

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.33 (2001) No.1

機械設備の保全技術特集号

流体設備のメンテナンスフリー化技術

Maintenance-Free Technology of Hydraulic Equipment

川島 浩治(Koji Kawashima) 田中 伸治(Shinji Tanaka) 加藤 克彦(Katsuhiko Kato)

要旨：

設備の寿命は、設備の強度と負荷のバランスから決まる。そのバランスは、強度・負荷の大きさだけでなく、設備を取り巻く環境によっても左右される。つまり、材料技術や診断・解析・設計技術による設備の高強度化、負荷軽減だけではなく、環境改善としての流体の清浄化や流体そのものの質の開発、さらにはシール技術などの流体潤滑技術によっても長寿命化が可能となる。その結果、設備のメンテナンスフリー化が達成される。今回、潤滑油、油圧作動油、圧空の清浄化による設備のメンテナンスフリー化を達成し、さらに圧延油、アルカリ清浄化システム自体のメンテナンスフリー化も達成した。

Synopsis：

The life of equipment relies on the balance of its strength and load. The balance is influenced by its surrounding circumstances as well as by the amount of strength and load. In other words, the life of equipment can be made longer by heightening its strength and lightening the load which are achieved on the basis of material technology, the diagnosis, the analysis and the design technology of equipment. A longer service life can be made possible also by cleaning fluid, the development of fluid quality and, moreover, sealing technology, and the like, as circumstance improvement. As a consequence of that, maintenance free of equipment will be accomplished. This paper describes the maintenance free technology of fluid equipment, which has been accomplished by cleaning lubrication oil, hydraulic pressure oil and air and still more, the maintenance free of cleaning system for rolling oil and fluid which has been established, is also discussed.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Maintenance-Free Technology of Hydraulic Equipment



川島 浩治
Koji Kawashima
千葉製鉄所 設備技術
部中央整備課長



田中 伸治
Shinji Tanaka
水島製鉄所 設備技術
部設備技術室 主査
(主席掛長)



加藤 克彦
Katsuhiko Kato
千葉製鉄所 設備技術
部中央整備課 チーフ
ラインマネージャー
(掛長)

要旨

設備の寿命は、設備の強度と負荷のバランスから決まる。そのバランスは、強度・負荷の大きさだけでなく、設備を取り巻く環境によっても左右される。つまり、材料技術や診断・解析・設計技術による設備の高強度化、負荷軽減だけではなく、環境改善としての流体の清浄化や流体そのものの質の開発、さらにはシール技術などの流体潤滑技術によっても長寿命化が可能となる。その結果、設備のメンテナンスフリー化が達成される。今回、潤滑油、油圧作動油、圧空の清浄化による設備のメンテナンスフリー化を達成し、さらに圧延油、アルカリ清浄化システム自体のメンテナンスフリー化も達成した。

Synopsis:

The life of equipment relies on the balance of its strength and load. The balance is influenced by its surrounding circumstances as well as by the amount of strength and load. In other words, the life of equipment can be made longer by high tening its strength and lightening the load which are achieved on the basis of material technology, the diagnosis, the analysis and the design technology of equipment. A longer service life can be made possible also by cleaning fluid, the development of fluid quality and, moreover, sealing technology, and the like, as circumstance improvement. As a consequence of that, maintenance free of equipment will be accomplished. This paper describes the maintenance free technology of fluid equipment, which has been accomplished by cleaning lubrication oil, hydraulic pressure oil and air and still more, the maintenance free of cleaning system for rolling oil and fluid which has been established, is also discussed.

1 緒 言

鉄鋼産業は、高炉設備、連続鋳造設備、圧延設備など巨大な装置を駆使して製品を生産しているいわゆる装置産業である。この機械装置の信頼性・保全性を向上させることは、生産コストや生産能力を向上させるために必要不可欠である。このような背景の中、従来の設備保全に対してもさらなる向上を目的として、自社開発技術を中心とした保全革命に取り組んでいる。その一環として機械装置に多岐にわたって用いられている流体機械（油圧装置、潤滑装置、工場エア、潤滑剤など）の信頼性向上、長寿命化、低メンテナンスコスト化の必要性のもとに「流体機械のメンテナンスフリー化」と称し、流体機器を経済的に高信頼化する活動を進めてきたので、その活動の概要について報告する。

2 流体設備のメンテナンスフリー化の考え方

設備の寿命は、設備そのものの強度と負荷のバランスから決まる。そのバランスは、強度・負荷の大きさだけでなく、設備を取り巻く

環境によっても左右される。設備の長寿命化を図るには、さまざまな分野・観点からの取り組みが必要である。つまり、材料技術や診断・解析・設計技術による設備の高強度化、負荷軽減だけではなく、環境改善としての流体の清浄化や流体そのものの質の向上、さらにはシール技術などの流体潤滑技術によっても長寿命化が可能となる。その結果、設備のメンテナンスフリー化が達成される。

製鉄設備にはさまざまな機械設備が導入されているが、その設備の補修内容は、流体機器に関するものが多い。製鉄所の年間設備補修工数のうち流体機器の占める割合は約 30% にもなり、流体機器のメンテナンスフリー化は重要である。

また、Fig. 1 に冷間圧延工場における流体系工事の内容を示す。流体機器のメンテナンスフリー化を図るためには、フィルタの交換周期延長、シリンダ、ポンプ類の寿命延長、さらには軸継手給脂の延長が必要となる。なお、製鉄工場、製鋼工場における流体系工事の内容もほぼ同じ内容であり、同様な対策が必要となる。¹⁾

このように、流体機器に関する補修工事内容や突発故障の内容を解析すると、流体の質に起因するものが大半であり、流体の清浄化や流体の質の開発さらには流体機器の開発により、設備のメンテナンスフリー化が可能となる。今回、潤滑油、油圧作動油、圧空の清浄化による設備のメンテナンスフリー化、さらに圧延油、アルカリ清浄化システム自体のメンテナンスフリー化技術について述べる。

* 平成12年10月31日原稿受付

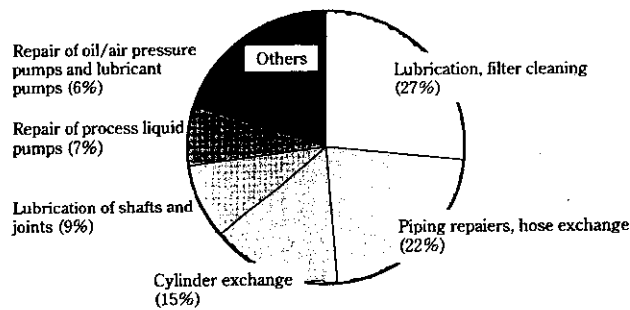


Fig. 1 Profile of works related to hydraulic equipment

3 具体的な改善事例

3.1 潤滑油清浄化システム

製鉄所で使用している潤滑システムは、容量が大規模で、潤滑油の粘度も高く、水分や異物の混入が多い。これらのフィルターは循環量も多く、高粘度なため表面ろ過型にならざるをえない。そのため、異物捕捉量が小さくフィルターの清掃・交換周期が短いという問題点があった。そこで、表面積を増やした深層ろ過フィルターを導入し、清浄化およびフィルター交換周期の延長を図った。また、圧延機などの水分混入が多いシステムにおいては、水分による潤滑油の劣化やバクテリアの繁殖などの問題があり異物除去フィルターだけでなく水分除去フィルターも設置した。²⁾

今回開発した潤滑油清浄化システムの系統図を Fig. 2 に示す。潤滑油タンクにラインへの系統とは別に、2つの潤滑油清浄化装置を設置している。1つは油中の異物除去を行いつつ、エマルジョン化した水粒子の粒径を増大させ、かつ除去する水分離システム、もう1つはタンク底部に沈降した水分を排出するドレン排出システムである。

水分離システムは、植物繊維フィルターとガラス繊維フィルターで構成される。植物繊維フィルターでは異物の除去とともに水粒子の粒径が増大される。植物繊維フィルターは、表面積を増やした深層ろ過タイプを導入することによりフィルター交換周期の延長を図った。粒径が増大した水分は、Fig. 3 に示す機構によって、ガラス繊維フィルターにより吸着、凝集粗大化し、沈降・除去される。³⁾ さらにタンク底部に沈降した水分は、ドレン排出システムにより系外へ排出される。

このようなシステムにより、Fig. 4 に示すように異物濃度は 20 ppm 以下、水分濃度は 500 ppm 以下を維持することが可能となり、

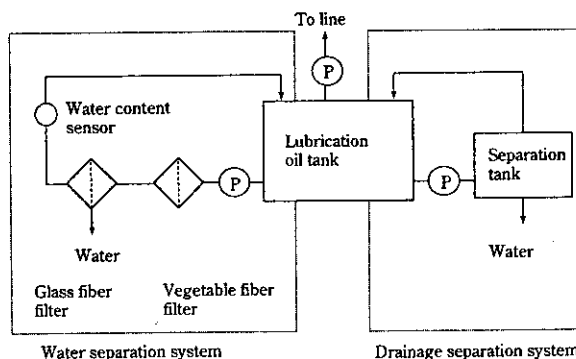


Fig. 2 Lubricating oil-purifying system

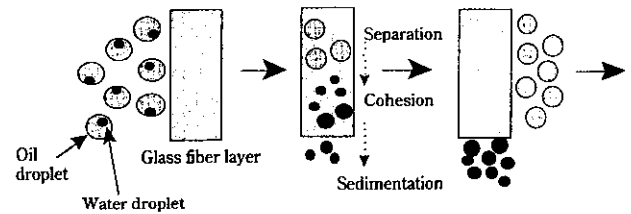


Fig. 3 Mechanism of water elimination filter

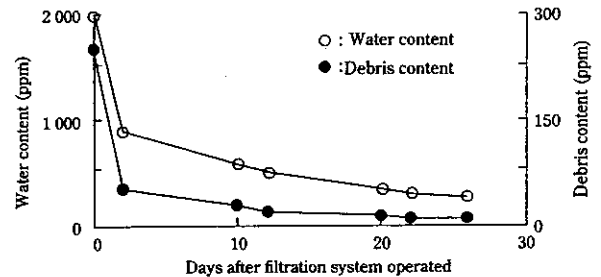


Fig. 4 Transition of lubricant purity

潤滑油システム末端フィルターの交換周期を延長することが可能となった。

3.2 油圧作動油清浄化システム

油圧システムは、高圧流体をさまざまな制御バルブを用い高精度で高出力に動力伝達できることから、製鉄設備へも広く一般的に適用され、高い信頼性を要求されている。当社設備における油圧バルブの故障は、全機械要素部品の故障の約 6% を占める重大な故障原因の一つであった。Fig. 5 に約 3 年間の油圧バルブ故障原因を示すが、全体の約 90% がスティックと呼ばれる作動不良であり、11% が明らかな固形異物起因、24% が粘着性の油の酸化変質物起因、残り 54% が目視では確認できないレベルの異物が原因であった。油圧システムの信頼性向上のためにはこうした汚染物の除去が重要であることが分かる⁴⁾。また、作動油汚染物はフィルタ目詰まりやポンプ、シリンダの摩耗寿命への影響も大きく、油圧システムのメンテナンス負荷を著しく増大させている要因でもある。

油圧作動油を清浄化するためには精密な浄油器を設置することが必要となるが、目標とする清浄度をいかに経済的に達成するかが重要である。表面ろ過式フィルタは最も一般的であるが、異物除去精

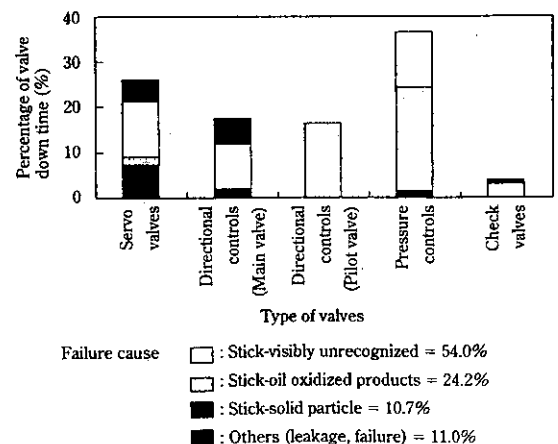


Fig. 5 Failure cause analysis of valves in hydraulic system

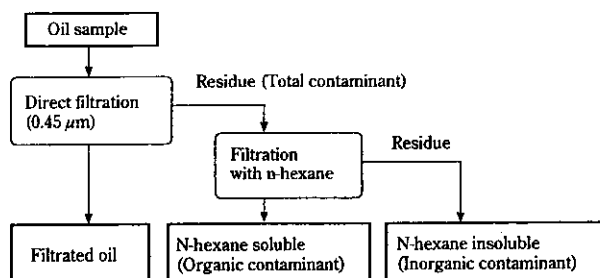


Fig. 6 Schematic of hydraulic fluids analysis

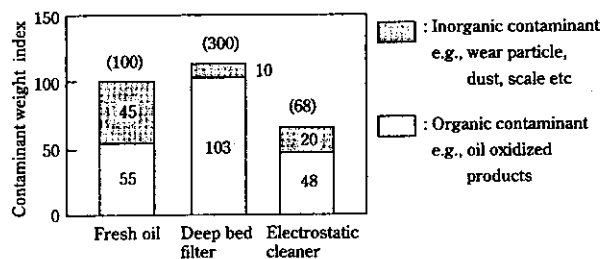


Fig. 7 Contaminant weight of hydraulic fluids

度と異物捕捉量に限界があり、固形異物の除去しか期待できない。深層ろ過式フィルタは異物捕捉量が非常に大きく固形異物も酸化変質物も効率的に除去でき、水分分離も可能であることから最も経済的な浄油器であるとされている。一方、静電式浄油器は原理上異物粒径によらずあらゆる汚染物を高精度に除去可能であるが、油中水分が 500 ppm を超える場合、水分離装置との併用が必要である。

こうした浄油器特性を踏まえ、深層ろ過式フィルタと静電式浄油器を、実機油圧システムの主タンク循環バイパスラインに設置し、浄油効果を検証した。サンプル油は Fig. 6 の方法⁹⁾により、0.45 μm メンブランフィルタでろ過され、有機汚染物（油の酸化変質物など）と無機汚染物に分離され重量測定される。Fig. 7 に複数システムでの分析結果を平均値で示す。新油サンプルにはドラム缶からの移油作業の過程で既に無機汚染物が若干混入しており、有機汚染物も微小存在することがわかる。深層ろ過式フィルタ設置ラインでは無機汚染物は極めて高精度に除去できているが、有機汚染物は新油の約 2 倍程度に増加している。一方、静電式浄油器設置ラインでは無機汚染物は深層ろ過式フィルタに比べ約 2 倍と劣るが、有機汚染物は約 1/2 と新油レベルを維持できている。この分析結果より、油の使用条件が過酷で酸化劣化が速い場合や摩耗粉などの固形異物が多い場合には、経済的な浄油が可能な深層ろ過式フィルタが適し、より高精度な新油レベルの清浄度が要求される場合には、静電式浄油器が適していることがわかる。

これらの知見をもとに既存油圧システム劣化状況や特性に応じ、最適な高精度浄油器を選定、導入していった。Fig. 8 には圧延機の比例電磁弁本体に取り付けられたフィルタの取替回数を示すが、汚染度を低減することによりフィルタ取替回数は約 1/10 に減少した。Fig. 9 は冷間圧延機や酸洗ラインなどで使用された油圧シリンダの限界摺動距離を示すが、汚染度を低減することにより、シールの摩耗寿命を飛躍的に向上させた⁹⁾。また、Fig. 10 は冷間圧延、表面処理など 12 工場に高精度浄油器を導入していくことで、主要タンク油の汚染度レベルを NAS 7 級以下に改善し、バルブスティック回数を従来比約 1/4 に減少させた状況を示す。

このような高清浄油圧管理システム構築を製鉄所規模で展開する

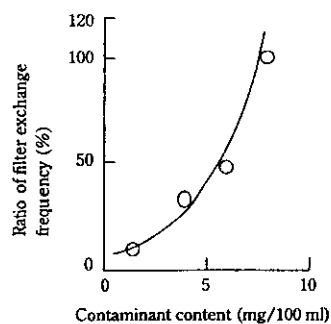


Fig. 8 Contaminant content and frequency of valve filter exchanges

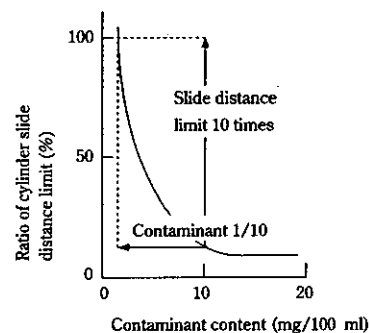


Fig. 9 Contaminant and cylinder slide distance limit

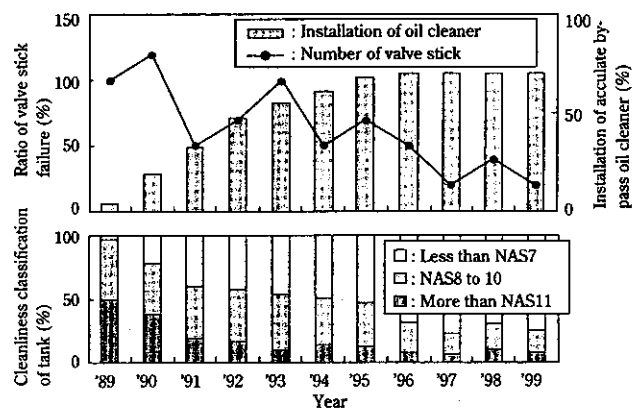


Fig. 10 Improvement of fluid cleanliness and number of valve stick in cold rolling facilities

ことで、油圧機器の信頼性向上とメンテナンスフリー化を達成した。

3.3 工場エアーの清浄化

工場エアーの清浄化方法としては、フィルター、ルブリケーター、減圧弁のいわゆる 3 点セットを個々の電磁弁に設け、対応するのが従来の方法であった。また、ドライヤーも設置されていないことが多かった。このため、電磁弁の作動不良や、フィルターの詰りなどの設備故障が多く、ドレン抜きなどの作業も多かった。Fig. 11 に除湿したエアーを供給した設備と除湿していないエアーを供給した設備における設備管理者の突発点検修理の発生回数の比較を示す。除湿したエアーを供給した設備の突発点検修理の発生回数は、約 1/10 に減少している。

また、除湿したエアーを供給した設備と除湿していないエアーを供給した設備のドレン抜き件数を比較すると、除湿したエアーを供給した設備においては、ドレン抜き件数は 0 件であった。

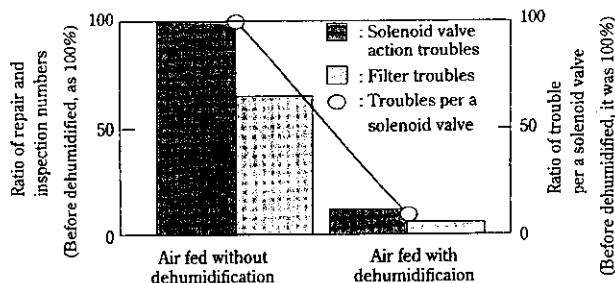


Fig. 11 Unscheduled repairs and inspection numbers ratio of equipment maintenance section

このようなことから、設備や機器単位でのエア清浄化だけでなく、工場単位でコンプレッサ出側本管にフィルターとドライヤーを設置した。これにより電磁弁・シリンダーなどの空圧機器の信頼性を向上させるとともに、点検・調整作業の省力化を図った。

3.4 圧延油清浄化システムのメンテナンスフリー化

冷間圧延材の表面性状を高品質化していくためには、Fig. 12 に示す圧延油の鉄粉濃度とロールマーク発生率の関係のように、圧延油中の鉄粉濃度を 200 ppm レベルまで高浄化する必要がある。圧延油の鉄粉除去装置には、一般的に電磁フィルタが使用されていたが、鉄粉濃度が低い領域では除去率が低く、かつ圧延油に対しては鉄粉と圧延油の混合した高粘度のスラッジが電磁フィルタエレメントに強固に付着するため、温水や蒸気によっても完全な逆洗が困難であった。そのため、高い鉄粉除去効率を維持するためには短周期での清掃オーバーホールが必要とされていた。

今回開発したマグネットボールフィルタは、強磁場の生成が可能のため低鉄分濃度域でも高効率の鉄分除去性能をもつ。Fig. 13 に従来の電磁フィルタとの比較を示す。従来の電磁フィルタとの比較

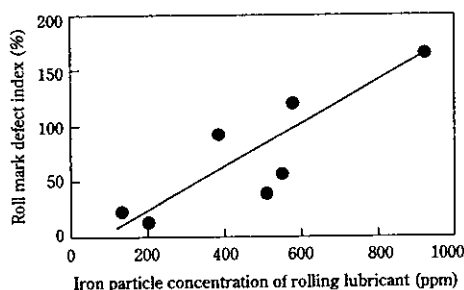


Fig. 12 Relationship between roll mark defect and iron particle concentration of rolling lubricant

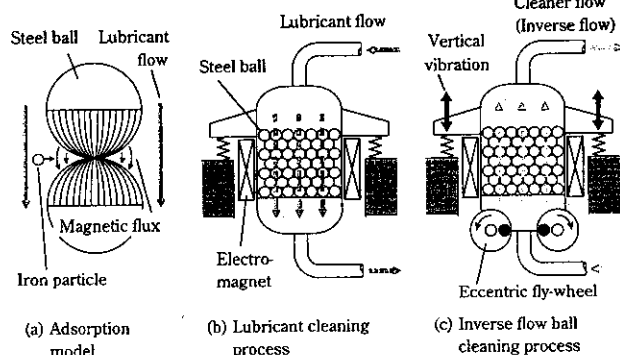


Fig. 13 Schematic of magnetic ball cleaner

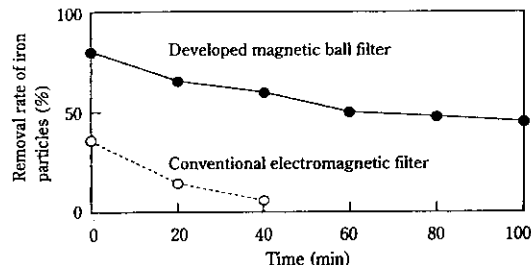


Fig. 14 Transition of iron particle removal rate

を示す。従来の電磁フィルタは初期能力でも除去率 40% で、約 40 分の洗浄で 5% 程度まで低下し逆洗が必要となるが、マグネットボールフィルタは初期効率が 80% と高く、除去率低下も緩やかであることから逆洗周期を長く設定できるため機器の稼働率が高い。逆洗方式も通液筒本体に機械振動を与えながら圧延油で逆洗する高効率の方式を開発⁹⁾することで、定期的な解体洗浄を不要とし、メンテナンスフリー化した。

冷間圧延工場へマグネットボールフィルタを導入した効果を Fig. 14 に示す。鉄粉濃度 200 ppm 以下を安定的に達成することが可能となった。この結果、製品のロールマーク疵発生率と疵によるワークロール組替回数を、従来比の 1/4 に削減した。

3.5 アルカリ洗浄液清浄化システムのメンテナンスフリー化

クリーニング設備では、アルカリ洗浄液によって鋼板表面上の油分や鉄粉などの汚れを洗浄している。しかし、アルカリ洗浄液中の鉄粉が鋼板へ再付着することにより、鋼板の汚れ、ロールによる押し疵、めっき不良などの問題がある。この対策として、磁気フィルターによる鉄分除去を行なっている設備が多いが、従来の永久磁気型フィルターは、電磁石型フィルターに比べ、鉄分除去効率、逆流洗浄効率が低いという問題点があった。

このような問題点を解決すべく、永久磁石型フィルターで高除去効率かつ高逆洗効率な高効率磁気フィルターを開発した⁹⁾。それにより磁気フィルターのメンテナンスフリー化も達成した。

まず高除去効率化の考え方について述べる。磁気フィルターによる鉄分除去の原理は Fig. 15 に示すように磁界の中に磁性体を入れることにより磁気勾配が発生し、磁気力が発生し、鉄分を捕捉する。しかし、捕捉した鉄分を逆流洗浄する場合、永久磁石では、電磁石のように磁界を 0 とすることが不可能であることから、従来は、N 極、S 極を交互に配列し、隣り合う逆磁界により捕捉した鉄分を逆流洗浄していた。そのような構造にした場合、鉄分を除去する際に、隣り合う磁界に対し磁束が逃げて磁束密度が低くなるという問題があった。

今回開発した磁気フィルターは磁束密度を向上させるために N 極、S 極を対向させ配列し、磁束密度を向上させた。その結果、従

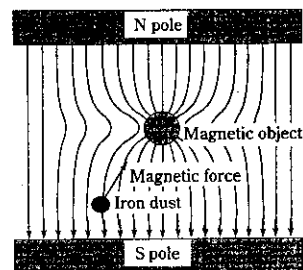


Fig. 15 Mechanism of a removed iron dust

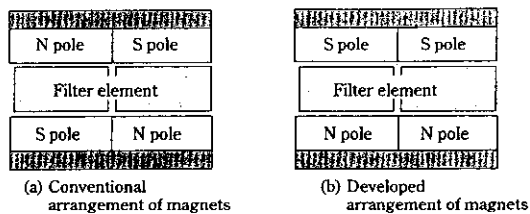


Fig. 16 Magnetic circuit

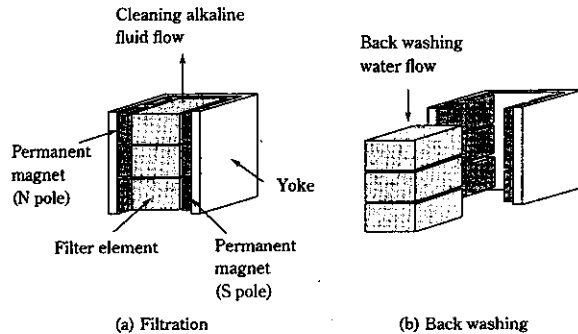


Fig. 17 Schematic view of magnetic filter

来、フィルターエレメントに使用していたアモルファス細線などの高透磁率の部材に対しステンレスの部材を使用しても高効率な鉄粉除去が可能となった。

Fig. 16 に永久磁石の配列, Fig. 17 に開発磁気フィルターの構造を示す。逆流洗浄時は、磁束密度を 0 とするために、磁石をエレメントより外す構造としている。

また、ろ過量を減少させることなくシステムのコンパクト化を行うためにろ過室を分割し、逆洗をろ過室 1 室ごとに行うこととした。それにより Fig. 18 に示すように逆洗システムのポンプおよびタンクの容量を削減し、システムのコンパクト化を実現した。

上記のような開発技術により、メンテナンスフリーかつ Fig. 19 に示すような低鉄分濃度の維持が可能な高除去効率磁気フィルターを開発した。

4 結 言

以上のように、流体機器メンテナンスフリー化を実施した結果、Fig. 20 に示すように流体機器に関する補修工事は約 30% 削減することができた。

設備管理をする上で、メンテナンスフリー化は流体機器に限らず重要なテーマである。特に、鉄鋼業のような巨大な装置を駆使して生産する産業では、機械装置の信頼性・安全性が直接コスト競争力につながるといっても過言ではない。このような背景のもとに、流

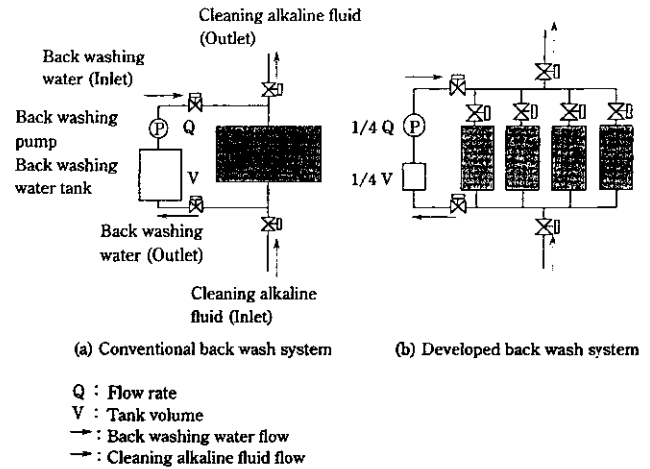


Fig. 18 Characteristic of back washing system in developed filter

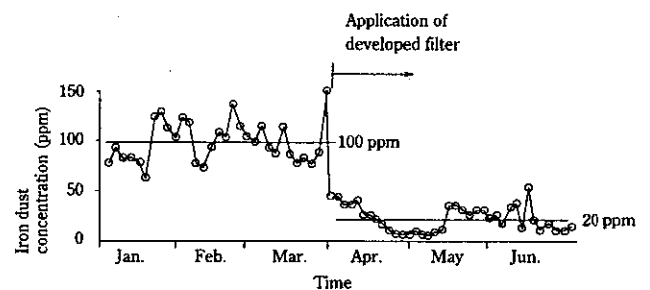


Fig. 19 Transition of iron dust concentration

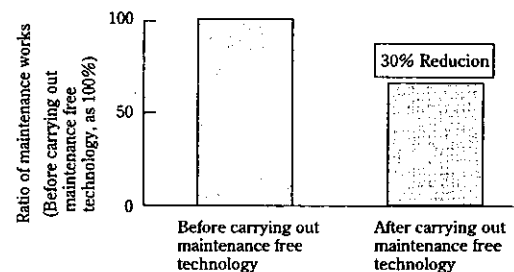


Fig. 20 Transition of ratio of maintenance works at hydraulic equipment

体機器という切り口でメンテナンスフリー化を製鉄所規模で実施し、大きな効果をあげた。

今後、さらなる長寿命化を図っていくためには、材料や機器の開発も視野に入れて取り組む必要があるが、いずれにしても機械、油圧、軸受、シール、潤滑剤などの各メーカーとユーザーの共同取り組みが必要になってくるであろう。

参 考 文 献

- 川島浩治: トライボロジー研究会, (2000)11, 29
- 岡本 謙, 松本正次, 川島浩治, 齊藤輝弘, 高橋秀人: 材料とプロセス, 8(1995), 1264
- 川島浩治: *Plant Engineer*, 32(2000), 11
- A. Sasaki and T. Yamamoto: *Lubrication Engineering*, 49(1992)8, 585
- A. Sasaki, M. Sasaoka, T. Tobisu, S. Uchiyama, and T. Sakai: *Lubrication Engineering*, 44(1987), 3, 251
- 川島浩治, 松田恵嗣, 瀧本高史: 油空圧技術, (1997)10, 7
- 怒田邦広, 花田真一郎, 黒田 茂, 後藤俊二, 天野武昭, 加藤昌生: 材料とプロセス, 6(1993), 1408
- 川崎製鉄(株), 日本磁力選鉱(株): 特開平 5-212310
- 加藤克彦, 松本正次, 川島浩治, 岡本 謙, 高橋秀人, 桐ヶ谷英司: 材料とプロセス, 11(1998), 366