

討20

フェログラフィによる潤滑系診断技術

新日本製鐵(株) 名古屋製鐵所 設備部 ○倉橋 基文

竹本 雅謙

安藤 正夫

1. 緒 言

鉄鋼業は多数の大型機械群からなる巨大な装置産業であり、大量かつ多種多様な潤滑剤が、膨大な機械のしゅう動部の潤滑に使用され、高炉6社で潤滑油3万kl/年グリース8千Ton/年にもものぼる。

製鉄機械は、ダスト、スケール、水、高温等の悪環境下にあるものが多い上に、強大な力を受けつつ昼夜連続運転の過酷な使用条件にあり、潤滑は厳しい。それだけに、強力かつ適正な潤滑管理技術が必要不可欠であり、摩耗低減による機械の長寿命化、故障の防止、更には摩擦力低減によるメカロス防止、省電力化にこれらの潤滑剤は極めて重要な役割を担っている。

そこで、米国海軍を中心に開発された油中摩耗粉分析法(フェログラフィ)による、製鉄設備の潤滑異常の予知、更には最適潤滑剤の開発への適用、応用研究を推進し、この技術が潤滑管理の極めて有効な武器となり得ることを見出したので、以下にその概要を述べる。

2. 潤滑系診断技術の必要性

潤滑剤は機械にとって必要不可欠で、不適正な潤滑による経済損失は、英国のトライボロジ委員会の報告の示すとおりGNPの3%にも及び極めて膨大であり、潤滑管理は正にその要であり、摩耗、摩耗防止のカギとしてますますその重要性を高めている。当所の油タンクは主要なものだけでも千設備以上あり、油の定期サンプリングと性状劣化分析は、年間3千件以上に達する。また油洩れは、油量不足による潤滑トラブルの元凶であり、新油購入費、廃油処理費など数億円のコストプッシュとなるため徹底した防止活動により、Fig1に示すようにここ10年で、

1/5以下に激減させるなどの大きな成果を上げている。しかしながら、従来の潤滑管理は、この様に油の性状劣化と油量管理が主体であり言わば、『守りの潤滑管理』であった。今後の潤滑管理は、一歩進めて、故障防止、設備長寿命化の観点から潤滑異常そのものを防止する、『攻めの潤滑管理』が必要不可欠となっている。しかるに、従来から一般的に実施されている、全酸価、水分、抗乳化性などの化学的性能主体の油性性状分析に加えて、潤滑異常を早期に予知し、最適潤滑剤

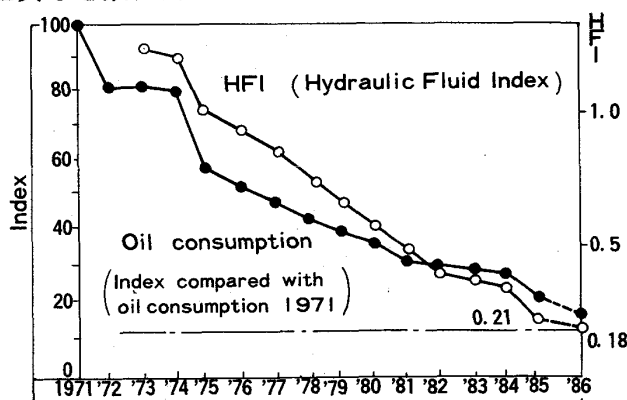


Fig1 Decrease of oil leakage.

の選定や研究開発、油汚染防止などの抜本的かつ効果的な潤滑系診断技術が必須であり、潤滑状態をより直接的に診断できる、油中摩耗粉分析技術として、フェログラフィ研究が必要となった。

3. 診断方法の概要

診断方法をFig2に示す。機械系は多くの要素からなりかつ分散しているため個々の部品レベルの診断は、膨大な数となり、実質的には不可能となる。幸い潤滑油は機械系のしゅう動部を血液のようにくまなく循環し、潤滑異常情報が摩耗粉としてタンク内に集中的かつ積分的に蓄積されており効率的な診断が可能となる

そこで、タンク内の油を5cc程サンプリングし、フ

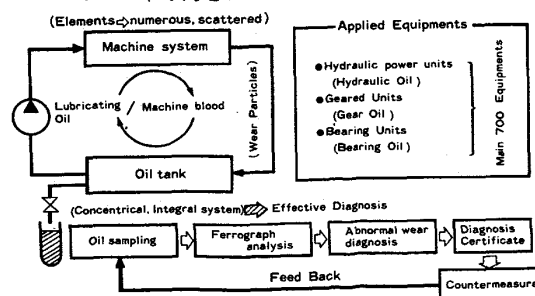


Fig2 Diagnostic Procedure of Lubrication.

フェログラフ分析装置にて油中摩耗粉をスライドに大小の順に配列させ、フェロスコープと呼ばれる2色顕微鏡にて摩耗粒子の形態、大きさ、濃度等を観察することにより潤滑異常の有無を識別し異常の部位、原因等を診断し診断書を発行して必要なアクションを現場に指示する。更にその結果は次回の定期診断でチェックされフィードバックコントロールがなされる。

対象設備は、油圧装置、ギヤ装置、軸受装置など、動的機械のほとんどが含まれ、その内の主要かつ重要な700設備について、定期的、その他は必要に応じて

診断している。Fig3に、フェログラフィ分析装置の原理を示す。磁気こう配を有する、強力なマグネット上のスライドに油を流すと、流下の過程で、摩耗粒子が、磁力線の方に、かつ流れの方向に大きさの順に整然と配列する。このようにして得られた帯状の摩耗粒子をフェログラムと称する。

フェログラフィは米国海軍とMITを中心に開発された技術¹⁾で、SOAP法(Spectrometric, Oil, Analysis, Program)に比べ、5 μ m以上の異常摩耗粒子の検出感度が高く、摩耗粒子形態を直接観察可能であり、また大型摩耗粒子は沈降、ろ過作用により急速に濃度が一定になる性質²⁾があり、油洩れ、補給による濃度補正は不要で好都合である。

4. フェログラフィによる潤滑系異常診断結果

Fig4に示すように摩耗粉の形態には様々なものがあり、その形態と異常原因、機械要素の間には相関があり診断が可能である。正常な機械でも大なり小なり薄片状の微少な摩耗粒子が必ず発生しており、正常摩耗粒子と名付けている。

潤滑異常状態では、種々の形態の摩耗粒子が発生し、

①異物混入によるカール状の切削型摩耗粒子②主として軸受等のころがりによるミクロな疲労クラックから発生する球状粒子③主として歯車などのすべりによる表面疲労による平板状の大型摩耗粒子④シビヤ摩耗下で発生するストライエーションを有した大型の重摩耗粒子、その他砂、さび、フリクションポリマ、非鉄金属粒子などに分類されるが、実際には、各形態の摩耗粒子が混在しており、適確な診断のためには、摩耗と潤滑の知識に加えて、設備構造の理解と経験が必要である。

Fig5に、診断書の一例を示す。これは、厚板のロールグラインダーにびびりが発生し、原因が判らなかったため、軸受油を診断したもので、研磨剤の混入とそれによる切削型粒子が見られたので、軸受メタルを点検したところ、摩耗しており油膜剛性低下による軸のねじれ共振が発生したものと判明しメタル取替と浄油、異物混入対策を実施し、トラブルは解消した。

Fig6は当所に於ける機械故障について解析を行った結果である。故障統計解析によれば、軸受が最も信頼性が低く、歯車、シリンダー等潤滑に関する要素が機械部品の中で信頼性が無いのがわかる。また、フェログラフィ分析によれば、ギヤ系の異常が最も多く、流体潤滑下にあるすべり軸受系が最も少なく、油圧系はその中間にあって機器の潤滑状態に密接に関連している。潤滑異常の主原因は、ギヤ系は、潤滑不良によるシビヤ摩耗であり、対策として、省エネ型ギヤ油を開発しプロパー使用化。油圧系は、異物混入による切削型摩耗が多く、対策として浄油装置の強化によるコンタミコントロールを推進、軸受

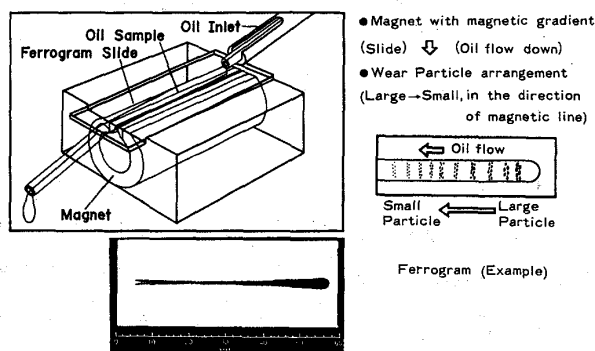


Fig3 The principle of ferrograph analyzer.

1	Rubbing wear Particles	2	Cutting wear Particles
	● flakey ● smooth surface ● 0.5~5μ		● curled ● Sand etc coexisting ● 25~100μ
3	Spherical wear Particles	4	Plate type wear Particles
	● Spherical ● Bearing fatigue ● 1~5μ		● rough surface & periphery ● Gear fatigue ● 20μ over
5	Severe wear Particles	6	Other Particles
	● Straight edge ● Striation ● 20μ over		- Sand - Polymer - rust

Fig4 Typical Wear Particle Shape.

Fig5 Ferrgraphy Diagnosis Certificate
Example: Bearing Oil

潤滑系診断の結果、潤滑異常が極めて多く発見され対策として適性な潤滑剤の選定や開発が必要不可欠となった、従来の潤滑性評価法をフェログラフィと対応させFig 7 に示した。潤滑剤の実機テストでの評価は長期間を要し実質的に不可能であり、必然的にラボ試験はストレス（温度、荷重、速度）を上げ重摩耗型の加速テストとなるため、マイルド摩耗下にある実機寿命との対応が不明であると共に耐摩耗性より耐焼付性の評価となっているが、フェログラフィはミクロな摩耗粒子の評価ゆえ、高感度であり、短期での実機評価が可能である。

従来のギヤ油は焼付防止を目的とする S-P 系が中心であるがケミカルアタックにより、表面を粗くする傾向にある。しかるに、EHL 理論の進歩と、ストライベック線図の知見により、表面の平滑化作用を主眼とした潤滑剤の開発に着手した。(Fig 8)

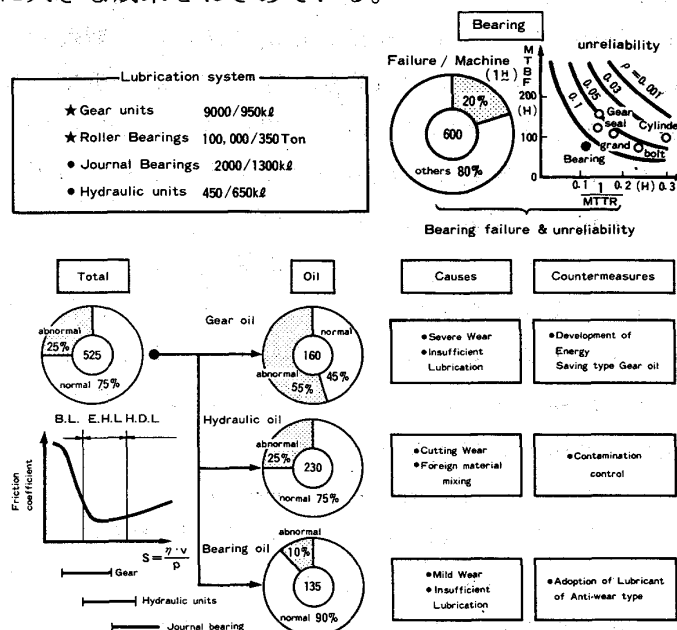


Fig6 Diagnosis Results.

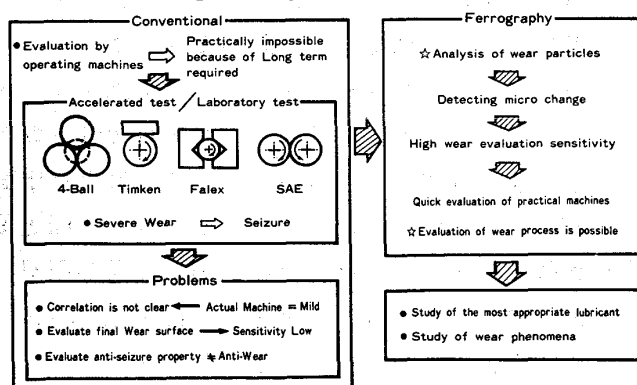


Fig7 Problems of the evaluation of lubricity.

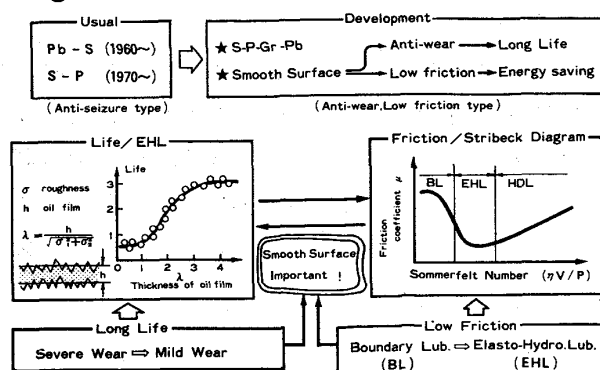


Fig8 Development of Energy Saving Gear Oil.

各種ラボテストにより、安価なグラファイトを使用可能とし、ラボテスト結果でも顕著な平滑化作用を示し、耐摩耗性、低摩擦性に優れた性能を示した。

実機テストは、定負荷で正確な電力測定が可能なクレーンで実施し、3～9%の省電力効果を確認すると共に、順次大型減速機へ拡大評価した。Fig 9は熱延ミルの循環系統ギャ油に使用した例であるが、摩耗粉が減少すると共に、電力は変動要因を重回帰分析で、除去した結果3～4%の省電力効果を得た。(Fig 10)

現在、70%を超える減速機に使用中であり、省電力歯面損傷防止に大きな成果を上げている。

2) 高性能ウレアグリースの開発

従来、使用されているグリースのほとんどはLi石けんタイプであり、ミセル構造中に金属基を有することから、触媒作用によるオイル劣化、機械的剪断による軟化、流出で潤滑不良を引き起している。そこで、非石けんタイプで金属基を含まず樹脂からなる結合力の強いウレア系増稠剤を用いきびしい潤滑環境に強いウレアグリースの開発に主眼を置いた。

評価方法としては、ラボテスト(チムケン, Ball etc) 実機シミュレート, 更に最終的に実機テストでの評価を重視して、開発を行った。軸受寿命試験(ASTM-D 1741)では開発ウレアグリースが従来グリースの10倍以上の寿命を示すと共に、テスト後の軸受転走面のFTIR分析により、Liグリースでは軸受転走面への付着がないのに対し、ウレアグリースは、転走面にウレア基が検出され、ウレア増稠剤の皮膜が潤滑性に寄与することを説明した。連鑄設備でのテストを例にとっても、摩耗分1/6又軸受取替個数1/5に増減させるなど、極めて優れた性能を示し、85年11月より、全設備への適用を図り、多大な成果を上げている。(Fig 11, Fig 12)

6. 結言

研究の結果明らかとなったフェログラフィの特徴をFig13に示す。研究結果をまとめると次のようになる。

- (1) 早期異常摩耗診断に有効で抜本的摩耗防止が可能
- (2) 実機耐摩耗性評価、最適潤滑剤の選定、研究に有効
- (3) 潤滑異常の視覚化による潤滑の重要性再認識化

フェログラフィは未完の技術であり今後さらに研究を深める所存である。潤滑管理に携わる諸兄に、拙文が多少なりとも参考になれば幸甚である。

文 献

- 1) D. Scott, et al: Scientific American 230, 5, (1974) 88
- 2) D. P. Anderson: SAE paper, 790873

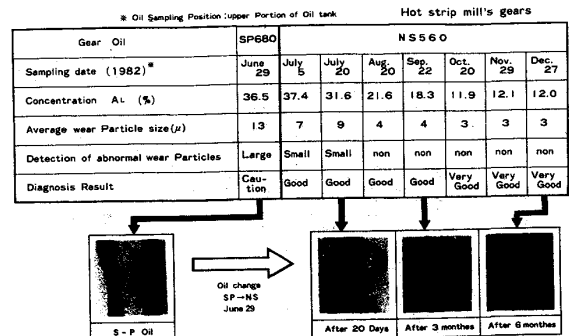


Fig 9 Results of Ferrographic Analysis of Gear Oil.

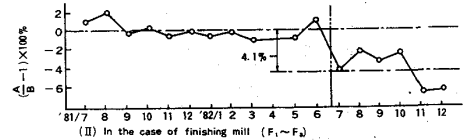


Fig 10 Electric Power Saving Effect through the use of NS Gear Oil.

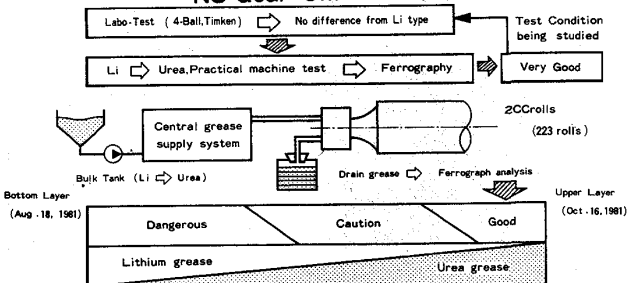


Fig 11 Evaluation of New Greases (Urea Type) on 2cc

Grease	Lithium grease	Lithium/urea	Urea grease
Date	18/8/1981	16/10/1981	24/6/1982
FERROGRAPHY			
WEAR PARTICLE	A ₁ = 62 %	A ₁ = 24 %	A ₁ = 10 %
Ratio of bearing failure	48% (48 / 100)	-	10% (8 / 80)
	(6 months)		

Fig 12 2cc Test Greases Ferrograph Analytical Result.

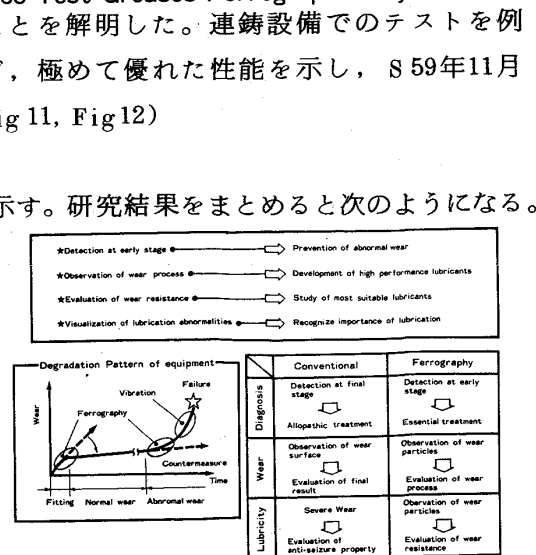


Fig 13 Summary / Application of Ferrography.