技術および潤滑管理の実態と種々の改善施策による成果を製鉄所での事例に沿って紹介した。

Abstract

Lubrication is a fundamental technology for the operation and maintenance of all machinery and equipment. In the steel plant, stable operation is supported by many years of daily lubrication management by the collaboration work of lubrication technology department, operations and equipment maintenance personnel, such as lubricant selection, improvement by oil cleanness, life expansion and trouble cause analysis. Particularly in the field lubrication activity, appropriate daily management, improvement and development of lubrication technology for conservation of maintenance load. In this article the achievements by the various improvement measures of lubrication technology and lubrication management will be introduced along in the actual case of steel plant.

1. はじめに

潤滑は、全ての機械設備が稼働するために欠かせない技術要素であり、潤滑剤は機械設備の重要部品の一つと言っても過言ではない。製鉄所には操業担当部門、保全担当部門、潤滑技術・管理部門の全ての関係者が潤滑活動に係わり、日々の安定稼働と生産を支えている。

潤滑状態は機械要素の稼働状態や寿命に大きく影響するため、その状態を把握し問題があれば改善する活動は非常に重要であり、各製鉄所で長年に亘って活動が継続されている。以下に、潤滑技術、潤滑管理活動の体制や役割、機械の状態をいち早く的確に把握できる摩耗粉診断を柱とした状態監視技術、潤滑剤開発などによる安定稼働・長寿命化について述べる。

2. 製鉄所の設備保全と潤滑技術・潤滑管理体制と役割表

2.1 製鉄所の設備保全方式の進化と体制

製鉄所の設備保全は、設備の複雑化、連続化、品質・生産性向上に対応した高性能化に伴い、高度化が求められてきた。また前後して保全思想の進化や設備診断による状態監視技術の進歩もあり、保全の考え方も進歩した方式が提案され、製鉄所の保全にも取り入れられてきた。

図1に示すように、壊れたら直すというBDMから、トラブルの前に適切な期間内で処置を施す予防保全に進化してきた。さらに、定量的に設備の状態を把握した上で、適切な時期に適切な対応を施すというCBMも取り入れられてきたが、近年では、下記の事例にも述べるが、設備の劣化（損傷）のモードと原因を明確化し、原因に溯った保全対応をすることによって劣化を根本から管理し抑止するというプロアクティブ・メンテナンスの考え方も実践されつつある。

* 設備・保全技術センター 機械技術部 機械保全技術室長 千葉県富津市新富 20-1 〒 293-8511

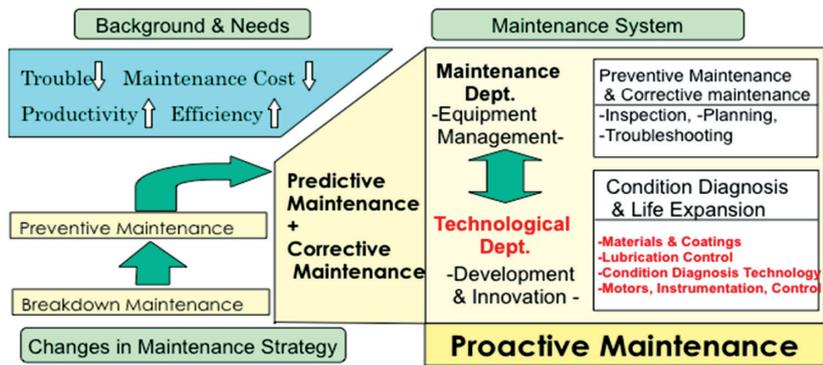


図1 製鉄設備の保全方式と活動体制
Change of maintenance strategy in steel works

全ての設備要素の保全方式が同じということではなく、リスクの大きさやコスト、運用管理上の適性などにより、それぞれの保全方式が組み合わされて実践されている。

2.2 潤滑における保全体制と役割

潤滑活動においては、設備の劣化モードをいち早く把握できる潤滑系診断技術があり、また潤滑剤の高性能品への入れ替え、汚染対策といった比較的手間の少ない対策手段を取ることができるため、上記プロアクティブ・メンテナンスの考え方が実際に活かされやすい技術要素といえる。実際には、操業や保全の部門と技術の部門が協力し合い、技術のメスを入れることにより現場で成果の出る活動となる。

図2に潤滑技術と潤滑管理のあるべき機能を模式的にまとめたものを示す。潤滑管理や潤滑技術を設備の保全に適用し、プロアクティブ保全に求められるような成果発揮に繋げるためには、操業・保全部門と技術部門の密な協力関係の元に図のような役割を担うことが求められ、大きく3つに分けられる。

- (1) 操業・整備部門での現場活動において、日常管理では、給油脂や潤滑油の油面・油量管理、分析用の油サンプリングなどがあり、日常の設備の安定稼働に欠かせない保全項目が遂行されている。またトラブル時には主に保全部門や保全技術部門が協力して原因究明と解決にあたる。潤滑における日常的な保全行為者は、操業、保全問わず多岐にわたる部門によって運営されているのが特徴である。一方技術部門ではサンプルによる油分析と診断、トラブル原因解明と対策の横展開などを行うが、上記のように多岐に亘る部門の担当者への教育も重要な業務である。
- (2) 潤滑診断は、現場活動においては、定期的な潤滑油分析の他、油面レベルや油量その他潤滑系の状態監視を含む。技術部門では協力して定期的な分析と対処のPDCAを運営するとともに、摩耗粉診断を初めとする潤滑系診断技術の開発と現場適用研究、診断手法による設備の定量的な状態監視の技術と手法を検討し提供

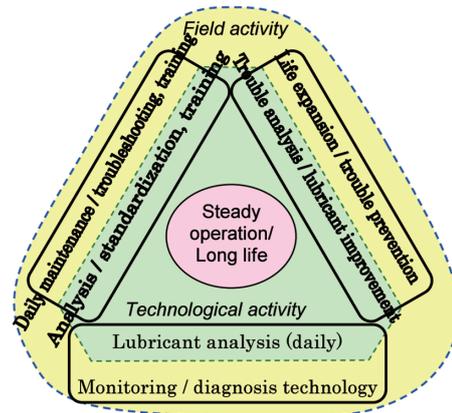


図2 潤滑管理の体制と機能
Structure and function of lubrication management

する。

- (3) トラブルの未然防止に向けた改善は、トラブル時の原因究明結果や日常の潤滑油分析も参考に課題を抽出し、技術部門による潤滑油の高性能化（選定や開発）、汚染対策（清浄化）の検討を基に現場活動として対策が講じられ、その結果がフォローされる。最終的には基準、標準に反映され、日常管理への反映や横展開などがなされる。

製鉄所の潤滑管理においては、この3つの視点での現場活動、技術活動が一体となって部門を問わず多くの関係者の活動によって成り立っている。

3. 潤滑技術による改善事例

3.1 潤滑系診断技術（摩耗粉診断技術）

潤滑の適正化、改善によって機械設備の稼働を安定化させ部品の寿命延長も実現してきたが、それには、潤滑系をバールとした設備診断技術が非常に重要な役割をなしてきた。図3は軸受の状態診断を例に各種診断技術を模式的に表したものである。潤滑診断は、機械の摩耗劣化やトラブルの発生源となる摺動部を通して流れてくる潤滑油を相手に診断するため、直接的な情報を分解せずに知ることができる、血液検査のような診断技術である。

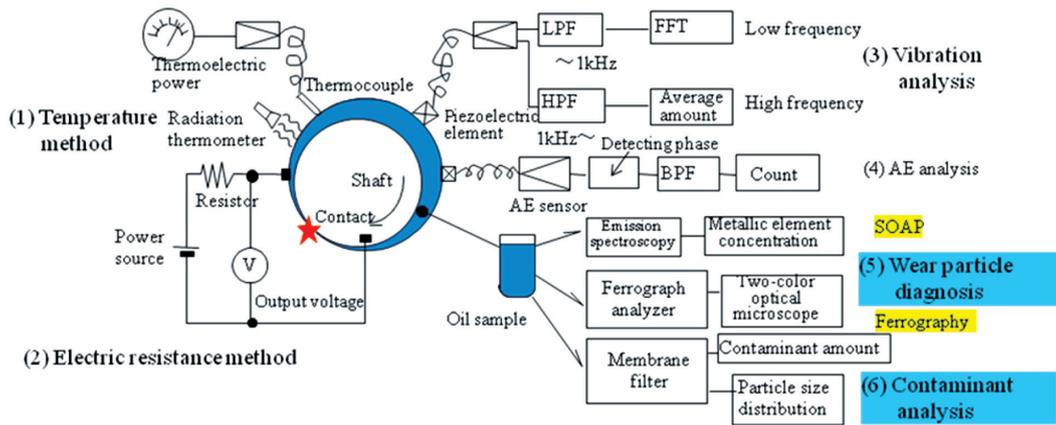


図3 各種の機械の状態診断法の原理
Schematic of several condition diagnosis method

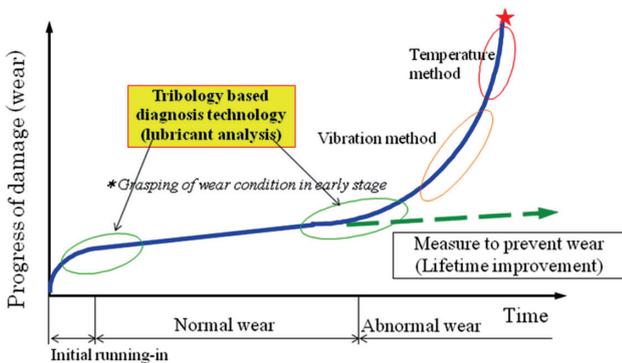


図4 機械の劣化の過程と潤滑系診断の長所
Progress of damage and failure in machinery

また、特にフェログラフィに代表される摩耗粉診断技術は、機械の潤滑状態が不良で機械要素の摺動面がマクロな損傷に至る前の状態で摩耗粉の形態や大きさ、濃度に表れることから、他の診断法と比べて、いち早く異常の兆候を掴むことができる有効な方法である。図4に、一般的な機械の劣化の時系列変化の中で潤滑剤診断が異常を検出できる能力のイメージを示す。

図5にフェログラフィの原理図を示す。1970年代の初めに英米で紹介された後、新日鐵住金(株)はいち早く1970年代の半ばより現場の設備に導入した。当時はトライボロジー研究や軍事に用いられてきたばかりであり、産業機械のノウハウがなかったため、自力でデータを積み上げてき

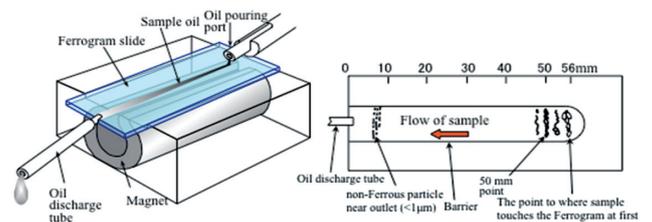


図5 分析フェログラフィの原理
Principle of analytical Ferrography

た。

これによって、潤滑油の状態を診断することが目的ではなく、機械の状態を潤滑剤を通して把握するというところに基本方針が転換し、積極的にトラブルの原因に遡って改善するという攻めの管理の流れに変わってきた。これによって、潤滑剤の高性能化やコンタミネント対策による積極的な設備安定稼働、長寿命化への成果発揮に繋がった。

このように、摩耗粉診断を初めとする潤滑系診断技術の長所は、機械の摺動部の情報を直接得られるため、外乱が少ないことと、損傷の兆候を早い時期に把握することができるという点にあるといえる。

3.2 潤滑改善による成果の概要

ある製鉄所では、潤滑剤開発やコンタミネント対策（油中異物の除去）によって改善を重ね、後述の油漏れ防止などの効果をあわせ、表1に示すような成果を上げている。

表1 潤滑技術活動による成果(例)
Example: Fruitful result of lubrication control

| Items | Content of development | Effect |
|------------------------------------|---|---|
| Energy saving | <ul style="list-style-type: none"> Development of energy-saving type high performance gear oil Development of high VI synthetic lubrication oil | Electric power saving 570 million yen/year |
| Reduction of maintenance cost | <ul style="list-style-type: none"> Development of high performance urea grease Development of various type of high performance lubricant Measures against contaminant (development of oil cleaner, etc.) | Reduction of parts repair work cost 410 million yen/year |
| Reduction of lubricant consumption | <ul style="list-style-type: none"> Development of high performance lubricant Activity for preventing oil leakage | Reduction of purchases for lubricant 1500 million (accumulated from 1977) |

3.3 潤滑改善の事例

実際に成果の出た潤滑改善の技術内容について幾つかを紹介する。

3.3.1 潤滑改善例

(1) 連続鋳造（連鋳）機軸受の長寿命化

図6は連鋳機ロール軸受用のグリースを従来のリチウム系からウレア系の高性能グリースに変更した際にフェログラフィによる摩耗粉診断で、その効果をフォローした例である。グリースは従来グリースが入っている集中給脂給置に開発グリースを補給して徐々に入れ替わっている。写真でわかるように時を経て摩耗粉の量（図中、ALは摩耗粉濃度%）が大幅に減少するとともに、大型の平板状粒子など異常摩耗粒子も見られなくなっている。これに伴い、連鋳機セグメントの交換整備時の軸受の交換頻度も激減した。

さらに近年では、連鋳機の軸受には図7に示すオイルエア潤滑が採用されている。オイルエア潤滑では、エアによって軸受箱内部を一定圧力に保つことにより、周囲からの塵埃や水の侵入を防ぐことができる。またグリース潤滑に比べて高粘度の潤滑油を用いることができるため、低速、高荷重である連鋳機軸受の潤滑状態の改善、長寿命化に有効な手段である。図8は実際にオイルエア潤滑方式に変更し

た前後での軸受転動面の状態を示すが、従来のグリース潤滑では、約1年9000チャージの使用後に観察すると、転動面の摩耗が大きく、一部にはフレーキングも発生していた。一方、オイルエア潤滑への変更後は、約3倍の25000チャージの使用後でも、転動面の摩耗は少なく（従来の1/2未満）、大きな寿命延長効果が認められた。

(2) 圧延機ロールネック軸受の長寿命化

図9には、圧延ロールネック軸受の信頼性向上、長寿命化についての方策を示す。軸受メーカーは主に軸受自体の設計や材質の改善に取り組んでいる。また潤滑剤（グリース）メーカーおよびオイルシールメーカーはそれぞれの部分での最適化を図っていることが多かった。そこで、上記の潤滑系診断技術も用いて実機の状態を知り、条件に応じて適切な対策を講じた。

図10は本用途に適したグリースの最適化開発を説明した図である。ウレアグリースをベースに組成を最適化し、軸受の寿命と、水分混入時のグリースの性状変化の小ささの最適値を見いだしている。このグリースを熱間圧延仕上ワークロール軸受に適用して評価した結果を図11に示す。摩耗粉診断の結果、摩耗粉濃度がほぼ半減している。

実際にワークロール軸受の交換寿命も1.5～2倍程度に向上することも可能になっている。

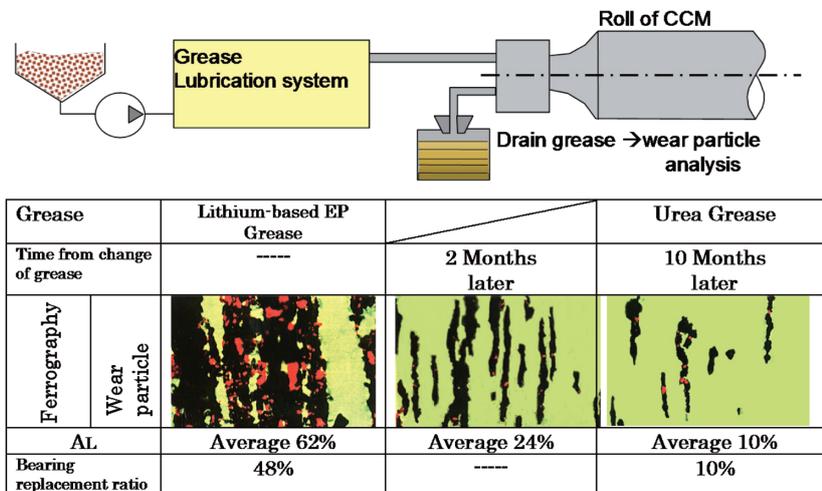


図6 連鋳機ロール軸受潤滑グリースの開発
Development of grease for CCM roll bearings

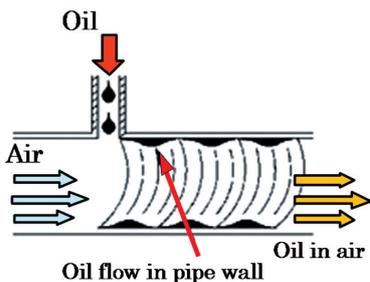


図7 オイルエア潤滑の原理
Principle of oil-air lubrication

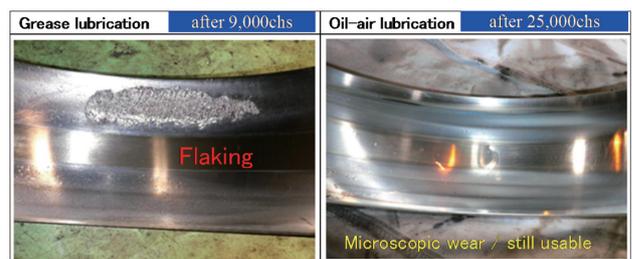


図8 オイルエア潤滑による軸受寿命延長効果
Result of oil-air lubrication system application to CCM

| problem | solution |
|--|--|
| Abnormal wear containing water | High performance grease, seal |
| Abnormal wear by contaminant | Oil seal design (anti-water/solid) |
| Life extension against bearing fatigue | Development of bearing material/heat treatment |

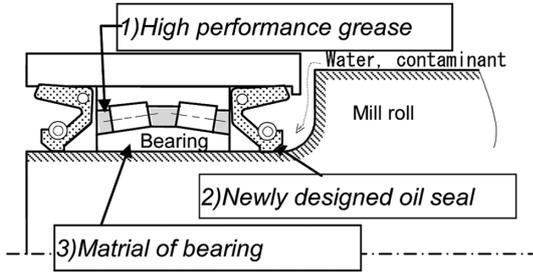
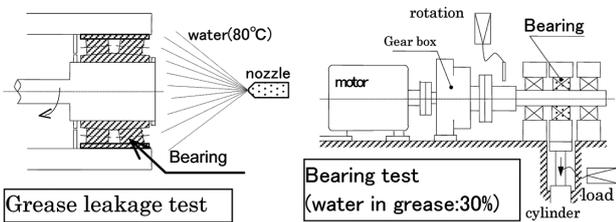
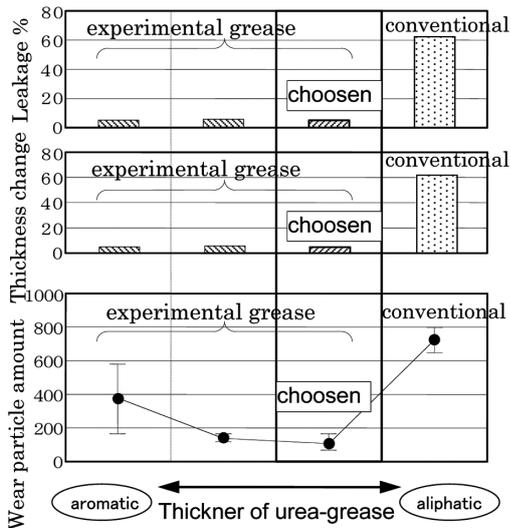


図9 圧延機ロールネック軸受の信頼性向上対策
Reliability improvement for mill roll-neck bearings



(a) Test methods for grease evaluation



(b) Test results

図10 圧延機用グリース開発
Development of roll-neck bearing grease

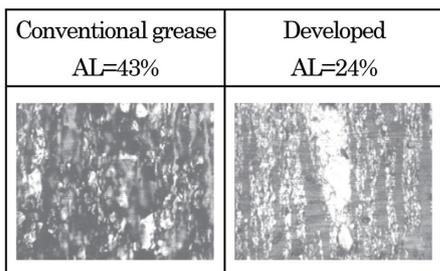
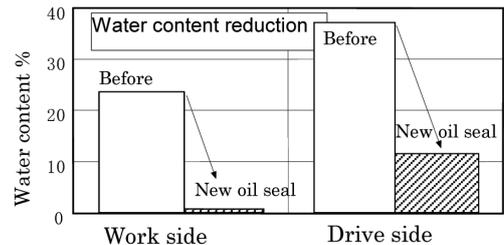


図11 熱間圧延ワークロールへの適用結果
Result of HRM finishing mill roll application

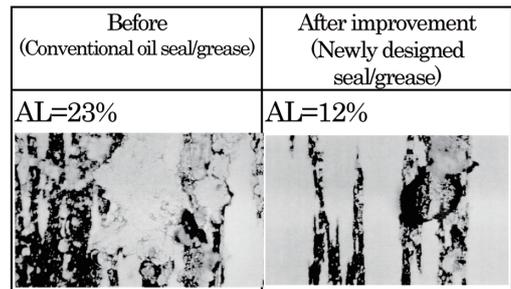
図12は冷間圧延においてオイルシールの改善を図った例である。オイルシールのリップの形状を改善し、シールの寿命を向上し、かつ軸の変位への追従性を向上した結果、図に示すように実機使用後の水分混入が大幅に低減し、軸受の摩耗粉もほぼ半減している。この結果、ワークロールの交換周期を1.5倍程度に向上することができた。

3.3.2 コンタミネント管理による油圧装置の安定稼働

図13には、サーボ系油圧装置のコンタミネント（油中異物）管理を有効に行った事例を示す。

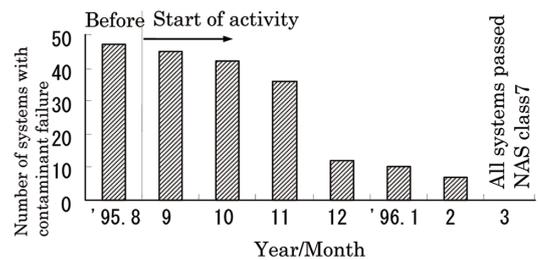


(a) Water content of sample grease

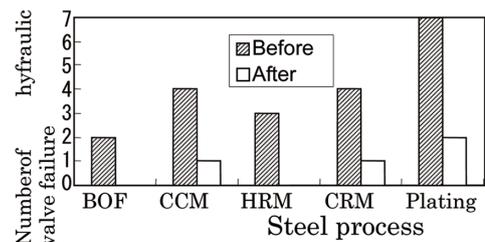


(b) Comparison of wear particle (Ferrography)

図12 冷間圧延における軸受長寿命化対策結果
Effect of new oil seal in cold mill roll



(a) Number of contaminant failure in servo systems



(b) Number of failure in hydraulic valve

図13 サーボ系コンタミネント対策活動の効果
Result of contaminant control in servo-hydraulic system

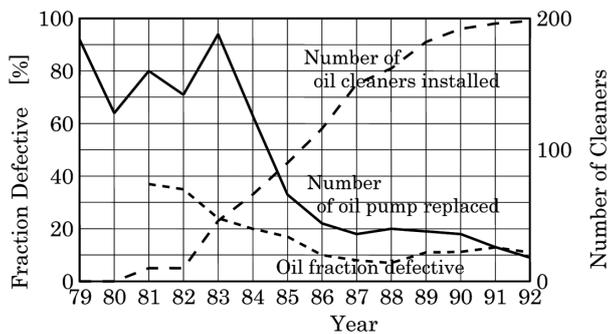


図 14 製鉄所の浄油対策の効果
Result of contaminant control activity in steel works

サーボ系などの重要油圧装置のコンタミナント管理値をNAS7級と定め、浄油対策を一斉に実施した。図中、上のグラフに示すように次第にコンタミナント不良の設備がなくなっていた。下の図にその効果として工程別に対策活動前・活動後の動作不良の件数を比較して示しているが、動作不良が大幅に減少して安定稼働に効果があったことを示している。浄油対策の効果としては、図14に示すように、ポンプの摺動部品の摩耗低減による交換頻度の低減すなわちコスト低減効果も認められている。

3.4 潤滑・油圧系設備の信頼性向上策

以上に、主に潤滑剤の高性能化による改善で成果を上げた事例を紹介したが、現場保全における管理面での活動により設備のトラブルを防止し、信頼性を確保することも重要である。

潤滑管理の現場活動では、初期には油漏れ防止の活動を行い、油消費量の目標値（HFI：年間の油消費量÷油タンク容量の合計）を設定し、シール・パッキンの改善（長寿命化）や配管の溶接割れ防止などによって油脂コストの低減を達成するとともに、潤滑油診断を問題なく進めるベースが築かれた。これは油の漏れにより大量に補給している状態であれば、潤滑剤診断の意味が無くなってしまふからである。これによって、上記の潤滑改善や長寿命化を行うことも可能となったといえる。

これらの過去からのベース活動を元に、現在でも設備安定稼働を目指した取組みが行われている。たとえば、油圧・潤滑装置を設計する際には、過去のトラブル経験も用いて、PM設計（保全予防設計）を指向し、標準化もなされている。タンクの構造、配管のクランプの間隔、アクチュエータの種類や材質選定などが規定されている。

また保全における知見を元に安定稼働に資する油圧・潤滑系の対策も行われている。図15に油圧装置を例に安定稼働に資する対策を図解してまとめたものを示す。油圧装置の基本であるコンタミナント管理対策では、浄油機設置のほかに、配管内を置換するフラッシング回路、エアブリーザーからの異物混入防止などを施している。サージ圧の影響

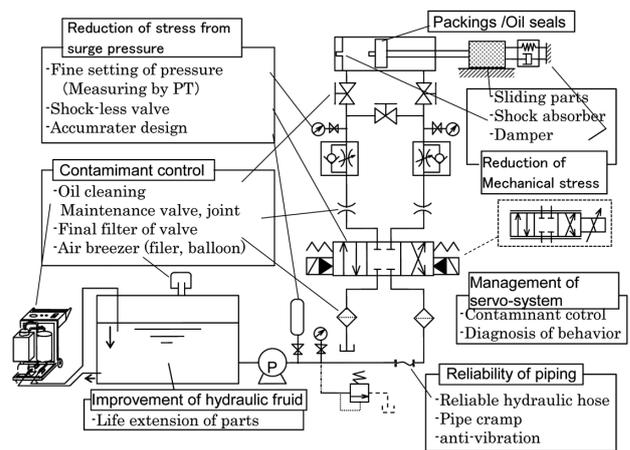


図 15 油圧装置の総合的信頼性向上
Total reliability improvement of hydraulic system

響軽減としては、アクチュエータのストロークエンドのダンパーや、配管のクランプの選定、ホースの選定と寿命管理、そして油圧作動油の高性能化など総合的な対策が講じられ、安定稼働に貢献している。

4. おわりに

潤滑技術、潤滑管理関係者の的確なコラボレーションにより、設備の安定稼働や長寿命化によるコスト低減など、目に見える成果が確認されたが、これは潤滑系診断技術の機械の異常を早期に、外乱も少なくとも的確に把握できる機能が柱の一つとなっている。

油圧潤滑系は製鉄工程にかかわらず多く存在する共通機械であるがゆえ、その改善は、広く横展開を行って成果を拡大する必要がある。たとえば、潤滑剤を開発するにしても、装置の定期保守までの期間を使用したうえで性能や損耗を比較しては時間が掛かる。しかし摩耗粉診断を活用すれば、試験的に使用した直後に、摩耗粉の濃度や潤滑状態の良否（異常摩耗粒子の有無）が判断できるため、開発と評価のスピードと労力を著しく上げることができる。図16に示すように、このように効率的に改善や開発ができ、早期に実機で成果を上げられるのが潤滑技術、潤滑管理の最大の特長といえる。

近年、製鉄設備も高負荷になってゆく中、今後は機械も高経年化による影響が顕在化してくることが予想されるが、これからも、より一層潤滑技術と潤滑管理の体制を盤石にし、技術伝承にも力を入れ、設備安定稼働と機能向上の取組みが続けられるものと期待している。

参照文献

- 1) 四阿：潤滑経済. No.516, 28 (2008)
- 2) 四阿：JIPM 最新保全技術研究会第I期報告書. 2006, p. 27
- 3) 長野，四阿：トライボロジスト. 47 (1), 22 (2002)

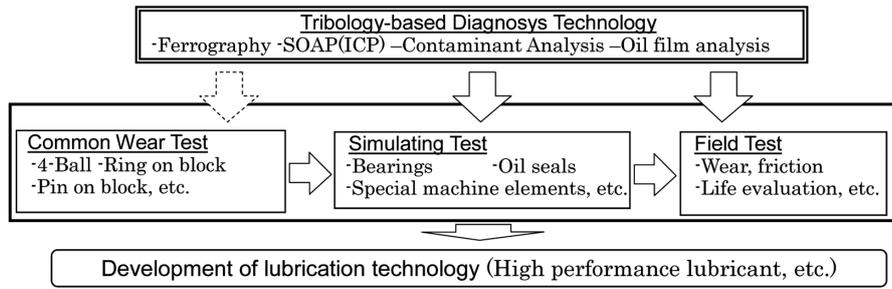


図 16 潤滑剤診断を活用した効率的潤滑改善
Effective development system in lubrication technology utilizing tribology-based diagnosis method



四阿佳昭 Yoshiaki SHIA
設備・保全技術センター 機械技術部
機械保全技術室長
千葉県富津市新富20-1 〒293-8511