

# 鉄鋼プラント向け 省エネ・予防保全ソリューション

Energy-Saving and Preventive Maintenance Solutions for Steel Plants

崎山 康行

久保田 馨

堀川 徳二郎

■SAKIYAMA Yasuyuki

■KUBOTA Kei

■HORIKAWA Tokujiro

鉄鋼プラントで東芝グループは、高速リアルタイム制御ネットワークTC-net™ 100上の全制御データを長期間にわたり保存可能なデータベース (uDB) システムを製品化し、ユーザーの最終製品の品質管理支援システムとして活用している。更に高速・大容量化を実現したTC-net™ 1Gを開発し、従来に比べ広範囲のデータを収集することが可能になった。

東芝グループは、扱うデータ種別を増やしたuDBを活用して、鉄鋼プラント全体を対象としたエネルギーソリューション、及び鉄鋼プラント設備で使用される大形電動機・誘導加熱装置用余寿命診断アプリケーションを提供している。

The Toshiba Group has released the uDB plant information database system, which can save all control and process data transmitted over the TC-net™ 100 high-speed real-time network over a long period, as a support system for the quality control of end products in steel plants. Furthermore, the newly developed TC-net™ 1G information and control network for next-generation control systems, which achieves high-speed data transmission with large-capacity memories, makes it possible to collect a broader range of control and process data in plants compared with conventional systems.

The Toshiba Group is supplying energy-saving solutions and preventive maintenance solutions for large-capacity motors and induction heater control systems of steel plants utilizing the uDB system and TC-net™ 1G.

## 1 まえがき

高速リアルタイム制御ネットワークTC-net™ 1Gが開発され、併せて鉄鋼プラントデータベース (uDB) システムの製品化により、大量のデータを蓄積し伝送する環境が整えられた。一方、昨今のエネルギー動向について考えると、東日本大震災後の電力供給力不足などエネルギー逼迫 (ひっばく) 問題に対する対策が急務となり、エネルギーの最適管理を実施することが強く求められている。

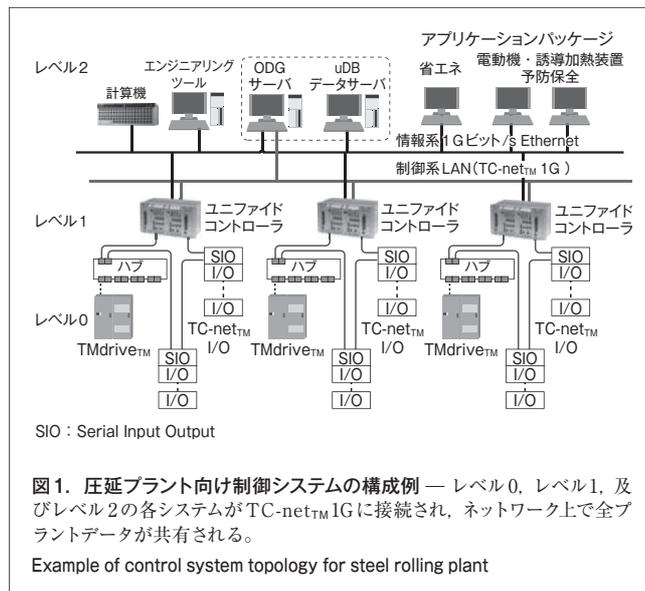
このような状況のなか、鉄鋼プラント制御システムにおいて東芝三菱電機産業システム (株) は、製品の品質や設備の保全・信頼性を常に意識し、電力だけでなく水や、ガス、熱、空気などが生成するエネルギーを最小化するソリューションを提案している。

ここでは、新しいアプリケーションとして、TC-net™ 1Gの適用と併せてuDBを活用したエネルギーソリューション及び大形電動機・誘導加熱装置用余寿命診断アプリケーションについて述べる。

## 2 鉄鋼プラント制御システムの概要

### 2.1 TC-net™ 1Gを適用した鉄鋼プラント制御システム

汎用ネットワーク技術の発展に伴い、鉄鋼プラント制御システムでもプラント情報の大容量化と高速処理が求められており、それに対応するため、次世代制御システムの制御系ネットワークとして、TC-net™ 1Gを開発した。



圧延プラントの制御システム構成例を図1に示す。制御系ネットワークにTC-net™ 1Gを、情報系ネットワークに1 Gビット/sのEthernetを適用している。TC-net™ 1Gのコモンメモリで、レベル0 (ドライブ装置) や、レベル1コントローラ、I/O (入出力)、HMI (ヒューマンマシンインタフェース)、レベル2 計算機などの全ての情報を共有している。

### 2.2 uDBシステム

従来、制御系ネットワーク上のデータは、各制御レベルで指定された情報が蓄積されていた。これに対してuDBは、

TC-net<sub>TM</sub> 100及びTC-net<sub>TM</sub> 1Gのリアルタイム制御データと、ドライブ装置及び、電気品、計算機の制御パラメータやイベント情報、製造指示及び実績情報などの鉄鋼プラント情報を長期間保存し、検索サーバを用いて容易に取り出すことができる。ODG (Online Data Gathering) は、TC-net<sub>TM</sub> 100及びTC-net<sub>TM</sub> 1G上のデータ収集装置として、uDBシステムの収集エンジンとしての機能を担っている。

### 2.3 アプリケーション

uDBシステムに蓄積されたデータは、最終製品の生産管理や製品の品質情報の管理に役だっている。次章以降に、従来にはなかった機能として、鉄鋼プラント全体の省エネ、及び大形電動機や誘導加熱装置などプラントの最重要機器の予防保全と関連付けたアプリケーションについて述べる。

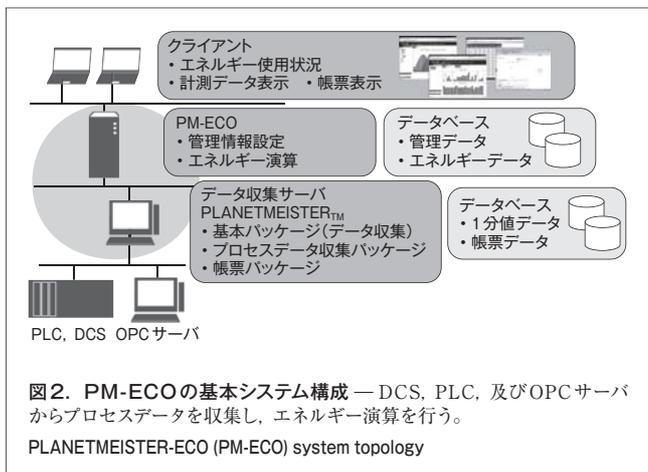
## 3 エネルギーソリューション

近年、インバータの導入や、高効率モータの設置が広く進められてきたこともあり、機器単体をベースとした省エネ活動だけではいっそうの効果を達成することが難しくなっている。そこで、操業中の全エネルギーを把握し、モデル制御や予測制御による計画的な操業を行うことがこれまで以上に重視されている。ここでは、当社が開発したエネルギーソリューションの事例として、エネルギー管理システム、及び熱延ラインに適用可能なモデル制御について述べる。

### 3.1 エネルギー管理システム

エネルギーの“見える化”は、エネルギー使用の傾向から省エネ対策の方針を考えるための第一歩として、重要なツールである。また見える化を行う際には、製造部門から動力部門、更にはスタッフ部門が一体となって、工場をはじめ企業全体に至るまでのエネルギーを横断的に管理することが求められている。

**3.1.1 PM-ECO** 当社のエネルギーモニタリングシステムPLANETMEISTER-ECO (以下、PM-ECOと略記)の基本構成を図2に示す。



PM-ECOは、現場側ではDCS (Distributed Control System), PLC (Programmable Logic Controller), 及びOPC (Object Linking and Embedding (OLE) for Process Control) サーバとの接続をサポートする。データ収集サーバPLANETMEISTER<sub>TM</sub>が各ユーティリティのプロセスデータや操業データを収集し、PM-ECOは収集されたデータを利用して管理情報設定やエネルギー演算を行う。クライアントPC (パソコン) 側からもエネルギーデータを監視することができる。

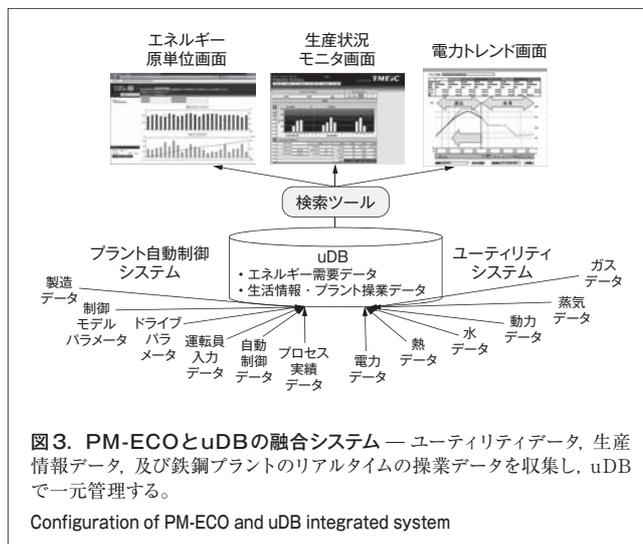
むだなエネルギーを見つけだし省エネに結びつけるにあたっては、いかにして収集されたデータを管理、分析するかを考慮する必要がある。PM-ECOでは、目標対実績比較表示、設備や製品ごとのエネルギー原単位表示、及びエネルギー改善効果表示の各機能を備えている。そのため各表示機能を、エネルギー原単位を活用した計画 (Plan)、リアルタイム表示による活動 (Do)、目標対実績比較表示による確認 (Check)、改善効果表示による対策 (Act) に割り付け、PDCA管理サイクルを完結することが可能である。

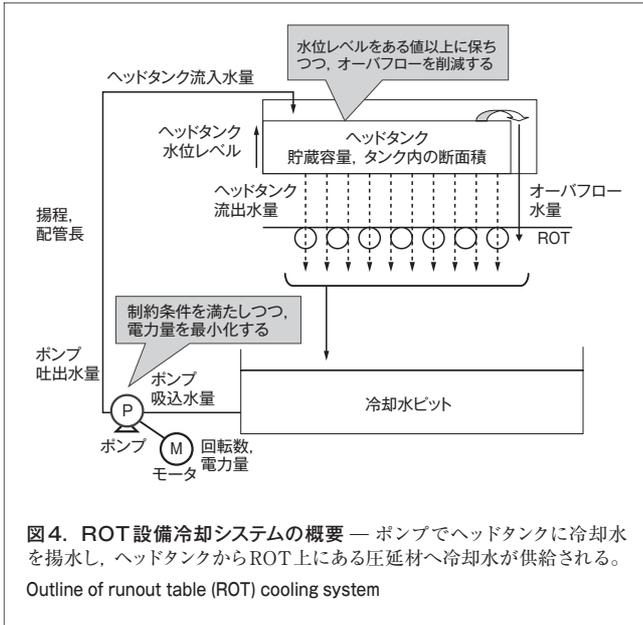
### 3.1.2 PM-ECOとuDBの融合システム

巻取りコイルごとのエネルギー原単位の計算には、エネルギー情報だけでなく、製品情報及びトラッキング情報も組み合わせる必要がある。熱延ラインの高速なトラッキング情報に対応するため、当社は、PM-ECOとuDBを融合したシステムを採用している(図3)。このシステムでデータを収集し一元管理することにより、詳細なエネルギー原単位把握だけでなく、操業情報とエネルギー情報の相関解析を支援することができる。

### 3.2 熱延ラインにおける制御モデル

熱延ラインにおけるポンプの省エネとして、ランアウトテーブル (ROT) のポンプ運転制御 (RPC: ROT Pump Control) に着目した。RPCとは、ROT上で搬送される圧延材の冷却に使用される冷却水を冷却ピットからヘッドタンクに揚水するポンプ制御の総称である。





ROT設備冷却システムの概要を図4に示す。

**3.2.1 冷却水流量予測計算 (CWPC: Cooling Water Prediction Calculation)** 巻取り温度制御 (CTC: Coil Temperature Control) の情報を用いて水量の計算を行っている。CTC情報は圧延材がROTに搬送される前にレベル2計算機で算出される。そのため、圧延材がROTに到着する前にCTC情報をCWPC用コントローラに入力することができるので、圧延材全長に対する各時刻の冷却水の流量を予測することが可能である。これにより、ヘッドタンクで蓄えなければならない水量についてもあらかじめ計算することができる。

**3.2.2 ヘッドタンク水量モデル** ROTで用いる冷却水はROT上にあるヘッドタンクから供給される。ヘッドタンクに貯水される冷却水は、圧延ライン下部の冷却水ピットからポンプで揚水される。

ポンプの揚水が不足した場合、ヘッドタンクの水量が少なくなってROTでの冷却に必要な水量を流出できなくなる。一方、ポンプの揚水が過剰の場合、ヘッドタンクが満水となりヘッドタンクから水があふれるオーバーフロー状態が生じる。そのため、ヘッドタンクに適量の水量を保つことがポンプの省エネのため重要になる。

ヘッドタンク水量モデルでは、ポンプによってヘッドタンクに供給される水量とヘッドタンクから流出する水量、すなわちCWPCで計算される冷却に必要な水量とオーバーフローする水量の和からヘッドタンク水量を計算する。

**3.2.3 適用結果** この水量モデルでのCWPCを適用した予測制御を用いて、インバータによるポンプの変速運転を行うことで、ポンプの負荷を減らし省エネを実現する。

ヘッドタンクのセンサからタンク水位レベル信号を取り込んで水位レベル制御を行う従来方式では、43%の電力削減率

が得られている。更に、ここで述べた制御モデルを適用した場合、従来方式に加えて約20%の効率改善を見込めることがシミュレーションで確認できており、約60%の電力量削減効果が実現可能であると予測される。

## 4 大形電動機・誘導加熱装置用 余寿命診断アプリケーション

### 4.1 大形電動機

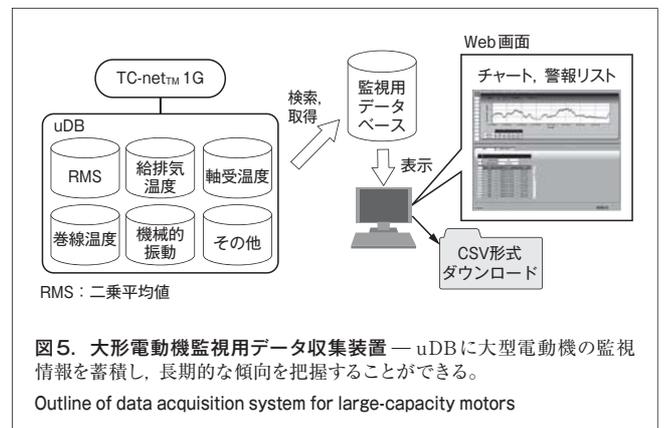
従来から、圧延主機などの大形電動機の状態を診断するため、巻線温度や軸受温度などを監視し、あらかじめ設定したしきい値を超えると警報を出力するという方法が行われている。また、監視データを時系列でPCに保存、表示し、ペンレコーダでチャート出力して傾向監視を行うこともある。しかし、大形電動機の予防保全のためには、10年以上の長期間にわたって傾向監視を行う必要があるほか、操業状況も重要な影響要因になっていた。そのため、従来の方法では、膨大な時間と処理が必要であるのに対して、その効果は限定されていた。

今回開発した診断アプリケーションは、TC-net™ 1Gに接続されたuDBシステムから、必要なデータを検索、取得し、1か月間のデータなどを単純な操作で表示できるようにした。

図5にデータ収集装置の機能概要を示す。時系列データはWeb画面で表示し、必要に応じてCSV (Comma Separated Values) 形式のデータでダウンロードすることができる。また、uDBシステムを導入していない鉄鋼プラントであっても、接続した外部PCへTC-net™ 1Gデータをリアルタイムに送信することで、診断アプリケーションを設置することが可能である。

### 4.2 誘導加熱装置

圧延ラインに設置される誘導加熱装置は、他の電気品とは異なり、圧延ライン上に設置されることから設置環境が厳しく、数か月単位での定期的なメンテナンスが必須の装置である。圧延材のふく射熱や圧延装置の冷却水の影響により限度を超えて劣化した場合、修理が大がかりとなることから、予防保全のユーザーニーズが非常に高い装置である。



そのため大形電動機と同様に、TC-net<sub>TM</sub> 1GとuDBを活用して、誘導加熱装置のコイル温度などを監視し長期間のデータの傾向監視を行うことで、予防保全に結び付けるシステムを開発している。

## 5 今後の展望

### 5.1 エネルギーソリューション

TC-net<sub>TM</sub> 1Gの適用による分析データ容量の拡大といった特長を生かし、以下に示すような開発を進めている。

**5.1.1 ラインデマンド予測モデル** PM-ECOとuDBの融合システムにより、コイルごとの電力量、更には機器単位の電力量を把握することが可能になった。これによりラインデマンド予測モデルでは、工場受電点の電力値から将来の電力デマンドを計算する従来型の“長期予測モデル”に加えて、機器単体の電力値からボトムアップ式に工場全体の電力値を計算する“短期予測モデル”を適用することができる。このような短期予測モデルを活用することにより、これまで予測が難しかった急峻(きゅうしゅん)なトレンドの取得にも対応できると考えている。

**5.1.2 製鉄所全体のエネルギー最適化** レベル1コントローラ、I/O、HMI、及びレベル2計算機の全情報をTC-net<sub>TM</sub> 1Gで共有し、各ユーティリティを最適化できる。

当社は、製鉄所全体の電力最適化及び平準化のため、TC-net<sub>TM</sub> 1Gを省エネ基幹ネットワークとして位置づけ、各工場のデマンド管理データ及び自家発電データの運用に加え、新たに蓄電池も連結したシステムを開発する予定である。

### 5.2 大形電動機及び誘導加熱装置の余寿命診断アプリケーション

大形電動機や誘導加熱装置では、ユーザーが定期点検を行い、当社でも絶縁診断などを実施することがあるが、重大な故障は突発的に発生することが多い。そこで、当社は4章で述べた診断アプリケーションをベースに、インテリジェントな診断機能を付加した余寿命診断アプリケーションを開発中である。

大形電動機及び誘導加熱装置の余寿命診断アプリケーションの概念を図6に示す。例えば、大形電動機の重大な故障は、過大な巻線温度や電流の継続だけでなく、機械的な衝撃や振動、運転停止や再開の繰返しなどの複合的な要因により発生する。

uDBは、鉄鋼プラントのあらゆる運転データのリアルタイムデータベースとなっているため、従来の巻線温度や電流の二乗平均値(RMS)などの監視だけでなく、圧延プラントの操業状態との相関に着目したモデルの作成が可能である。この相関モデルとTC-net<sub>TM</sub> 1G上のデータを比較することで、大形電動機や誘導加熱装置の故障を未然に防ぐことができる。また、データを蓄積していくことで相関モデルの精度を向上させ、予防保全だけでなく余寿命診断に活用することも可能になる。

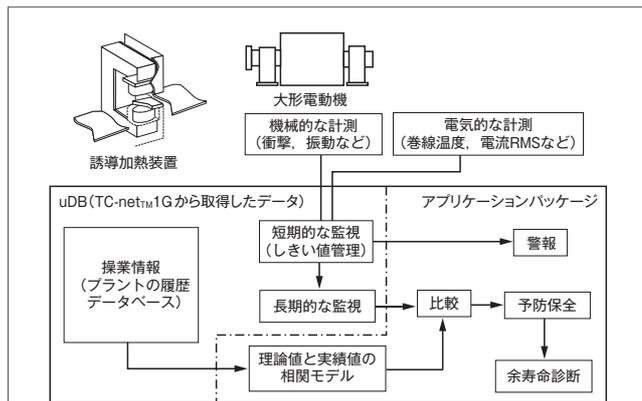


図6. 大形電動機及び誘導加熱装置の余寿命診断アプリケーションの概念 — 従来の巻線温度や電流RMSなどの監視だけでなく、圧延プラントの操業状態を考慮した相関モデルにより余寿命診断を行う。

Application of preventive maintenance solutions to large-capacity motors and induction heater control systems

## 6 あとがき

鉄鋼プラント制御システムにおいて、TC-net<sub>TM</sub> 1GとuDBを組み合わせたシステムのアプリケーションパッケージを製品化した。今後も、これまで当社が培ってきた制御システム技術を継承し発展させることで、鉄鋼プラントに寄与していく。

## 文献

- 澤田尚正 他. 鉄鋼圧延プラントの制御システム技術. 東芝レビュー. 62, 10, 2007, p.34 - 37.
- 坂本 匡 他. 鉄鋼や紙パルプ分野における制御システム. 東芝レビュー. 64, 10, 2009, p.28 - 32.
- 久保田馨 他. “熱延設備における省エネルギー技術”. 電気学会研究会資料, MID-10-023, 広島, 2010-09, 金属産業研究会, 2010, p.41 - 45.
- 岡部基彦 他. 1 Gビット/s の高速伝送で大規模プラントを一括して監視制御する情報・制御ネットワーク TC-net<sub>TM</sub> 1G. 東芝レビュー. 66, 7, 2011, p.58 - 61.



崎山 康行 SAKIYAMA Yasuyuki

東芝三菱電機産業システム(株) 産業第二システム事業部システム技術第三部課長。鉄鋼プラントのシステムエンジニアリング業務に従事。

Toshiba Mitsubishi-Electric Industrial Systems Corp.



久保田 馨 KUBOTA Kei

東芝三菱電機産業システム(株) 産業第二システム事業部システム技術第三部。鉄鋼プラントのシステムエンジニアリング業務に従事。

Toshiba Mitsubishi-Electric Industrial Systems Corp.



堀川 徳二郎 HORIKAWA Tokujiro

東芝三菱電機産業システム(株) 産業第二システム事業部システム技術第一部技術主査。鉄鋼プラントのシステムエンジニアリング業務に従事。計測自動制御学会会員。

Toshiba Mitsubishi-Electric Industrial Systems Corp.