

ドライ真空ポンプの予知保全について

杉浦哲郎* 田中敬二* 山崎智行**

Dry Vacuum Pump Self-diagnosis System

by Tetsuro SUGIURA, Keiji TANAKA, & Tomoyuki YAMAZAKI

A self-diagnosis system has been developed in an effort to prevent abrupt stoppage of dry vacuum pumps used in semiconductor manufacturing. This system monitors electrical current changes in a vacuum pump and features an algorithm by which a warning signal is output when a predetermined electric current value is exceeded in a vacuum pump. This setup helps prevent stoppage due to the accumulation of reactive by-products inside the pumps. A self-diagnosis adaptor, capable of diagnostic computation and data storage, was also developed for use in existing central monitoring systems.

Keywords: Dry vacuum pump, Self-diagnosis, Algorithm, Self-diagnosis adaptor, Peak current, Integral value, Central monitoring system, Lon-network, Pressure sensor, Warning set value

1. 背景

近年、半導体はウェーハの高集積化及び大口径化が、また液晶は基板の大形化が進んでおり、基板1枚当りの単価も高くなってきている。そのため、製造工程を安定化させ、製品歩留まりを高める必要がある。特にドライ真空ポンプのように製造工程に直接影響を与える機器については、その機器の安定稼動は重要な課題になってきている。半導体で使用されるLP-CVD（薄膜減圧化学気相成長法：Low-Pressure Chemical Vapor Deposition）のように1回の工程で多数のウェーハを一度に処理するバッチ処理の装置の場合、処理中にドライ真空ポンプが突然停止してしまうと多数のウェーハがダメージを受けるため高額な損害を発生することがある。また液晶でも基板面積が4 m²を超えるところまで大形化が進んでおり、基板の損傷による損害が非常に大きくなっている。

このようななかで、ドライ真空ポンプの故障を予知し事前予防することで製品の損害を防ぐシステムの要求が高まりつつある。現状は集中監視システムとして多数のポンプの運転管理を行うシステムを顧客に納入、稼動している。このシステムでは多数のポンプの運転状況を少

数のPC（パソコン）で監視できるが、ポンプ故障を予知する機能はない。このため今回、集中監視システムにドライ真空ポンプの故障予知機能を追加したシステムを開発し顧客先で評価を行った。結果を以下に報告する。

2. 故障予知アルゴリズム

半導体や液晶製造に使用されるドライ真空ポンプでは、プロセス排気の結果生じる反応副生成物がポンプ内にたい積し停止する例が多く見られる。このため、反応副生成物が多量に発生する液晶のP-CVD（Plasma-CVD）や半導体のLP-CVDなどの重負荷プロセス用のスクリーナ形ドライ真空ポンプAAS、ESTシリーズのための故障予知システムを開発した。

重負荷プロセス用ドライ真空ポンプの故障要因を表1に示す。重負荷プロセス用ドライ真空ポンプの故障の主

表1 ドライポンプ故障要因
Table 1 Dry vacuum pump failure factors

主要因 Main factor	要因1 Factor 1	要因2 Factor 2	パラメータ変化 Parameter change
プロセス 要因 Process factor	ポンプ内部への生成物たい積 By-products accumulate into pump	ロータとケーシング、ロータとサイドカバー間しゅう動 Contact between rotor-casing, rotor-sidecover	電流上昇 Current rise
			温度上昇 Temperature rise

* 精密・電子事業部 精密機器事業部 精密機器事業室 設計部

** (株)荏原電産

原因はドライ真空ポンプに流入する反応副生成物がポンプ内部にたい積しロータがロックするものである。この場合、ロータ、ケーシング間に付着した反応副生成物によるしゅう動で徐々に負荷が増大することにより電流値が少しずつ上昇し最終的に過負荷停止を起こす。一方、反応副生成物のたい積により温度上昇を起こす場合もあるが、温度は冷却水など反応副生成物以外の影響も受けるため、電流値のほうが、より直接的に検知できる。

このように、ポンプ電流値を監視することによる以下の故障予知アルゴリズムを考案した。

2-2 故障予知フロー

AAS, ESTシリーズは大気圧から駆動するメインポンプと、メインポンプを補助ポンプとして作動するブースタポンプで構成される。メインポンプはスクリー形、ブースタポンプはルーツ形であり反応副生成物のたい積による電流値の挙動が異なるため、それぞれ別々の故障予知計算を行うようにした。

故障予知のフローを図1に示す。最初に故障予知診断の基準となる警報設定値の決定を行い、その後メインポンプ、ブースタポンプの故障予知計算を行うようにした。

2-2-1 故障予知警報設定値

ポンプ電流値はポンプの個体差などによって変化する可能性がある。このため個々のポンプの警報設定値を決定するために、初期運転時の電流値の平均をとり、初期電流値 + α を警報設定値とした。初期電流値はポンプ稼動開始後12時間のデータの平均を自動計算する。また + α の値はメインポンプは初期電流値の + 10%程度、ブースタポンプは初期電流値の + 50%程度に設定した。メインポンプの電流値は流入ガス量などの影響を受け難く

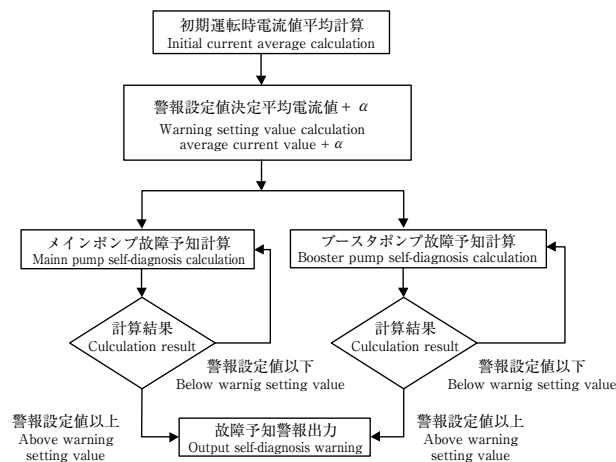


図1 故障予知計算フロー
Fig. 1 Self-diagnosis flow

比較的安定しているため、+ 10%程度に設定したが、ブースタポンプの電流値は流入ガス量の影響を受けやすく、電流値の変動が大きいので + 50%程度に設定した。

2-2-2 メインポンプ故障予知アルゴリズム

図2にメインポンプの故障予知のアルゴリズムを示す。

スクリー形のポンプはポンプケーシング内部に反応副生成物がたい積してきた場合にスクリーロータが反応副生成物を掻きだす動作をする(図3)。このときに瞬間的に負荷がかかるため電流値が一時的に上昇する挙

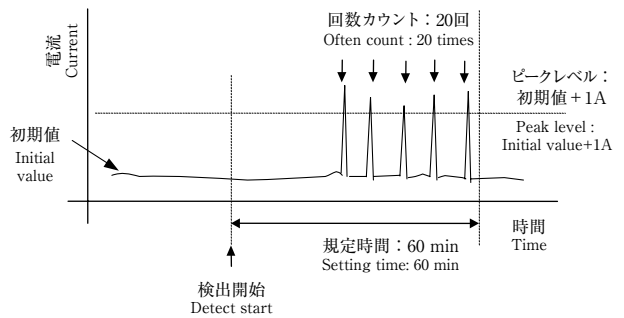


図2 メインポンプ故障予知
Fig. 2 Main pump self-diagnosis

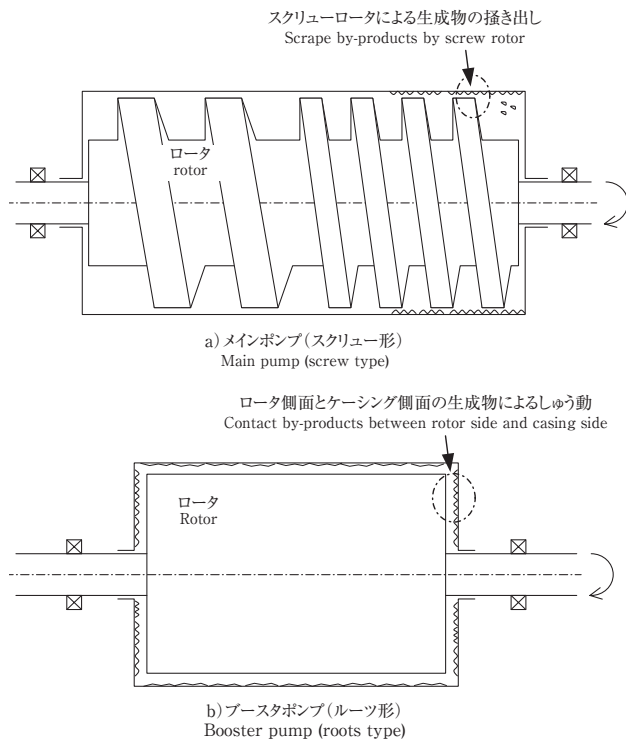


図3 ポンプ内生成分たい積箇所
Fig. 3 Accumulation of by-products in pump

動を示す。反応副生成物の付着量が増えてくると反応副生成物の掻き出しによるピーク電流が頻繁に発生するようになり、最終的には掻き出しきれない反応副生成物がロータとケーシング間にたい積、しゅう動し、過負荷停止を起こす。この挙動に着目し、一時的に上昇するピーク電流の単位時間当たりの発生回数をカウントし、回数が警報設定値以上になった場合に故障予知警報を出力するようにした。

2-2-3 ブースタポンプ故障予知アルゴリズム

図4, 5, 6にブースタポンプの故障予知アルゴリズムを示す。

ルーツ形のブースタポンプはポンプケーシング内部に反応副生成物がたい積してきた場合にロータ側面とケーシング側面に反応副生成物によるしゅう動が発生する(図3)。このときに生成物によるしゅう動で電流値が少

しずつ上昇する挙動を示す。反応副生成物の付着量が増えロータ側面とケーシング側面のすきまで閉塞したところでしゅう動し過負荷停止が発生する。このため、一定区間の電流の積分をとり、警報設定値以上になったところで警報出力するようにした。

ただしブースタポンプはポンプに流入するガス量の影響により電流値が大きく変化する特性があるために、電流値の上昇がガスの流入によるものか、生成物のたい積によるものか判断する必要がある。このため、ポンプにガスが流入した場合、ポンプ内部圧力が上昇することを利用してメインポンプケーシング段間部(2段のロータで構成されているメインポンプの段間部)に設置した圧力センサの値と電流値を同時に監視し、判断することとした(図4)。

ポンプ内部圧力値により後述する故障予知計算の切換えを行う。流入ガス量は成膜プロセス、クリーニングプロセスなど製造工程により変動するために、成膜プロセスのようにガス量の少ない工程でのポンプ内部圧力値より高いところに圧力設定値(Low)を置いた。またクリーニングプロセスのようにガス量の大きな工程でのポンプ内部圧力値より高いところに圧力設定値(High)を置いた。

(1) 大気引き時

大気引き時などには内部圧力が極端に上昇し電流値も大きくなる。このような場合には圧力設定値(High)以上になったところで、反応副生成物による電流上昇ではないと判断し故障予知の計算をキャンセルするようにした。

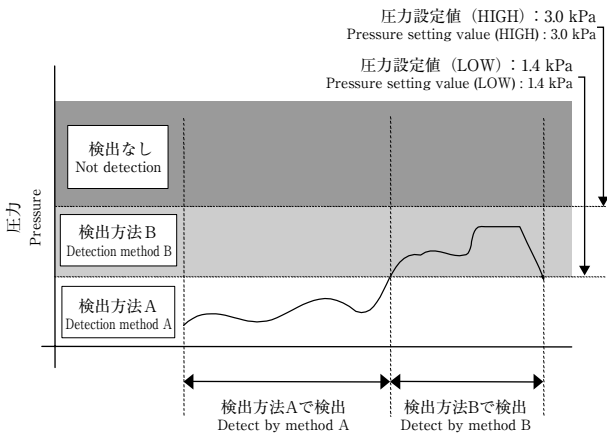


図4 ブースタポンプ故障予知 (ポンプ内圧力)
Fig. 4 Booster pump self-diagnosis (pump pressure)

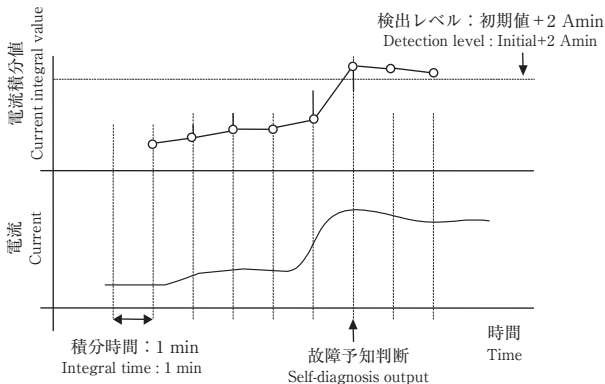


図5 ブースタポンプ故障予知 (検出方法A)
Fig. 5 Booster pump self-diagnosis (method A)

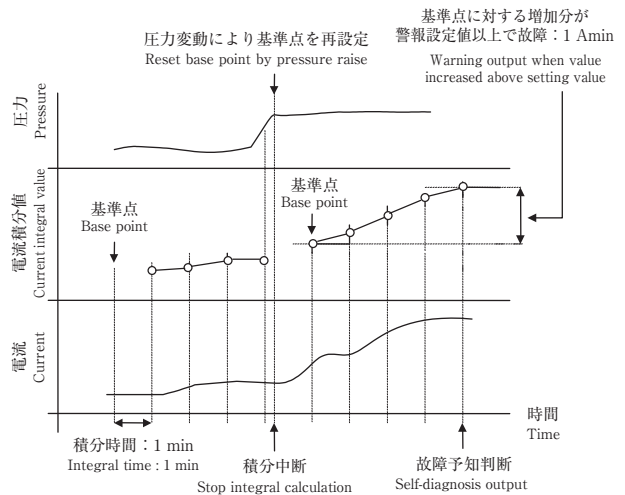


図6 ブースタポンプ故障予知 (検出方法B)
Fig. 6 Booster pump self-diagnosis (method B)

(2) ポンプ内部圧力が圧力設定値 (LOW) 以下の場合成膜ガス導入時などガス量が比較的少なくポンプ内部圧力が圧力設定値 (LOW) 以下の部分では一定区間の電流値の積分をとり、積分値が警報設定値以上になった場合に警報を出力する (図5：検出方法A)。

(3) ポンプ内部圧力が圧力設定値 (LOW) 以上の場合クリーニングガス導入時などガス量が多い場合、ポンプ内部圧力上昇が大きくなり、ブースタポンプの電流値の変動も大きくなる。ポンプ内部圧力が圧力設定値 (LOW) 以上になった場合、(2) の積分計算を中止し新たに電流の積分を開始し警報設定値を再設定する。積分値がこの警報設定値を超えた場合に警報を出力する (図6：検出方法B)。

3. 故障予知システム

3-1 コンセプト

図7に現状のドライ真空ポンプ集中監視システム例を示す。

ドライ真空ポンプとインタフェース変換を行うLonアダプタ (Lon: Local Operating Network) はRS232C通信で接続され、各LonアダプタはLonネットワークで結ばれている。また、ネットワーク上には集中監視用PC (パソコン) が複数接続されている。

ポンプからLonアダプタへデータを送信し、取得したデータはネットワーク経由で集中監視用PCに蓄積される。

一つのネットワークには最大3000台のポンプが接続

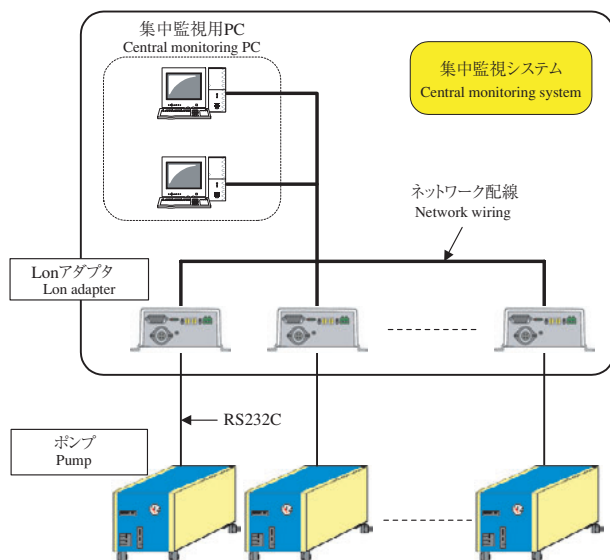


図7 集中監視システム (現状)
Fig. 7 Central monitoring system (present system)

可能であり、集中監視PCではこれらのポンプの運転情報 (温度、電流値等) 及び警報情報 (アラーム・ワーニング) を表示し、製造工場内に設置されるポンプの一括管理を可能としている。

これらを踏まえ故障予知システムの構築にあたっては、以下の点を考慮した。

(1) 既存の集中監視システムをベースに故障予知機能を追加する。

(2) 既存ポンプのソフトウェアを変更しない。

(3) パルス状で発生するメインポンプのピーク電流をとらえるため1秒程度ごとのデータ収集が必要である。ポンプの経時変化を把握するために、この1秒ごとデータを1週間分以上保存可能とする。

(4) 故障予知結果を既設の集中監視システムのPCでモニタできる。

これらを満たすため、新たにポンプとLonアダプタの間に故障予知アダプタを設置することとした。

3-2 システム構成

図8のようにポンプから故障予知アダプタへ、1秒ごとに状態データを送信し、送られてきたデータをアダプタ内に蓄積する。同時に故障予知アルゴリズムによるデータ処理を行い、故障予知を行う。

一方故障予知アダプタは蓄積データ中の最新データに故障予知結果を加えたデータをLonアダプタに送る。集中監視システムは、故障予知結果が送られてくると集中監視システムPC上にメッセージを表示する。

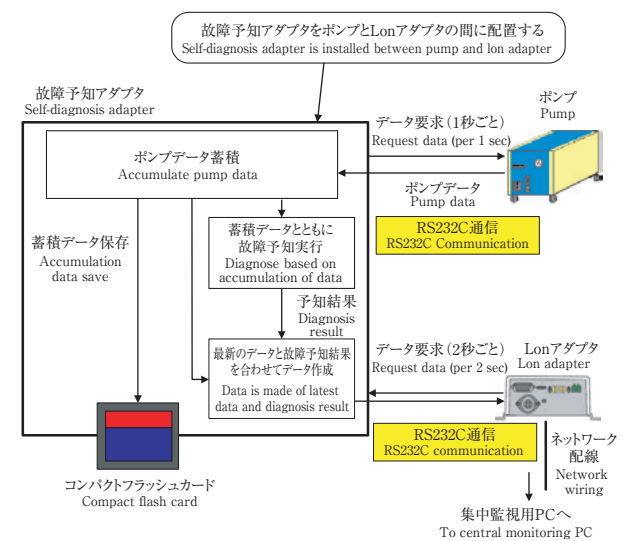


図8 故障予知アダプタフロー
Fig. 8 Self-diagnosis adapter flow



05-84 01/207

写真 故障予知アダプタ
Photo Self-diagnosis adapter

このとき故障予知アダプタは、既存集中監視システムと互換性のあるフォーマットで通信を行うため、ポンプ及びLonアダプタ共にソフトウェア変更の必要がない。

また既存の集中監視システムでは、Lonネットワークのデータ通信時間の能力により1秒ごとにデータ収集するとポンプ接続可能台数が非常に少なくなるため、アダプタ内にデータを保存する構成としている。

4. 故障予知アダプタ

本アダプタの外観を写真、主要諸元を表2に示す。現状ポンプデータ量は、1日あたり約6 MBであり、1週間分以上のデータを蓄積するために、アダプタは数十～数百MBのデータの保存が必要となる。

これを安価に実現するため、本アダプタではデジタルカメラ等で一般的なコンパクトフラッシュメモリカードを採用している。更に保存形式にパソコンで使用されているファイルシステムを採用し、採取したデータをそのままパソコンで閲覧可能となっている。

現在、故障予知アダプタには256 MBのメモリカードを搭載しており、1秒ごとのポンプデータを約6週間分保存可能である。

その他、アダプタには入出力用二つ及びサービス用PCとの直接接続用一つ、計三つのRS232C通信ポート、状態表示用LED、瞬時停電（瞬停）に備え数秒間の電源瞬断をバックアップする電源等を具備している。

また故障予知のための警報設定値等は、PCを直接接続し専用のソフトウェアで変更することが可能である。

5. 実プロセスでのモニタ結果

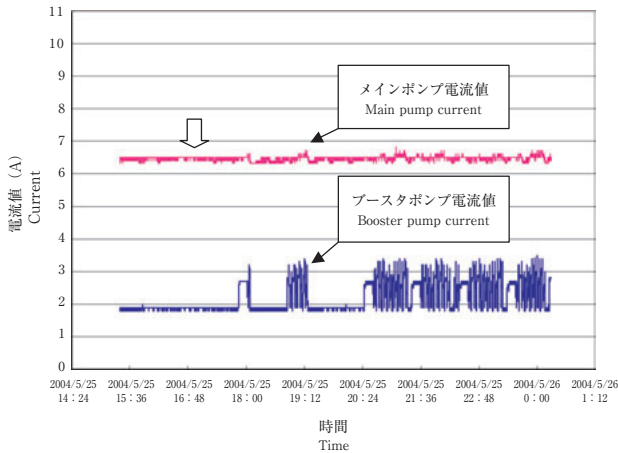
本システムの有効性を確認するため、実際に顧客で稼働中のポンプの停止時の電流値の挙動を監視した。

表2 故障予知アダプタ仕様
Table 2 Self-diagnosis adapter specifications

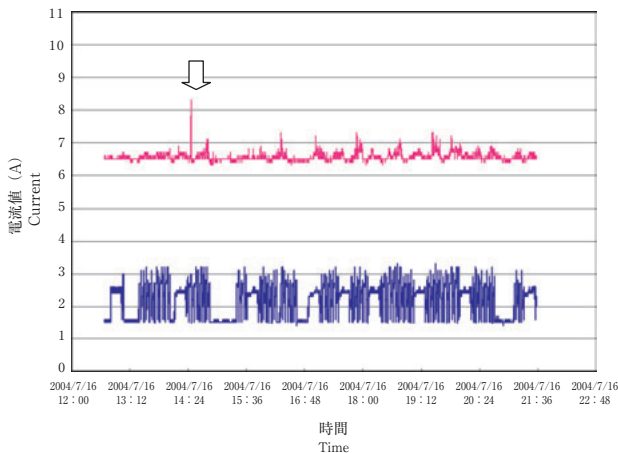
名称 Name	故障予知アダプタ Self-diagnosis adapter	
型式 Model	TPS-AD	
動作電圧 Rated voltage	AC100 V～AC240 V ± 10% (50 Hz/60 Hz) Model : T3110 000 (AMPHENOL)	
サービスコンセント出力 Service socket output	電力入力そのまま出力 Same as input Model : T3191-03P (MOLEX)	
突入電流 Inrush current	AC200 V/30 A	
消費電力（暫定） Power consumption (provisional)	5 VA 以下 Under 5 VA	
外形寸法 External dimensions	H 170 × W 125 × D 100 mm (突起部含まず) (Not including projection part)	
質量 Mass	1.9 kg (ケーブル/CFカード含まず) (Not including cable/CF card)	
動作温度 Operating temperature	0～45℃	
動作湿度 Operating humidity	20～90% (結露なきこと) (No dew condensation)	
保管 Storage	温度0～50℃/湿度～90% (結露なきこと) Temperature/Humidity (No dew condensation)	
振動 Vibration	1 G	
通信インタフェース (RS232C / 非絶縁) Communication interface (RS232C/Not isolated)	ポンプ接続 For pump connection	DSUB9 オス DSUB9 Male
	EBANET A/D 接続 for Ebanet adapter connection	ミニ DIN8 MINI DIN8
	保守用ポート For maintenance	ミニ DIN8 MINI DIN8
データ蓄積 Data accumulation	インタフェース Interface	TYPE II CF カードスロット CF card slot
	CFカード寿命 CF card life	100000 回 Times
	データ蓄積量 Data Capacity	64 MB で約 10 日 (約 6 MB/d) Interface
適合フォーマット Compatible Format	MS-DOS フォーマット (FAT12/16/32) Format	
RTC バックアップ時間 RTC backup time	5 年 5 Years	
瞬停対応時間 Instant power failure hold time	2 秒 (AC85 V 以下で瞬停検出) 2 sec (Detection of failure below AC85 V)	

液晶のP-CVDプロセスにおいて使用されたポンプモデルAAS300WNの電流値変化を図9に示す。データはポンプモニタリング用のPCを既に稼働中のポンプに取り付け1秒間隔で収集を行っている。

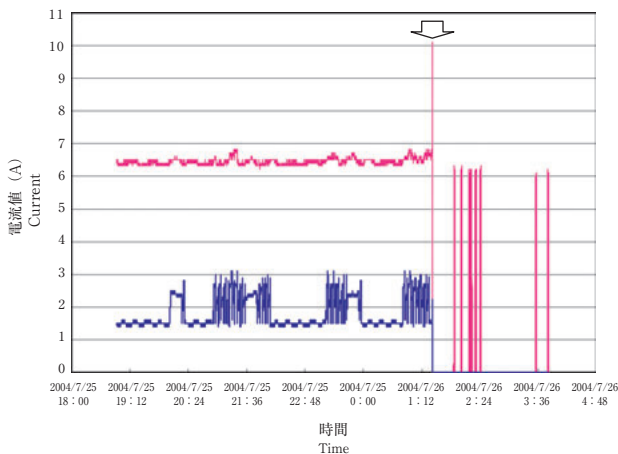
電流監視直後にはメインポンプの電流は安定であったが、一定期間運転後に電流値にピーク電流が現れ始め、最終的に停止に至っている。このピーク電流の回数の推移を図10に示す。この推移を見ると、停止直前に電流のピーク電流回数の最大値が現れている。メインポンプについて、このピーク電流回数を監視し、警報設定値以



監視開始時 メインポンプ電流値に大きな変化は見られない
Start monitoring No remarkable detection change in peak current value



2箇月後 メインポンプ電流値に変化が出ている
2 month later Remarkable detection change in peak value



停止時 電流値が大きく上昇し停止
Significant increase in pump stop current at stopped

図9 故障時電流変化
Fig. 9 Current change at pump failure

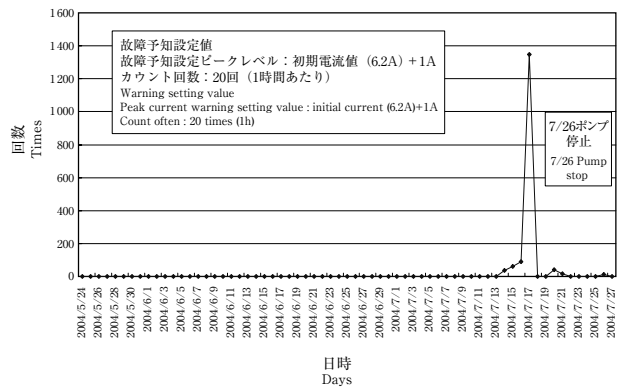


図10 メインポンプ ピーク電流回数推移
Fig. 10 Main pump peak current change

上になったところで警報出力すれば、故障予知が可能であることが確認できた。

今回は液晶のP-CVDプロセスにおいて確認できたが、他にもポンプ内部に反応副生成物がたい積する重負荷プロセスは多数あり、これらのプロセスにおいても、故障予知が可能であると考えられる。

6. まとめ

今回のモニタ結果により、電流値データを基に、故障予知の可能性が確認できた。集中監視システムに故障予知機能を追加することで、顧客にてドライ真空ポンプの保守、管理が容易になり製造工程での安定稼動が可能となる。

今後はこの故障予知の手法をベースに、より多くのデータ収集と分析を行い、様々な装置、プロセスに対しての適応及び故障予知精度向上に向け改良を加えていく所存である。