

技術報告

保全マンの技術・技能向上教育ならびに保全技術開発への取り組み

劉 信芳（技術本部 技術部）
馮 芳（技術本部 技術部）

福田 紀夫（高田プラント建設株式会社）

産業界において、労働者の高齢化とプラントの高経年化は共通の課題であり、安全・品質・生産性を追求するモノづくり現場の不安材料となっている。プラントの建設およびメンテナンスを主事業とする当社は高度なメンテナンスサービスを提供し、お客様の不安を少しでも払拭するため、若手社員の育成・早期戦力化ならびに現場に必要な保全技術開発について、様々な施策に取り組んできた。本稿では、その取り組みの状況を紹介する。

1. はじめに

産業界において、労働者の高齢化と生産プラントの高経年化は共通の課題であり、安全・品質・生産性を追求するモノづくり現場の不安材料となっている。団塊世代が定年を迎えた2007年から早くも8年が経過したが、製造業だけでなく、建設業やメンテナンスサービス業でも技能伝承問題が深刻化している。当社では対策として、「シニア社員制度」を導入し、定年後5年間は雇用延長できる体制を採用したが、そのベテラン社員も年々減少していく状況の中で、「若年層のスキルアップ」が急務となっている。

また、高度成長期に設置された生産設備の中には、いまだに主力プラントとして運転されている設備も多い。これらの設備は運転開始から30～40年以上経過し、老朽化が急速に進んでいる。一部の設備では故障が頻繁に発生し、生産性、品質だけでなく、安全面にも大きな影響を与えている。生産設備の故障やトラブルを未然に防ぎ、設備を安全・安心に運転し、高経年化設備を延命化する上で、メンテナンスの役割はお客様にとって非常に重要になってきている。

メンテナンスサービスを提供する当社は、お客様と問題を共有し、「最適整備」の仕組みをつくり、予知保全技術と高度な診断解析技術を駆使し、生産設備の劣化・故障原因調査から長寿命化のための対策工事まで一括で対応している。

2. 当社の概要と保全マン教育内容^{1,2)}

1940年の創業以来、当社は常に産業界の一翼を担う技術・技能者の集団として、製鉄・化学分野を中心に、基礎素材をはじめ、さまざまな産業設備の設計から製作、建設、メンテナンス、さらにエレクトロニクス分野・原子力プラント分野・環境プラント分野における生産装置の開発・製作およびメンテナンスに取り組んできた。

企業理念は、「純情・情熱・希望」であり、経営理念として、「人間創造」（常に互いを高め合い、人中心の活

き活きた集団を目指す）・「技術創造」（優れた技術を開発し、設備技術産業として新たな価値観を提供する）・「事業創造」（自らの可能性を極めながらあらゆる産業、生活基盤づくりに貢献する）を掲げ、これら三つを合わせたコンセプトとして「新『技・能』創造」を目指し、人材開発・技術開発を経営基盤として発展してきた。今年で、創業75年目を迎える。

当社は、人材育成の場として、図1に示すTAKADA研修センターを建設し、1995年竣工した。現在、技術・技能の研鑽のみならず、社会に貢献すべき人材育成と新技術研究開発の場として大いに活用されている。

ここでは、新入社員だけでなく中堅社員も対象に年間を通して下記の設備保全に関する教育・訓練を行っている。

- ① 新入社員全社共通基礎技能教育（6か月間）
- ② 技能オリンピック全社大会
- ③ 設備保全「技術・技能力」向上訓練
- ④ 回転機械設備診断技術教育
- ⑤ 回転機械整備・修復技術教育
- ⑥ ISO機械状態監視診断技術者育成教育
- ⑦ JPI設備維持管理士（回転機）育成教育



図1 TAKADA 研修センター

3. 保全マン教育の道のり¹⁾

3.1 詰め込み教育では技能伝承にならない

保全マンの教育は、テクニカルインストラクター制度（TI）として1993年にスタートした。指導するインストラクターを選出して、研修センターで訓練した後、彼らが入社3年目までの若手社員を3か月間集中的に教育するという制度であった。しかし、若手社員の定着率の改善には至らなかった。

インストラクターからは、「教育と技能伝承は次元が違うのではないか」、「詰め込み教育では技能伝承にならない」、「インストラクターと若手社員との良い関係があれば技能伝承は簡単にできるのに」というような意見が出てきた。やはり、じっくりと時間をかけなければ師弟関係は簡単につくれないことが分かってきた。業界では七五三と言って、入社1年目で残る人が70%、2年目で半分、3年目には30%になると言われている。さらに3K職場「きつい・汚い・危険」と相まって、2006年以前の当社の入社8年目の定着率は30%強であった。

3.2 社長の決断

「人材育成なくして、企業の発展なし」という強い信念のもとに、2007年から前例のない「新入社員全社共通基礎技能教育」がスタートした。

7月から12月までの6か月間、新入技能社員全員が研修センターに寝泊りし、同じ釜の飯を食べ、基礎技能習得に切磋琢磨する中で仲間意識の醸成とライバル意識を植え付ける。この教育の様子は、地元テレビで「6か月間缶詰教育」のタイトルで放映された。

この教育は全職種（製缶・配管・仕上・計装・据付・溶接）の基礎技能を、マンツーマンで徹底的に教育するものである。基本動作から始まり「カン・コツ」を手ほどきし、やって見せて、やらせる。以下に、その成果の一例を紹介する。

毎朝と昼の掛り30分間、薄板（板厚3.2mm、幅200mm）を万力ではさみ、20mmの幅で、片手ハンマーとタガネで切断する。最初はハンマーが親指の付根に当たり痛い思いを繰り返すが、訓練を重ねる内にタガネの角度、ハンマーを振る肘の角度、力加減等の「カンとコツ」が身についてくる。5か月もすると目を瞑っていてもハンマーをタガネの頭部に正確に当てることができるようになる。また、設備保全作業を想定したポンプのオーバーホール、中間軸の芯出し等、自身の手で繰返し実践することで、体に技能を覚えさせる。

技能教育開始2か月後に本人の希望職種と講師の判断、各事業所のニーズを総合した上で職種を決定し、職種別初級専門課題へとレベルアップさせる。まさに新入社員と講

師の目つきが変わる瞬間でもある。新入社員は日々の積み重ねにより「今、自分は鍛えられているんだ」と感じ、自分が進歩していることを実感する。

また、苦手なところにも気づき、落ち込みそうになった時、講師のアドバイス、同僚の励まし等で頑張ろうと勇気づけられ成長して行く。

貴重な体験を積み重ねることで「やればできる」という勇氣と自信を持ち、即戦力に必要な技量を身につけて各事業所へ戻っていく。図2は全社共通基礎技能教育の風景である。

「全社共通基礎技能教育」の成果は、

- ① すんなり現場に溶け込み違和感がない
- ② 班長の足手まといにならず指示通り動ける
- ③ 複雑な作業以外は即戦力になる
- ④ お客様の担当者からも新人扱いされない
- ⑤ 入社3年目の社員から、自分たちで班を組んで仕事を任せてもらいたいと、前向きな発言がでてくる

などである。

6か月間寝食を共にし、同じ釜の飯を食べることで仲間意識が強くなり、同期生に負けまいとライバル意識も強くなる。

3.3 若者の定着率が向上

2006年以前の定着率30%台を打開すべく実施した新入社員「全社共通基礎技能教育」も8年目を迎え、若手社員の定着率は60%台を維持している。日常の教育の中で下記の改善を目指している。

- ① 一仕事・一片付けの徹底
- ② TPMで安全を考慮した作業エリアの確保
- ③ 治具等で楽に作業ができる考案・改善

以前の3Kは「きつい・汚い・危険」であったが、これらの改善により、現在、当社における3Kは「片付け・改善・教育」に変化してきている。



図2 全社共通基礎技能教育風景

4. 「技能オリンピック全社大会」¹⁾

「人が真ん中」を掲げる当社は「技能オリンピック全社大会」を通して先輩から後輩へ「モノづくり」の「カン・コツ」の継承を目指している。

2004年度から実施している「技能オリンピック全社大会」は、各事業所職種代表（製缶・配管・仕上・電計・溶接）の若手社員による技能力を競う大会である。

競技は、Ⅱ等級以下（入社1～6年）までの若手社員が、与えられた課題に取り組む。近年は若手の成長が著しく4年前より競技内容を以下のようにレベルアップして行っている。

4.1 競技内容

- ① 製缶競技：国家技能検定鉄工（製缶作業）1級・2級の製品加工と展開作業
- ② 配管競技：国家技能検定プラント配管2級のスプール図作成と材料および溶接量の算出
- ③ 仕上競技：国家技能検定機械仕上2級の製品加工と中間軸芯出し作業
- ④ 溶接競技：日本溶接協会主催の全国大会の課題と同様薄板・中板被覆アーク溶接および四角形の箱型溶接、半自動溶接
- ⑤ 電気計装：シーケンス回路組立および空気配管、配線工事各競技、4時間30分の制限時間内で完成させるものである。競技課題は、大会4か月前に各事業所に通知され、熟練技能者が参加選手を選考し、訓練を重ねて大会に臨む。開会式から競技までの風景を図3に示す。

4.2 大会のねらい

技能オリンピック全社大会のねらいは、

- ① 基礎技能の修得と向上
- ② 技能伝承の必要性の再認識
- ③ 他事業所との比較による技能修得意欲の喚起



図3 技能オリンピック開会式から競技まで

- ④ 各事業所間の情報交換とレベルの平準化
- ⑤ 相互波及効果と自己相対評価にある。

また、大会の最大の魅力は、より早く・より正確に・より美しく「モノづくり」に挑戦する若者の真剣な眼差しとキビキビとした動作であり、これらは見る人に感動を与える。

技能伝承の状況が即座にわかるため、若手社員も熟練技能者も真剣に取り組むようになった。各職種の先輩たちが出場選手に、正しい基本技能とカン・コツを伝授し、その成果を選手たちが出す。優勝者から3位までの団体および個人に賞金とメダルが与えられるが、入賞を果たせなかった選手たちも決して悲観しておらず、「次回は是非リベンジさせてほしい」と申し出る者もある。

次大会でのメダル獲得に向けて、若手社員の中で自発的にトレーニングが始まり、社員にまとまりとやる気が出てきたという報告もある。

4.3 感動的な出会い

2006年度第3回技能オリンピック全社大会は全国11事業所から57名の選手が参加し、審査委員30名、大会運営委員30名、総勢128名が制限時間4時間30分に全てを懸けて集中した。

表彰式が終わり、テーブルを囲む懇親会の席で、急に声を殺しながら泣き出した選手がいた。何かと近寄り、「どうしたのか」と尋ねると、「あれだけ苦しい訓練に耐え、1年前2位で優勝を逃がした。今年こそは絶対優勝と自信を持って望んだ大会で、結果はまたしても2位だった。」

そのことが悔しくて涙が溢れ、止まる気配がない、丁度その時、社長が近寄って来た。事の次第を社長に説明したところ、社長が「君は何歳かね?」と尋ねた。

「ハイ、21歳です」。「じゃあ、まだ来年も参加資格があるから次回優勝を目指しなさい」。

声を掛けた社長の目頭が熱くなっていた光景は、著者の脳裏に今も鮮明に残っている。

そして2年後23歳に成長した彼が第5回大会に挑戦してきた。

完成させた製品の審査も終わり、展示された他の選手の製品と自身の製品とを見比べている姿が目に入り、「どうだったか?」と尋ねると、顔を曇らせて不安そうな態度で首をひねった。

翌日表彰式が行われ、個人の部の結果が審査委員長より発表された。

製缶の部に続き、配管の部の発表となった時、緊張しかった彼の横顔を注視しながら著者も一緒に耳を澄ました。

「優勝は鹿島事業所、若梅君」アナウンスされた瞬間、

彼は、「やったー」と小さくガッツポーズを何度もくり返した。同時に著者は素早く社長の顔を注視した。

“おおっやったね”と一瞬顔をほころばせたように感じた。表彰状と賞金を渡す社長の言葉「おめでとう」、「ありがとうございます」と答えた若梅君，2年前の悔しさが喜びに変わった瞬間であった。

4.4 新入社員が仕上の部で快挙

2012年3月1日・2日に行われた第9回「技能オリンピック全社大会」の特色は，新入社員11名を含む57名全員が「全社共通基礎技能教育」の修了生であり，参加選手の95%が21歳以下であることから，22歳以上の先輩クラスを揃えた場所が断然有利との前評判であった。なかには新入社員を加えてやっと選手が揃う事業所もあった。このような条件下で11事業所57名の選手が一斉に競技課題に取り組む，上位を目指し，真剣な戦いを繰り広げた。

今回の大会は各職種の講師の教え子達が参加しているので，講師の内心はハラハラのものである。口は出せない，手は出せない，教え子達の一举一動を見守るだけ，息の詰まる想いの4時間30分であった。

審査員が各職種に分かれ，寸法・角度・切断精度・曲げ精度・仮付け状況，外観のでき映え等を審査した。特に上位にランクされた製品のでき映えは甲・乙つけがたい結果であった。深夜に及ぶ審査（欠点を見つけ出すのに苦労した）の結果，順位が確定し，翌日の表彰式となった。

注目はやはり新入社員11名の結果である。審査委員長から個人の成績が発表された。

「製缶優勝：君津支社 中原君（入社2年生）」

「配管優勝：本社工場 鶴君（入社5年生）」

「仕上優勝：装置事業部 高林君（入社1年生）」

一瞬静まり返った式場から「ウオー」という歓声とともに拍手が鳴り響いた。凄いことをやってのけたのだ！しかも，300点満点で300点，当大会が始まって以来，初の快挙を新入生がやってのけたのである。顔を紅潮させて社長の前に進み出る姿は，まさに初陣で勝ち名乗りを挙げた若武者のようであった。

5. 成長した上級「技術・技能社員」が能力向上に挑戦^{1,2)}

5.1 設備保全「技術・技能向上訓練」

2005年度よりスタートした当訓練は中堅クラス（入社10～20年）の技能社員を対象としており，年間2回（A/B）のコースで今年18回目を迎える。Aコースでは一般回転機械の分解・組立て・調整・据付け・試運転の要領を学び，軸・軸受・軸継手・ロータの点検整備を訓練する。回転機械簡易診断技術の基礎学習と携帯型振動診断器の取扱い



図4 設備保全「技術・技能向上訓練」の風景

訓練も実施する。Bコースでは減速機の分解・組立て・調整要領を学び，歯車の計測・点検・手入れ・浸透探傷・モータ減速機セットの据え付けを訓練する。最後に受講者が整備した減速機の試運転を体験し，実機診断トレーニングを行う。受講者延べ105人を送り出した当訓練も年々，年齢層が下がり入社4年目以上の若手の参加が多くなった。

近年，技能社員主体から若手技術社員の受講生も増えてきており，自身の手で回転機械を分解⇒手入れ⇒測定⇒記録⇒組立⇒芯出し⇒測定⇒記録⇒試運転⇒振動の測定等のポイントを自身の手と肌で感じ取り，技能の修得にも力をいれた体験教育を実施している。図4に訓練風景を示す。

5.2 回転機械診断・予知保全技術教育

診断・予知保全技術教育は，回転機械の設備診断・予知保全に関する全般的かつ初歩的な知識の習得により，現場保全技術者として，携帯型振動診断器による設備の簡易診断と劣化傾向管理などの基礎技術を身につけ，その実務作業ができることを目的とする。

教育は三日間のコースで，座学と実技により構成されている。教育内容は①保全技術の動向と予知保全の基礎，②振動の性質と測定技術，信号処理技術の基礎，③簡易診断・傾向管理技術，④精密診断技術，⑤軸受診断法，歯車診断法などである。

この教育は技術社員を対象に始めたが，設備保全に従事する技能社員の受講者が年々増えている。2001年より年に2～4回定期的実施しており，現在，お客様の受講者を含めて延べ196名が受講している。

5.3 回転機械整備・修復技術教育

整備・修復技術教育は，回転機械の異常振動の主要因であるミスアライメントとアンバランスが発生した場合に

おける動的力学特徴とその診断識別方法の理解を図り、現場においてフィールドバリディング、レーザ芯出しの施工管理、施工担当ができるようになることを目的とする。

この教育は回転機械診断技術教育の受講が済んでいることを前提としており、三日間のコースで座学と実技により構成されている。教育内容は①回転体力学の基礎と釣合い良さ、②振動信号によるアンバランスの識別および修正技術、③バランス修正訓練、④アライメントの重要性とミスアライメントの識別、⑤レーザ芯出し技術と施工法、⑥レーザ芯出し訓練などである。

この教育は、設備保全に従事する技術社員と技能社員が同じテーブルに付き、計測・解析から補修方法まで訓練する。2002年より年に1回実施しており、現在、お客様の受講者を含めて延べ56名が受講している。

5.4 回転機械保全専門技術員育成

保全専門技術員育成プログラムは、回転機械の診断と整備技術を総合的に運用し、故障原因の解析、修復方法の策定、回転機械整備標準書・要領書などの技術書類作成、さらに回転機械の大型定修・定検工事の技術担当ができることを目的とする。

2010年度からは、生産拠点から2名の若手技術員を選し、当社専門部の技術部回転機械診断グループで約一年間の集中教育・訓練を実施している。教育・訓練の内容は①精密診断技術、故障解析技術教育とOJT、②回転機械修復技術教育とOJT、③回転機械整備技術書類作成訓練、④大型定検・定修工事技術担当OJTなどである。

若手技術員は所定の教育内容を終了すると、所属部署に帰任する。今後は受講者に対するフォローを行い、教育実施の効果を把握した上で、各生産拠点と連携して、この教育を継続的に実施していく。

6. 整備技術および施工法の確立^{2,3)}

現在の設備管理における生産損失を含めたトータル保全コスト削減の傾向は、機械摩耗など異常の根本的な原因に焦点を絞ったメンテナンス・ソリューションを指向している。このようなトータル保全コストを削減するためには、設備そのものを劣化させないことが重要である。劣化や故障を防止するための事前保全活動を総称して、「プロアクティブメンテナンス (PRM: Proactive Maintenance)」という。PRMでは、設備診断技術を用いて、原因系のパラメータを科学的に監視診断し、劣化や摩耗などの故障原因を事前に除去する最新の保全技術である。当社は、回転機械劣化の主な原因である回転体アンバランスと回転軸のミスアライメントに着目し、高度な診断・解析技術と修復・整備ノウハウを融合した現場診断・修正施工技術を確

立している。これらの回転機械PRMサービスはお客様から高い評価をいただいている。

アンバランスの修正方法には、バリディングマシン法とフィールドバリディング法がある。バリディングマシン法は回転体単体のバリディングを目的にした方法である。この方法では、回転機械を分解し、回転体を取り出し、整備工場へ運び、バリディングマシンを用い、修正作業を行う。本方法は時間と費用が掛かるだけでなく、修正時の運転条件と実稼動状態での運転条件とが異なるため、現場で回転体を据え付けた後、再び振動が発生することがある。一方、フィールドバリディング法は、現場において回転体を据え付けたままの実稼動状態の運転条件下で振動を低減させる方法である。本方法は市販のフィールドバリサーを用い、回転体アンバランスの量と角度を算出し、分解することなくバランス修正作業を行うことができるため、短工期、低コストなどの特徴がある。当社は一面修正と二面修正の施工技術を確立し、施工法を標準化した(図5)。現場の実績では、従来のバリディングマシン法に比べ工期を60%以上短縮でき、設備の長時間停止による生産への影響を最小限に抑えることができる。

従来のダイヤルゲージを用いた芯出し施工法では、①修正には経験が必要、②個人の技量・技能により芯出し精度がばらつく、③治具の製作が必要となる場合もある、④精度が確保できないなどといった問題点がある。回転軸のミスアライメントは回転機械振動異常の主要因でもある。そこで、当社はレーザ芯出し装置を導入し、異なる構造の回転機械と複雑な現場環境に対応できる施工法を確立した。これを社内展開するため、①レーザ芯出し施工要領書・作業手順書の作成(図5)、②運転中の回転機械ミスアライメントの診断および修正要否の判断方法策定、③技術・技能社員に対する教育、④施工法の現場展開、⑤ニーズの高い事業所へのレーザ芯出し装置の導入などの活動を実施してきた。現在、全国に配置する支社・事業所の大半が施工実績を保有している。

図5 アンバランス修正とレーザ芯出し施工手順

7. 予知保全・設備診断・整備技術の客先への展開²⁾

保全費のコストダウンは製造業にとって永遠のテーマである。事後保全、時間基準予防保全、予知保全など3種類の保全方式の中で、予知保全のコストが一番低い。しかし、予知保全方法を導入するためには、一定の技術力と診断装置の初期投資が必要である。特に技術力の不足が企業の予知保全方法導入の壁となっている。このため、当社は長年蓄積してきた設備診断と予知保全の技術および人材育成の成果を活かし、図6に示す全社予知保全・設備診断業務体制を構築し、運営方法を確立した。また、お客様の要望に応え、診断装置と診断ソフトまで提供する。

お客様より予知保全・日常点検診断業務を受注した後、事業所の若手技術・技能社員は最初の測定・診断時に本社専門技術者の指導・OJTを受けながら、設備管理の知識と作業要領を習得し、運営を引き継いでいく。精密診断について、簡単な案件は現場担当技術員が対応するが、難しい案件は当社の診断装置と診断ソフトが統一しているため、本社専門技術者は遠隔でデータ解析と精密診断を行い、現場担当技術員にアドバイスする。

お客様の機器台数と業務内容により要員を配置する。ある製鐵所殿において、状態管理対象機器台数が多く、診断後のアンバランス修正作業を実施するため、若手技術・技能者4名により診断班を構成した。診断班は日常の回転機械の振動計測・傾向管理・簡易診断・結果報告などを行い、アンバランスを検出した場合、お客様の指示により、フィールドバリランシングまたはバランスマシンを用いたバランス修正作業を実施する。年間バランス修正作業が約200件に上る。

8. 診断技術の研究開発および現場展開

8.1 複合センシングによる低速回転機械診断技術⁴⁾

回転数300rpm以下、特に180rpm以下の低速回転機械には、①振動信号のレベルが弱くなり、有効信号とノイズ

の比が大幅に低下し、異常特徴の抽出が困難である。②異常特徴信号が不安定でばらつきが大きいため、異常の識別が難しい。③市販の振動計測装置で、検出または解析できる振動信号の周波数範囲は殆んど3Hz以上となり、3Hz以下の信号の検出が困難である。などの問題点があり、通常の振動診断方法では検出できないケースが多い。

当社は振動信号に加え、動的ひずみ信号と動的変位信号を用いた複合センシングによる低速回転機の状態診断、特に構造系の異常診断方法を開発し、その有効性を攪拌機、高炉炉頂挿入装置の診断実績により検証した。

攪拌機の回転数を20rpm、水量をそれぞれ、「なし、少、中、多」に設定し、攪拌軸の動的変位、攪拌軸軸受部のひずみと振動を計測した。レーザ変位計で計測した動的変位のFFTを図7に、ひずみのFFTを図8に示す。図7、図8より、水量の変化にともなって、動的変位のFFTと動的ひずみのFFTは回転周波数およびその高調波のピークがはっきり現れ、攪拌機のダイナミックストレスの変化を忠実に表している。従来方法では、これほど低い回転数の回転機械の振動信号のFFT解析はほとんど期待できなかったが、本開発により実現した。

8.2 モータ電流情報量解析・診断技術⁵⁾

振動信号による回転機械の状態診断方法は広く使われている。しかし、液中回転機械、高温・高湿環境下回転機

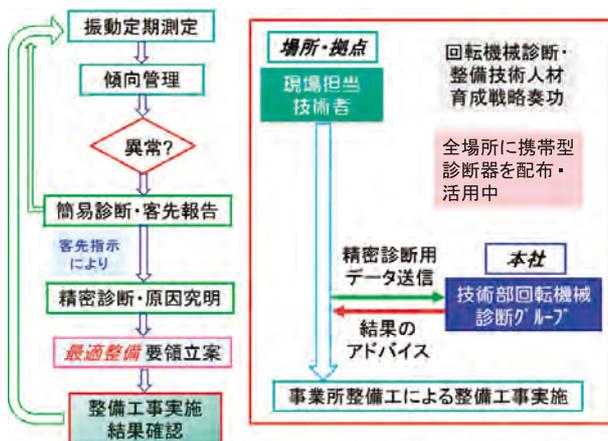


図6 予知保全・設備診断業務体制と運営

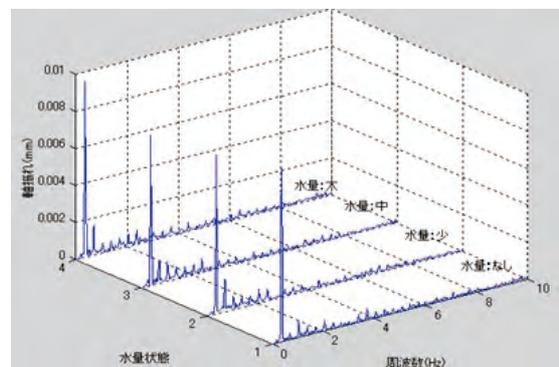


図7 水量変化による攪拌軸の動的変位 FFT

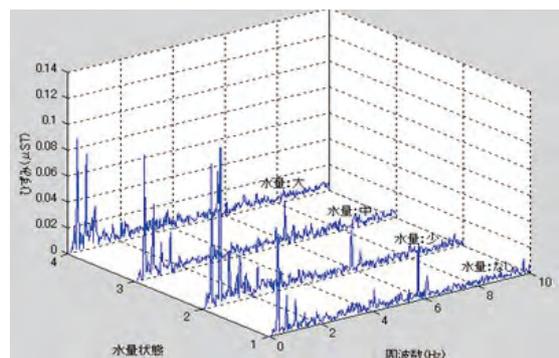


図8 水量変化による攪拌軸軸受部動的ひずみ FFT

械、原子力発電所放射線管理区域用回転機械、毒・劇物エリア用回転機械、ロボットについては、振動信号の計測作業が困難であり、有効な診断方法が確立されていないため、新しい診断技術・商品が求められている。

当社では以上の状況を踏まえ、モータ電流信号による回転機械系（モータと負荷側設備）状態診断技術の基礎研究から、商品開発まで実施してきた。統計解析と情報理論を用い、電流信号に含まれている回転機械系の状態情報を十分に抽出して活用することにより、初めて電流信号による回転機械系の簡易診断・劣化傾向管理技術を確立した。精密診断として、高周波電流時系列波形の包絡線処理・解析手法を負荷側の状態診断に初めて実現した。また、従来モータ固定子と回転子の状態識別に用いる側帯波解析技術を負荷側回転機械軸系の状態識別および流体回転機械の状態識別へと応用幅を拡大させた。さらに、包絡線処理・解析、側帯波解析、高調波解析、過渡電流解析など4種類の解析手法を体系化し、回転機械系の状態診断技術として「電流情報量診断システム（T-MCMA：TAKADA Motor Current Multiplex Analysis）」を開発した。

本診断システム商品の基本タイプの開発が完成し、お客様のプラントでの実用検証と系列商品の開発を行っている。診断システムの構成を図9に示す。本診断システムは、モータ電流信号を多重解析することにより、モータ本体および被駆動回転機械の同時状態監視・診断を可能にした。電気盤で電流信号を計測するため、センサーを設置する必要がなく、液中、高温、高湿などの劣悪な環境他、毒・劇物などを扱う危険エリアなど振動計測が困難な回転機械の状態監視・診断も簡単・安全・正確に行うことができる。また、インバータ等制御機器および電源品質の監視・診断も可能である。

本診断システム商品は先行性、独創性に優れていることが評価され、JIPM2010年度TPM優秀商品賞開発賞を受賞した。開発賞ロゴを図10に示す。現在まで、お客様十数社の設備にて本システムを運用し、実績を蓄積してきた。



図9 電流情報量診断システム(T-MCMA)の構成



図10 TPM優秀商品賞開発賞ロゴ

8.3 非定常系回転機械診断技術⁶⁾

半導体製造プロセスにおいて、単結晶シリコン引上げや成膜などの製造工程では真空ポンプが多く使われており、そのプロセス条件により生成物などが悪影響を及ぼし、製品製造中に真空ポンプの突発停止が発生する可能性がある。その場合、多額の損失をもたらすことになる。このようなお客様の課題に対して、お客様と一体になって、真空ポンプの故障原因究明から、状態監視・診断方法の開発まで取り組んだ。

半導体用真空ポンプは、流体回転機械の一種であるが、従来の流体回転機械の機械系による異常や流体系による異常と異なり、以下の問題がある。

- ① 生成物が生じ、真空ポンプの内部に付着、堆積し、回転部に摺動・摩耗が発生する。
- ② 半導体製造プロセスのほとんどはバッチ処理であり、真空ポンプの負荷は定常状態ではなく、振動値が常に変化する。
- ③ メカニカルブースタポンプとドライポンプの組み合わせ使用により振動の相互影響が発生する。
- ④ 真空配管の詰まりにより吐出抵抗が高くなるため、従来の振動信号による監視・診断方法は半導体用真空ポンプに適用できない。

このような状況の真空ポンプに対して、長時間にわたり振動信号と温度、排気圧などの物理量を同時に計測・解析し、真空ポンプの正常または各種異常状態の動特性と故障の原因を分析した。それを基に真空ポンプ用常時監視・診断装置VPMS(Vacuum-Pump Monitoring System)を開発し、現場検証と実運用により診断アルゴリズムおよび診断機器の実用性を確認した。

計測した振動信号に対して、時間領域での有・無次元特徴パラメータ解析だけでなく、周波数領域の解析も行った。真空ポンプの過渡状態・非定常状態解析の一例として、3次元瞬間パワースペクトラム解析結果を図11、図12に示す。図11は真空ポンプ異常の初期状態の解析結果で

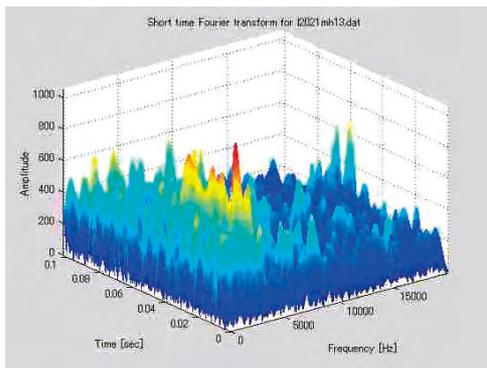


図 1 1 真空ポンプ 初期異常状態の解析結果

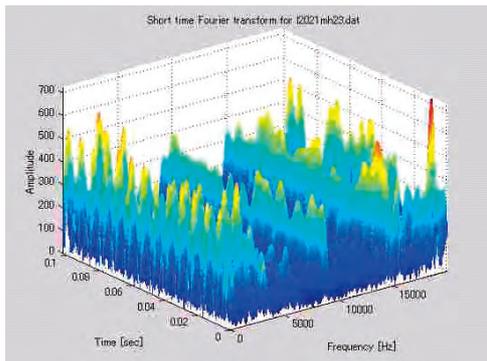


図 1 2 真空ポンプ 異常が進行した状態の解析結果

あり、図 1 2 は真空ポンプの異常が進行した状態の解析結果である。両図の比較により、初期異常の場合は低、中周波領域の振動が主体であるが、異常が進行した場合には高周波領域の振動が顕著になった。また、低、中、高周波領域共に特定の周波数にピークが現れているため、真空ポンプの異常は生成物に起因する摺動から内部接触または軸受故障まで進行したと推定した。そして、分解・整備を行い、この推定が正しかったことを検証した。

本診断技術は非正常系の回転機械状態診断だけでなく、一般回転機械にも適用できるため、VPMS は T-CMS (TAKADA-Condition Monitoring System)へ進化している。

9. おわりに

本稿では、当社のメンテナンス事業における人材育成から、診断・予知保全の技術開発・現場展開までの近年の取組みについて紹介した。保全マンの「技術・技能」の向上により従来のようにお客様の指示に従って、単なるプラントの補修・整備工事を行うだけでなく、お客様の屈強なパートナーとして診断解析技術、提案型メンテナンスなどといった新しいサービスを提供するとともに、お客様と一体になって、メンテナンス方法、結果およびトータル保全コストを最適化する「最適整備」を追求していく。

参考文献

- 1) 劉 信芳, 福田紀夫, 馮 芳: 保全マンの「技術・技能向上教育への取組みについて」, プラントエンジニア, Vol.46, No.6, pp.24-32, (2014)
- 2) 劉 信芳: 当社の回転機械診断・予知保全技術への取組み, 高田技報, Vol.22, pp. 22-27, (2012)
- 3) 劉 信芳: 回転機械最適整備技術 — アンバランスの診断とフィールドバリダンシング —, 高田技報, 20, pp. 14-19, (2010)
- 4) 馮 芳, 劉 信芳: 複合センシングによる低速回転機械の状態診断に関する研究, 高田技報, Vol.18, pp. 4-9, (2008)
- 5) 劉 信芳, 馮 芳, 河村正樹: 電流信号多重解析による回転機械系の状態診断, 高田技報, Vol.21, pp. 20-25, (2011)
- 6) 劉 信芳, 早瀬勝也, 馮 芳: “半導体工場向け真空ポンプの状態監視診断技術”, プラントエンジニア, Vol.41, No.4, pp60-63 (2009)



劉 信芳 Xinfang LIU
 (株)高田工業所 技術本部 技術部部长
 情報工学博士