訃報

名誉会員　**粟野　誠一**　君

平成19年９月４日96歳にて逝去されました。同君は本学会の前身「日本ガスタービン会議」より役員・評議員を歴任されました。また、我が国のガスタービン工業の発展のためにも大いに貢献されました。ここに謹んで哀悼の意を表します。

略　歴

昭和９年３月	東京帝国大学工学部機械工学科　卒業
昭和９年４月	東京帝国大学航空研究所嘱託
昭和14年４月	東京帝国大学助教授、航空研究所所員
昭和22年１月	日本大学工学部教授
昭和38年11月	南極地域観測計画専門委員会委員
昭和45年９月	国立極地研究所運営協議員
昭和55年12月	日本大学名誉教授
昭和56年４月	(財)天野工業技術研究所理事長

本会関係略歴

昭和47年６月	入会
評議員	（ＧＴＣＪ　１，２，４期）
	（ＧＴＳＪ　１，２，３，４，５期）
監事	（ＧＴＣＪ　３期）
昭和56年４月	名誉会員

粟野誠一先生を偲んで

筒井　康賢
（高知工科大学）

粟野誠一先生は昭和９年３月に東京帝国大学工学部機械工学科を卒業され，同年４月には東京帝国大学航空研究所嘱託となられて，昭和14年４月から昭和21年３月まで東京帝国大学助教授，昭和14年４月から昭和20年12月まで東京帝国大学航空研究所員を勤められている。昭和22年１月には日本大学工学部教授に就任され，昭和33年１月には工学部が理工学部と名称変更し理工学部教授となられ，昭和55年には日本大学を定年退職され名誉教授になられている。

日本大学を退職されたあと，昭和56年には，昭和43年から理事を務められていた（財)天野工業技術研究所の理事長に就任し，昭和62年まで勤められ，その後は理事，平成10年からご逝去されるまで評議員を務められている。

粟野誠一先生は，航空研究所では，昭和13年５月に周回航続距離世界記録を樹立した航研機，太平洋戦争中の昭和19年７月に再度，周回航続距離世界記録を樹立したA-26のエンジンの開発を担当され，日本大学では，レシプロエンジンやガスタービンの研究と教育をなされている。また，先に日本大学教授になられた粟野先生は，航空研究所時代の同僚であった木村秀政先生を日大に誘われて，モーターグライダ・シグナスや後の人力飛行機の開発に到るきっかけを作られている。

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

追悼文を書かせていただいているわたしが粟野先生に初めてお会いしたのは，昭和54年頃，白倉昌明先生の主査で日本機械学会の流体工学委員会に設置された風力発電システム分科会の会が，当時の東京大学宇宙航空研究所で開催された時であった。その時に他の先生にわたしが「水町長生先生の弟子です」と自己紹介したところ，横に座っていらっしゃった粟野先生が「そうか，君は水町君の弟子か」と声をかけて下さった。粟野先生は昭和９年，水町先生は昭和15年に，それぞれ東京帝国大学工学部機械工学科を卒業され，昭和15年から20年にかけてお二人が同時に航空研究所に所属されていて，正確な記録はないが，田中敬吉教授の下にいらっしゃったようである。粟野先生にとって水町先生は大学の後輩でもあるとともに職場の後輩であり，わたしはその後輩の弟子として温かく声をかけていただき，わたしと粟野先生のお付き合いが，それも粟野先生と水町先生が若い頃に勤務された航空研究所の地から始まった。

風力発電システム分科会が終了すると直接にお目にかかる機会はぐっと少なくなったが，10年ほど前に東京大学先端研の客員教授をされていた作家の立花隆さんが作られた「先端研探検隊」が，航空研究所があった先端研の構内を回っていろいろなものを探し出したときに，歴史の証人あるいは鑑定人として登場したのが粟野誠一先生である。当時の先端研探検隊のホームページには先生のお名前が何度も出てきてお元気な様子が伝わってきた。

「君は水町君の弟子か」と声をかけて下さった粟野先生の温かいお顔を思い出しながら，改めて，先生のご冥福をお祈りする次第です。

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

特集：原動機・発電設備へのIT技術の応用（遠隔監視技術）

ガスコージェネレーションにおける遠隔監視システム（Helionet21）

錦織　稔[*1]　NISHIKIORI Minoru
左近司　樹生[*1]　SAKONJI Tatsuo
高木　大介[*2]　TAKAGI Daisuke

キーワード：ガスコージェネレーション，遠隔監視，モニタリング，傾向・状態監視，故障診断

1．はじめに

株式会社エネルギーアドバンス（以下ENAC）は，オンサイトエネルギーサービス事業をはじめとする，地域エネルギーサービス（地域冷暖房）事業，コージェネレーション設備工事・メンテンス事業の3事業を柱として省エネルギー・CO_2削減，お客様の利便性・省コストを推進していくため，2002年に東京ガス株式会社から分社して誕生した会社である。

地域エネルギーサービス設備の運転監視は各サービス地域で行われているが，これ以外のいわゆるオンサイトのガスコージェネレーション設備等は遠隔監視センター（Helionetセンター，千代田区神田，以下センター）にて24時間遠隔監視し，設備の安定稼動などをサポートしている。

近年，ガスタービン・ガスエンジン等の発電設備の普及台数は増加傾向にあり，その導入先（地域）も東京を中心とした広域圏へ拡大してきている。

遠隔監視システムは，これら設備の運転・運用管理を行っていくために必要不可欠な基盤システムであり，省エネルギー，省コスト，環境性能向上，設備管理の省力化など，多様なお客様ニーズに最新のIT技術を利用して応えていくことが求められている。

センターにHelionet21遠隔監視システムを設置し，警報監視，故障原因の分析，予防保全，エネルギーサービスデータの分析など，原動機だけでない設備全体の監視を行っている。また，メーカの監視システムは，原動機の詳細な分析に用いている。

以下に，Helionet21遠隔監視システムの概要及び活用事例を紹介する。

2．Helionet21システムの概要

2.1　ENACにおける遠隔監視の歩み

メンテナンス業務の支援・効率化によるコージェネレーション設備の信頼性向上を目的として，1994年の東京ガスブランドコージェネレーションパッケージ「ジェネまる」の市場導入にあわせ簡易型の遠隔監視システムをスタートした。

1997年から高性能遠隔監視システム（愛称Helionet）を開発し，1999年から本格的に稼動を開始している。また，同時に24時間の監視・出動態勢も整えた。その後2003年には増加する物件や大型化する原動機に対処するため大幅なシステム機能の拡充を行いHelionet21システムとして生まれ変わった。

そして2006年からはコージェネレーション設備だけでなく吸収式冷温水機，ガスボイラ，空気圧縮機，純水装置，LNGサテライトなどのユーティリティーも含めた総合ユーティリティーサービスを担うシステムへと進化している。

ENACがメンテナンスを行っているガスコージェネレーション設備台数の推移を図1に示す。

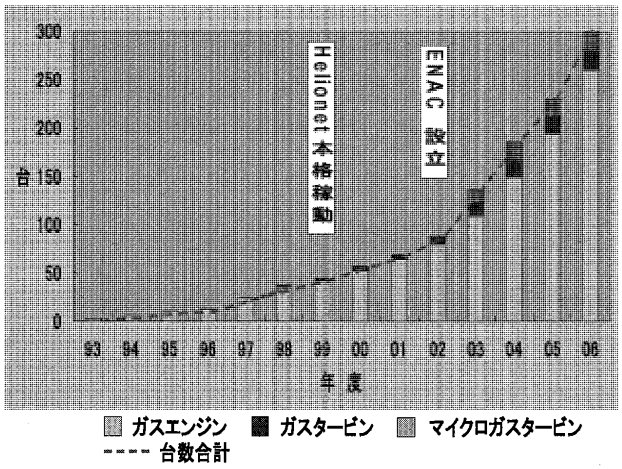


図1　メンテナンス台数の遷移

2.2　システム構成

Helionet21は，お客様のコージェネレーション機側に設置したデータ収集端末とセンターとをデジタル回線で結んだ遠隔監視システムである。

センターと端末間は双方向通信を行えるため，定時通信以外にも，センターから任意にデータを収集すること

原稿受付　2007年9月20日
＊1　㈱エネルギー・アドバンス　カスタマー技術部
＊2　㈱エネルギー・アドバンス　ソリューション企画部
〒101-0054　千代田区西神田錦町2－11

Download service for the GTSJ　member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

ができ，現地の状況を即座に把握することができる。環境，気候などを考慮して異常状態判別値を見直し，センターから端末に対して即時に設定可能となっている。また，社内のOAネットワークとは切り離された専用ネットワークを持っており，高いセキュリティーを保ちながら社内の各事業所で利用することができる。図2にシステム構成を示す。

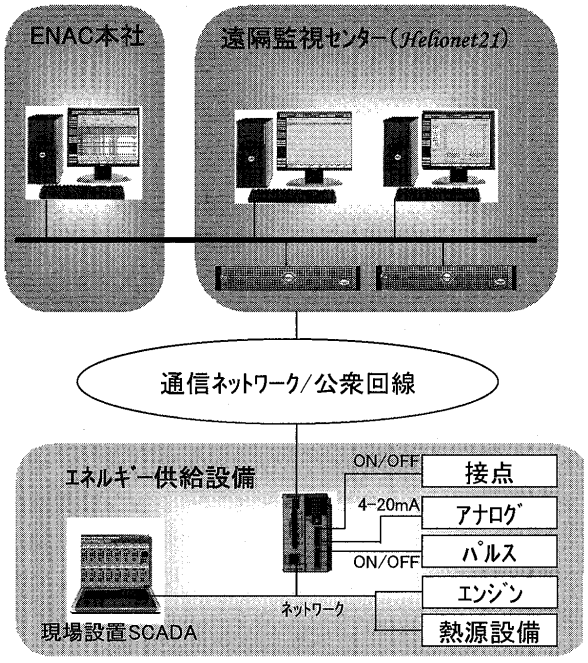


図2　概略システム構成図

2.3　データ収集端末

データ収集端末は通信やハードワイヤにより，アナログ・パルス・ON/OFF信号を蓄積し，センターからの要求に応じてデータを送信する，また故障発生などの緊急時は直ちにセンターに警報内容を通報するものである。以下に機能を示す。

1）データ保存

運転データを1分間隔で1カ月分保存している。加えて故障発生時には端末に入力されている全データについて1秒間隔のデータを発生前4分，後5秒分保存できる。

2）異常判定

全てのアナログ信号に対して，上限値，下限値，変化率の異常状態判別値を設定し，異常を検知した場合に警報を発報する。また，判別値はセンターから任意に設定可能となっている。

3）リアルタイムデータ

WEB機能により端末に入力されているリアルタイムデータをセンターから監視できる。

4）データ収集端末の種類

入力点数により，大小2種類の端末を使い分けている。最大入力は大規模用で約500点，小規模用で約140点である。最近では，従来の大規模用端末と同等の機能をもち，約1/3の低コスト端末を開発し，2007年度から運用を開始している。

5）現地でのデータ監視

お客様向けの監視端末用パソコンを接続し，警報監視や日報・月報の作成ができる。

2.4　サーバ

センターのサーバは通信サーバとデータベースサーバから構成されている。端末から転送されたデータは通信サーバで受信した後，データベースサーバに格納される。クライアントはデータベースサーバにアクセスし，データを抽出，画面表示を行う。また，主なサーバは2重化しており，異常を速やかに検知しバックアップ側へ切り替わることで運用を続行することができる。以下に主な機能を示す。

1）状態表示

各サイトの運転状態（正常/異常/メンテ中等）を一覧表示する。

2）トレンド表示

収集した運転データを数値，トレンドグラフで表示する（図3参照）。

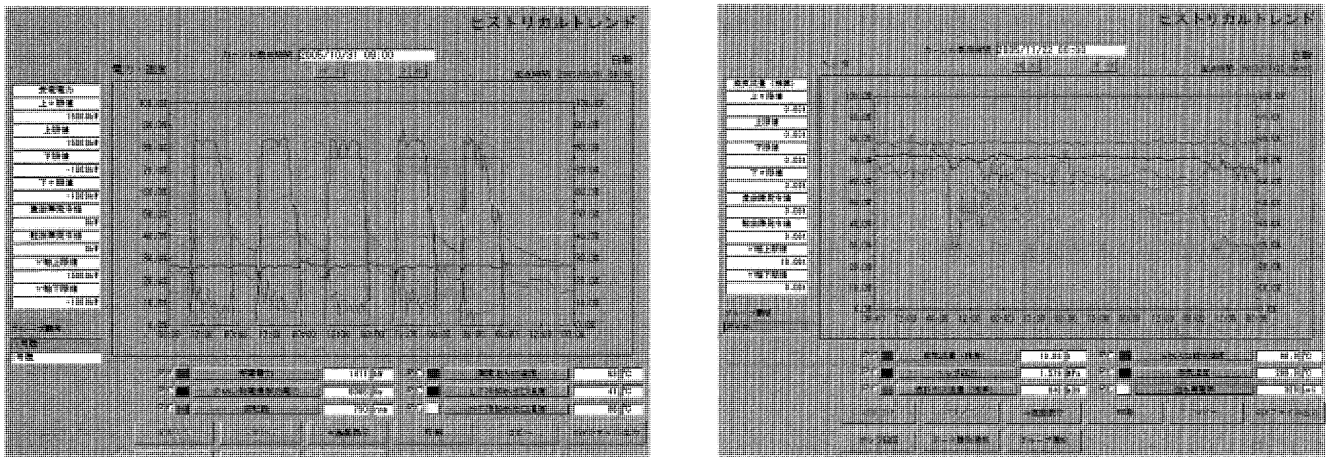


図3　トレンドグラフ例

Download service for the GTSJ　member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

3）イベント表示

起動・停止，遮断器開閉，故障発生など各サイトで発生したイベントを一覧表示する。

4）帳票表示

各サイトの運転データを日報，月報，年報の帳票およびCSVファイルにより出力する。

5）メール通報機能

重要な警報などが発生した場合には指定した携帯電話に通報することで，センター勤務者だけでなくサイトの担当者にいち早く情報を伝達できる。

6）データサービス機能

Helionet21で保有しているデータを日報，月報などに加工し，WEBサーバ経由でお客様に提供している。お客様毎に専用画面を設け，IDとパスワードで高いセキュリティーを保っている。

これらのデータを専門の技術者が24時間体制で監視している。図4にセンターの写真を示す。

図4　遠隔監視センター

3．監視システムの活用事例

遠隔監視システムは，故障発生の通報や故障原因解明のためのデータ収集などの機能をベースに，設備の安定稼動のための傾向・状態監視，異常事象の早期発見や，エネルギー管理・運転管理サポートのためのツールへと高度化，多様化してきており，その活用事例を幾つか紹介する。

3.1　傾向・状態監視

ガスタービン・エンジン等の原動機設備は緊急停止した場合の影響が大きく，かつ計画停止することも容易でない場合もあり，いかに処置対応を必要とする設備異常を早期に検出できるかが，監視システムとして重要である。

図5に一般的な原動機の傾向・状態監視技術の機能概要を示す。監視システムによる状態解析（異常状態解析）の多くは，いわゆる軽故障・重故障などあらかじめ設定されたリミット値で管理し，リミット値を超えた場合に監視員に異常発報し，収集されたデータから異常原因追及・対応を行うものである。（レベルⅠ）

軽故障設定値には至らないが，通常の運転範囲を逸脱した場合には，その影響が拡大し故障停止に至る可能性もある。軽故障・重故障設定リミット値は各メーカで設定されたものでありこれを変更することは適切でないため，Helionet21では，必要に応じ予知故障リミット値を追加設定し，監視している。

図6はガスタービン潤滑油供給温度の監視例である。潤滑油温度が上昇し予知故障設定に至った場合には異常発報され，潤滑油温度調節弁などの潤滑油系統の異常や，冷却水熱交換器汚れ・循環水量低下などの冷却水系統異常などの不具合の可能性があり，確認対応を行う。また，これらの傾向異常はお客様（ユーザー側）の日常点検に

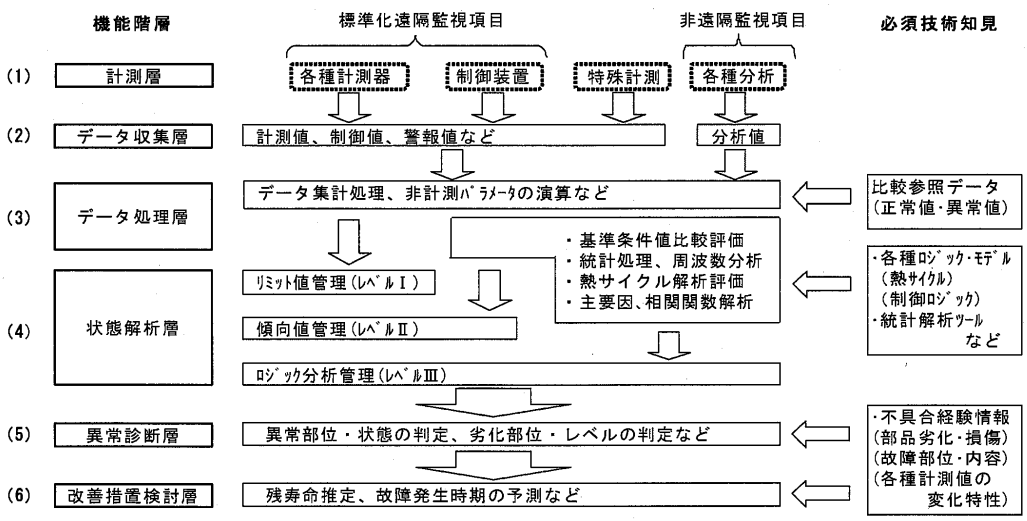


図5　原動機設備監視技術概念図

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

より発見されることもあるが，このような監視を行うことにより，お客様管理をサポートすることも可能となる。

図7はDry低NOx制御ガスタービンにおける排ガスNOx上昇の事例である。運転データ収集より，NOx上昇とともに燃焼ノズル差圧が大きく変化し，タービン入口温度に変化を与えていることより燃料供給系統の異常が考えられた。運転状態の点検の結果，パイロット燃料遮断弁が閉信号にも関わらず全開となっていることが確認され，当該遮断弁の点検修理を行い，速やかに復旧することができた。原因は動作用電磁弁の故障であった。

近年，リミット値だけでは検出しきれない異常解析として，傾向・状態監視技術（トレンドモニタリング技術）を適用した方法の重要性が広く認識されるようになり，ガスエンジンコージェネレーション設備においては最も重要である点火系統のノッキング，失火防止のための評価指標を策定し，発生傾向をモニタリング，検知するシステムが大型機器を中心に適用されている。（レベルⅡ）

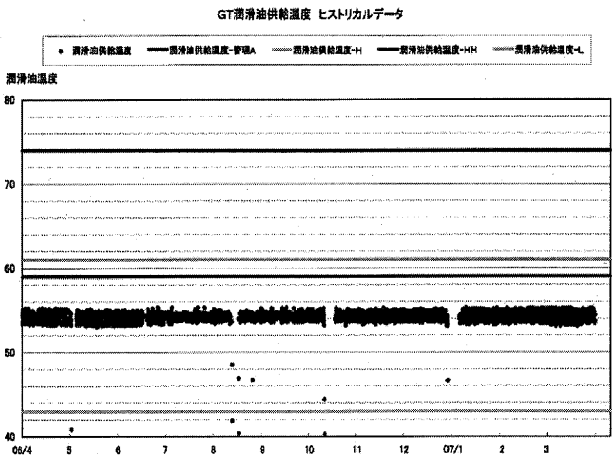


図6　潤滑油供給温度監視

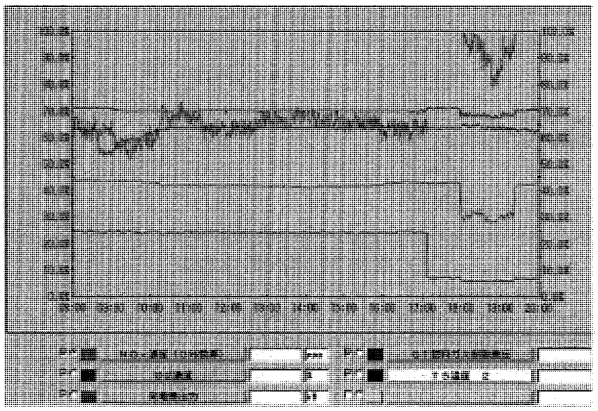


図7　異常トレンド例

3.2　ガスタービンにおける適用事例

ガスタービンコージェネレーション設備においては重点的にモニタリング監視する具体的項目の抽出，評価ロジックが難しく，関連技術やノウハウについての開発，適用がスタートした段階であるが，その事例を紹介する。

図8は2軸式ガスタービンの制御概念図（例）である。このガスタービンでは，自立運転中における負荷変動はPT軸回転数変化として燃料制御弁により，タービン入口温度は抽気弁により安定制御されている。タービン入口温度は運転負荷（%ロード）が高い夏場において上昇しやすくなり，リミット値までの余裕度が低下するため，予期せぬ運転負荷，負荷変動等があった場合に，温度が異常上昇する可能性があった。このため，タービン入口温度，抽気弁，運転負荷等の運転データを解析し，温度異常上昇防止のための評価指標，発報機能を追加設置することにより，安定稼動に結び付けている。

大型ガスタービン設備においては，マルチウエイ主成分分析（MPCA）を用いた燃焼系異常解析などが行われている。

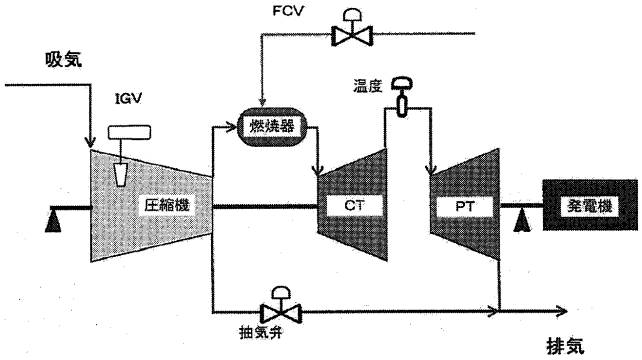


図8　ガスタービン制御概念図（例）

また，コージェネレーション設備の故障原因を統計分析し，再発防止に努めている。ガスタービンコージェネレーション設備の重故障停止（商用電源等の外部要因を除く）は原動機本体に起因するものは2割にも満たらず，制御計装システムや付属系統・機器による割合が多く，システム全体でのトータル監視が必要である。

3.3　ガスエンジンにおける適用事例

ガスエンジンコージェネレーション設備においては，原動機であるガスエンジンの部品点数が多いこと，特に大型機においてはアナログ出力点数が多いことに特徴がある。そのため数多くの故障項目が存在することから，最近はいかに故障が発報する前に異常な状態を検知するかに重点が置かれている。

2.3項にも紹介されている異常判定は現地端末に異常状態判別値を設定し，検知した場合には即座にセンターに発報するメリットがある。しかしながら，現地端末に複雑な判断ロジックを組み込むことが難しいこと，またガスタービンと異なり毎日起動停止する運用パターンで動いている物件が多いことなどから，リミット値管理，傾向値管理では異常状態を正しく検知することが困難である。

そのため，最近では従来型の監視方式に加え，一歩進んだロジック分析管理を一部機種に導入し始めている。

Download service for the GTSJ　member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

分析に若干の時間がかかるため，即座に警報を発報しないデメリットはあるが，複雑で高度なロジックを利用した分析を行うメリットは大きい。

ガスエンジンは原理的に間欠燃焼であるため，特に失火に起因するトラブルが多い。もちろん，何の予兆もなく突然失火にいたるケースも存在するが，多くは事前に予兆があり，排気温度に微小な変動として出現するケースや，発電出力変動として出現するケースが多い。そこで，取り込んだデータをセンター側でロジック分析を行うことで微小な変動を検知している。さらに豊富な実績データから得た経験値を加えることで，その変動要因が失火なのかそれ以外なのかを精度よく判定することができ，予防保全に活用している。

3.4 運用管理サポート

ガスコージェネレーション設備は，省エネルギー，CO_2削減などに極めて有効なシステムであり，安定して高効率で運転していくことが期待されている。

監視システムにより抽出された運転データは成績管理日報・月報（運転実績）として自動管理されるとともに，エネルギー管理，省エネサポートのためのデータとして運転実績・運転性能等を独自に管理・評価し，お客様をサポートしている。運用管理の例を図9に示す。

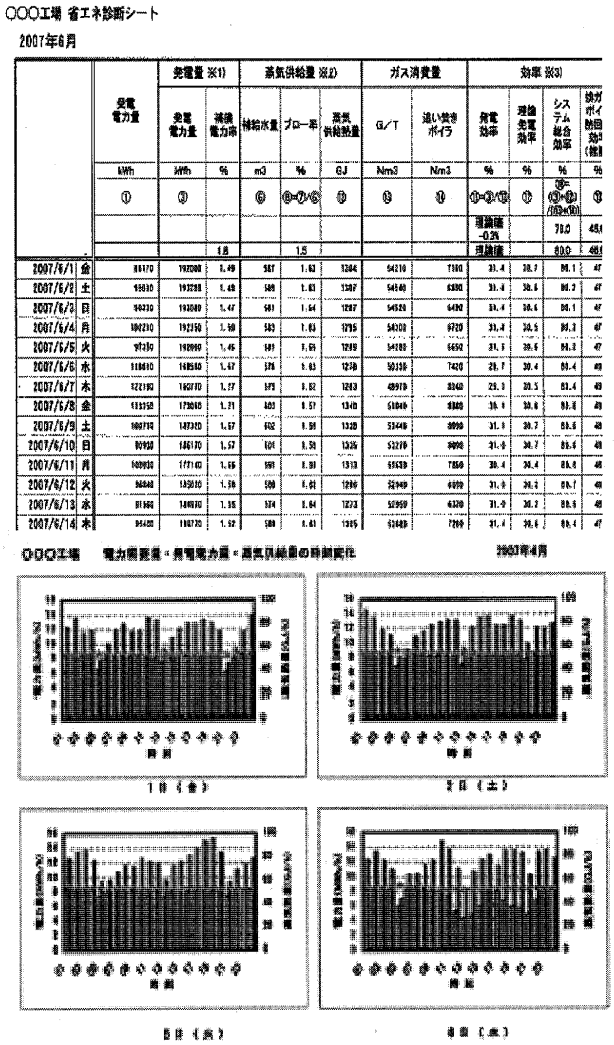


図9 省エネ診断レポート例

また，当社ではコージェネレーション設備以外のユーティリティ全体の運用サービスも行っており，Helionet21は現地中央監視システムと共有した総合監視システムとしての役割も担っている。図10にユーティリティサービスシステムの概念図を示す。

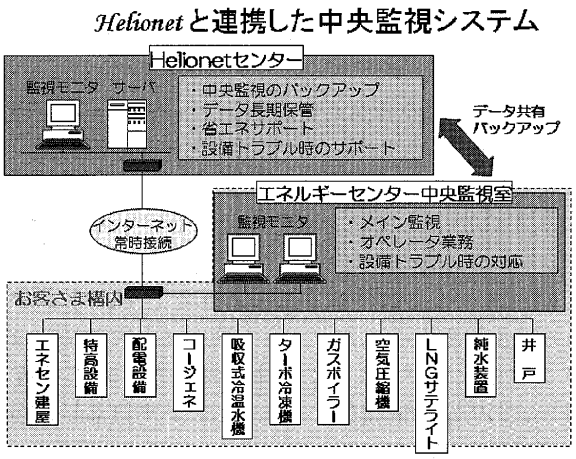


図10 ユーティリティサービスシステムの概念図

4．おわりに

遠隔監視システムの導入から8年が経過したが，センターから各サイトの運転状況を把握し，故障発生時の的確なサポートが可能になったことで，

・現場出動率の削減
・不具合箇所の特定あるいは推定
・修理時間の短縮

等々メンテナンス業務の質の向上ならびに効率化に寄与してきた。

監視システムによる傾向・状態監視技術については機能定義の統一化が図られた段階であり，今後，傾向監視技術を向上させていくために，状態解析をどのレベルまで実現させていくかを見極め，そのレベルに合ったデータ収集機能や分析機能のシステム化を進めていきたい。

また，各メーカでは独自開発がスタートした段階であると思われるが，原動機本体のみならず，システム全体の信頼性をにらんだバランスの取れた監視システムの適用，共有化に配慮いただければ幸いであり，近い将来，セキュリティも確保されたユビキタス（いつでもどこでも）監視が実現することを期待したい。

参考文献

(1) 森畑「コージェネ用遠隔監視Helionet（ヘリオネット）」，クリーンエネルギー，2000.7，日本工業出版

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

特集：原動機・発電設備へのIT技術の応用（遠隔監視技術）

発電設備へのIT技術の応用

（遠隔監視による異常診断・予防保全技術）

林　喜治*1　HAYASHI Yoshiharu
吉田　卓弥*1　YOSHIDA Takuya
後藤仁一郎*2　GOTO Jinichiro

キーワード：遠隔監視，異常診断，予防保全，性能診断，余寿命診断

1．はじめに

近年のIT技術の発達，特にインターネット等の通信技術の発達と普及により，大容量のデータ通信が低コストで実現できるようになった。当社では，発電設備へIT技術を応用し，遠隔での監視診断や保守作業を支援するシステムを構築している。

このシステムでは，遠隔監視診断として，インターネット経由で取り込んだプラントデータを利用したコンバインド型火力プラントの性能診断機能，産業用ガスタービンの性能診断機能，ガスタービン高温部品の余寿命診断機能を備えている。

遠隔監視データを用いて，発電設備の性能や材料損傷などの状態監視を実施することにより，分解点検することなく，事前に機器の劣化状況を推測できる。これにより，点検時期の判断や保守作業の内容策定に対する支援が可能になる。

さらに，プラント側とモニタリングセンタ側との間に地上通信基盤がない状況を想定して，通信衛星を用いて現地サイトと写真などのデータを相互に交換する保守作業支援システムを開発している。これにより，保守員は現地サイトでも正確な情報と的確な指示を得ることができるので，保守作業の信頼性向上と効率化に役立つ。

以下の章で，これらの遠隔監視診断・保守支援を提供するシステムについて紹介する。

2．コンバインド型火力プラントの遠隔監視診断

IT技術を応用したコンバインド型火力プラント（C/Cプラント）の遠隔監視診断を実施中である。C/Cプラントは，多くの機器で構成されるので，1つの機器で故障が発生すると，その影響がプラント全体に波及しやすい。このため，異常時に多数の機器で警報が出力する場合には，事態の把握が困難となる。このような点から，異常時に，どの機器が根本的な原因なのかを判断して提示することが有効である。その手段として，モデル比較法による異常診断がある。モデル比較法では，機器ごとにモデルを用意し，モデルの出力であるプロセス値の推定値と実測値とを比較する。各モデルは機器が正常に動作していることを仮定しているので，推定値と実測値に偏差が生じた場合，その機器に異常が発生していることが分かる。

図1にC/Cプラントの機器構成を示した。主要機器としてガスタービン（GT），蒸気タービン（ST），排熱回収ボイラ（HRSG）がある。また，HRSGは複数の熱交換器から構成される。図の例では，GTとSTが1つの発電機に連結される1軸型のC/Cプラントを示したが，GTとSTがそれぞれ別の発電機に連結する多軸型のプラント，あるいはGTが複数台で構成されるプラントもある。また，STから抽気した蒸気をプロセス蒸気として使用する例もある。このように，C/Cプラントには多様な機器構成がある。また，制御や状態監視に使用する計測センサの設置位置もプラントによって異なる。発電事業用プラントは汎用製品と違って，それぞれで仕様が異なるので，異常診断システムは種々の実機構成に容易に対応できる必要がある。このため，GT，ST，HRSGの解析機能を部品化し，それらを組合せてプラント全体の解析機能を構築する仕組みにすることにより，拡張が容易なシステムを実現している。

異常診断の処理方式を以下に示す。異常診断の処理は，GT，ST，HRSGそれぞれの要素モデルで実施する。各要素モデルは，機器の物理現象を数式化した物理モデル

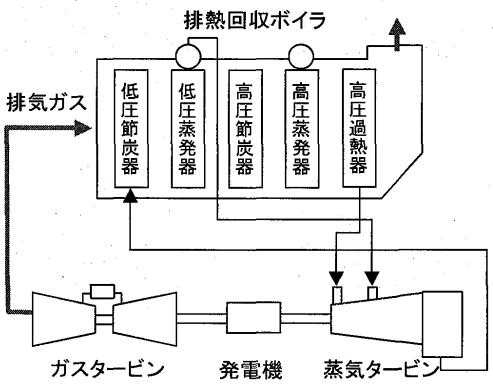


図1　コンバインドプラントの機器構成例

原稿受付　2007年9月12日
＊1　㈱日立製作所　電力・電機開発研究所
〒319-1221　茨城県日立市大みか町7－2－1
＊2　㈱日立製作所　火力事業部

Download service for the GTSJ　member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

を採用した。表1に，これら3つのモデルで推定する計測点（モデル推定値と実測値との比較対象）をまとめた。GTモデルでは，タービン翼形状から求めたガス速度を基に効率を評価し，GT出力とGT排気温度を推定する。STモデルは，主蒸気条件による基準内部効率の補正カーブを用いて熱落差を求め，出力と抽気蒸気温度（プロセス蒸気温度）を推定する。HRSGモデルは，各熱交換器でのガス-蒸気の伝熱量を求めて，熱バランスから節炭器・過熱器蒸気出口温度とボイラ出口ガス温度を推定する。特に，1軸型のコンバインドプラントの場合には，GT単体・ST単体での出力の計測が困難なため，GTとSTそれぞれのモデル解析結果を総合的に判断することが有効となる。

図2に遠隔監視システムのハード構成を示した。サイトとモニタリングセンタの間のデータ通信はインターネット経由で実施し，VPN（Virtual Private Network）を構築することでセキュリティを確保している。発電プラントの遠隔監視システムの中には，サイト側のサーバマシンで異常診断処理を行い，処理結果のみをモニタリングセンタへ送信するシステムがある。これに対し，当社で開発した遠隔監視システムでは，サイトからモニタリングセンタへプロセスデータを送信し，モニタリングセンタ側で異常診断処理を行う。当社システムにより，監視診断用アプリケーションのバージョンアップが容易となる（センタ側の作業のみで可能）。また，監視診断技術の漏洩が回避できる（センタ側で集中管理が可能）。

1秒間隔のプラントのプロセスデータがサイト側のプロセスDB（Database）に格納され，1日1回のバッチ転送により1日分のデータをモニタリングセンタへ送信する。リアルタイムでのデータ通信も可能であるが，異常診断処理は，事象が緩やかに進行する経年劣化を対象としているため，1日1回程度のデータ更新で十分と判断した。モニタリングセンタ側に転送されたデータはプロセスDBに格納され，診断サーバが1日分のデータを処理し，解析結果を診断DBに蓄積していく。モニタリングセンタ側のプロセスDBには，サイト側と同様に1秒間隔のデータが格納されているが，異常診断の解析は10分間隔に設定している。

診断DBに格納された解析結果は，WEBサーバの機能によりクライアントマシンで確認ができる。図3にクライアントマシンでの表示画面例を示した。図の例では発電機出力（GT/ST総合出力）のモデル推定値と実測値を比較したトレンドを表示している。両者の差が大きくなるほど，機器が正常状態から逸脱していると判断できる。クライアントマシンでは，ブラウザを通してサイト名，信号名，表示期間を指定することにより種々のトレ

表1 モデル推定の対象

機器	比較対象
GT	GT出力※ 排ガス温度
ST	ST出力※ プロセス蒸気温度※※
HRSG	節炭器出口蒸気温度 過熱器出口蒸気温度 ボイラ出口ガス温度

※ 1軸型プラントの場合はGT/ST総合出力
※※ STからの抽気をプロセス蒸気に使用の場合

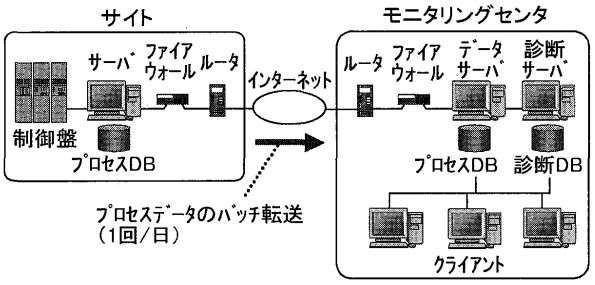


図2 遠隔監視システムのハード構成

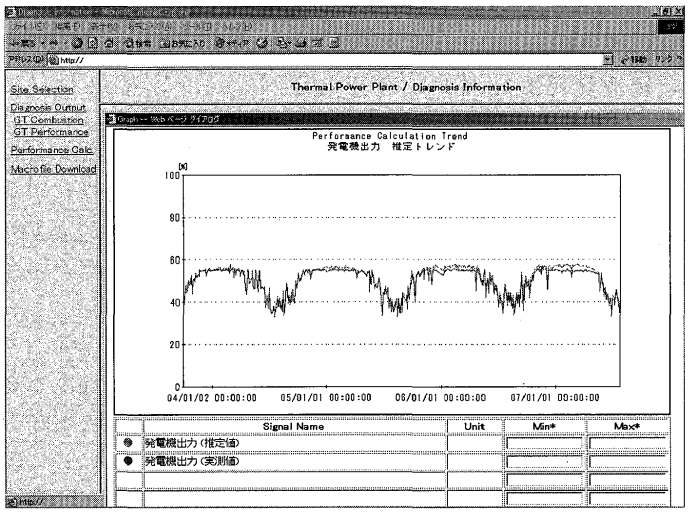


図3 クライアントマシンの表示画面例

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

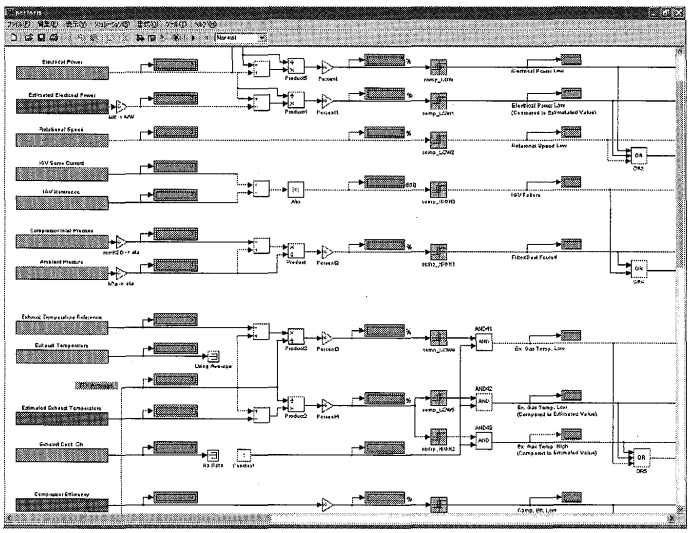


図4　FTAロジックの一部

ンドが表示できる。ブラウザがインストールされているコンピュータであれば，解析結果を表示できるので，クライアントマシンの台数の拡張は容易である。

ガスタービンに関しては，前記のモデル比較法による異常診断に加えて，FTA（Fault Tree Analysis）による異常原因の判定機能も実装している。図4にFTAロジックの一部を示した。FTAは，プロセスデータ，圧縮機効率などの効率計算値，及び前記のモデル推定値を入力として，AND/ORロジックにより異常原因の絞り込み処理を行う。FTAのロジックは，市販の数値解析ソフトウェアMATLAB®を用いて構築している。ソフトウェアのGUI（Graphical User Interface）機能を利用することにより，ロジックの構築・編修作業が容易になり，拡張性が実現できる。

FTAを用いた解析によって，GT異常の場合に，圧縮機・燃焼器・タービンといった異常個所の判別と，大まかな原因を特定できる。FTAで判別可能な異常原因は，GTに設置されたセンサの種類に依存する。すなわち，センサを多く設置するほど，より詳細な異常原因の特定が可能なロジックを構築できる。

3．産業用ガスタービンの遠隔監視診断

3.1　産業用ガスタービン診断に求められる特性

産業用ガスタービンは排熱回収ボイラと組み合わせたコージェネレーションとして用いられることが多く，その目的は省エネルギーによる電力・燃料のエネルギーコスト削減である。さらなるコスト削減の観点から，近年ではユーザが設備費用を負担しなくてもいいように，サービス事業者の資産として設備を設置し，運用によるエネルギーコストの節約額に応じてサービス費用を支払うESCO（Energy Service Company）などのサービス事業も広がっている。

このようなサービス事業では，設備の運用期間全体にわたる運転費用と保守費用を合計したライフサイクルコストを最小化することが，ユーザのコストメリットのために重要になる。このため，性能や効率の低下による運転費用の増大を抑制するための性能評価と，保守費用削減のための異常診断が必要となる。

しかし，産業用ガスタービンは，事業用と比べて設備監視診断のための計測項目とセンサの設置数が少ないことが多い。事業用では，買電が目的で規模が大きいため，性能や効率を監視するための計測項目とセンサを比較的多く取れるのに対して，産業用ではコスト削減が主目的であることから，計測項目が設備運転のための必要最小限度にとどめられることが多いためである。

また，産業用ではユーザの工場設備の需要に合わせた容量・熱電比率でガスタービンが選定された結果，パッケージ調達になることも多く，この場合，従来のしきい値監視よりも高精度な診断を実施することは難しい。高精度な診断にはガスタービンの特性を示す詳細な設計仕様が必要になるが，パッケージ調達ではこのような詳細情報がサービス事業者の手許にないためである。

以上より，産業用ガスタービンの遠隔監視診断システムでは，限られた計測点と仕様情報から高精度に性能を評価でき，かつ異常診断までカバーできるものが求められる。

3.2　産業用ガスタービンの診断

前節の要求に対応して開発した産業用ガスタービンの遠隔診断システムの構成を図5に示す。診断内容は性能評価と異常予兆診断からなる。既設の遠隔監視システムにクライアント/サーバ方式で接続することにより，既存資産を活かしながら，診断機能を付加できるようになっている。要素技術の検証を完了して試運用中であり，今後適用を拡大する予定である。

（1）性能評価

限られた計測点と仕様情報から性能評価できるようにするため，運転中の実機データからガスタービンの性能

Download service for the GTSJ　member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

特性を直接モデル化して性能状態を定量評価する手法を開発した[1]。ガスタービンの性能は大気条件に大きく依存するため，一日の24時間周期と，年間の季節周期の2重の周期で変動し，さらに経年劣化による性能低下トレンドが加わり，3重の変動要素が重畳されている。これに対して，独自開発した多次元指標による負荷状態同定アルゴリズムによって，変動要因の影響を分離して性能特性をモデル化し，性能状態の推移を定量化する。モデルは，大気条件と燃料流量等の運転条件を入力とし，発電出力・効率・圧力比などの性能指標を誤差1％以内で評価できる。

実機の評価事例を図6に示す。図中の計測データ（a）では季節周期と日内変動に埋もれて，実性能の経時変化は読み取れないが，性能評価したトレンド（b）では，性能の経時的な低下と，保守による回復が明らかになっている。

このような性能評価の結果は，異常予兆診断の入力データとして使うほか，定期検査前に各種性能指標のトレンドを確認し，部品手配や作業人員派遣を効率化するのに活用することができ，これにより保守費用の低減につなげることができる。

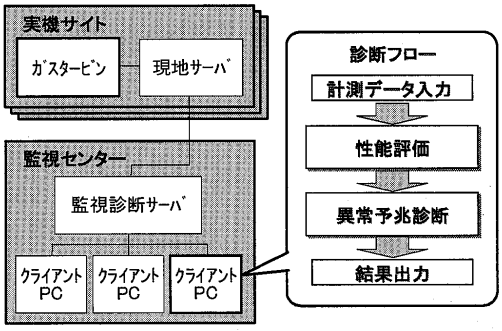


図5　産業用ガスタービンの遠隔診断システム

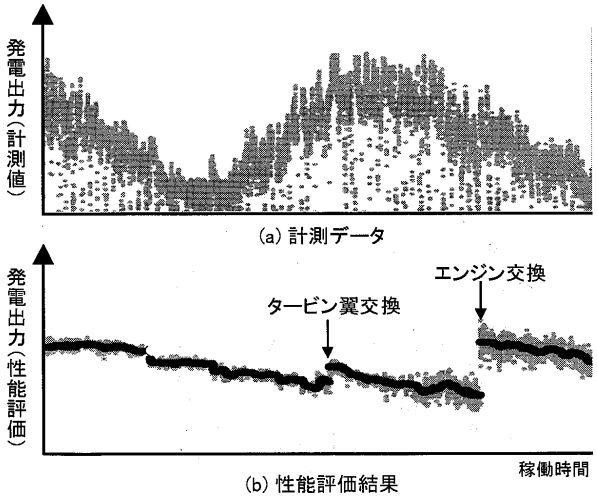


図6　ガスタービンの性能評価トレンド例

（2）異常予兆診断

異常予兆診断では，上記（1）の性能評価結果を入力として，設備の異常に起因する性能の異変を検出する。異変の検出には自社開発した独自アルゴリズムを用いている。性能に直結しない計測値についても，併せて異変の有無を監視する。

本方式は，従来のしきい値判定で検出できなかった主機異常の兆候を検出可能である。これは，上記（1）による高精度な性能評価の結果を入力として用いていることと，以下に述べる独自アルゴリズムの採用によるものである。

従来の異常診断は，計測項目毎に予め設定したしきい値を超過するかどうか判定するものを基本としていた。しかし，これには経年劣化と異常の区別が難しいという課題があった。例えば，経年劣化で機械的に効率が低下していても，機能的に支障がない場合がある。このような経年劣化は許容し，機械的異常だけを検出できる識別能力が，長期の設備運用の安定性と経済性のために求められる。

開発アルゴリズムは，性能評価の結果で得られた劣化トレンドを独自方式で統計処理することにより，経年劣化と異常を識別可能にしている。

4．高温部品の余寿命診断[2]

ガスタービンの高温部品は，合金鋼をベースとした材料でできていることが多いためコストが高く，一方，数年で交換しなければならない消耗品でもある。近年，プラント運用コスト低減の要求が高くなったことから，高温部品についてもできるだけ長く使用し，交換や修復にかかるコストを抑える要求が高くなってきた。

高温部品の遠隔損傷診断システムは，運転データを用いて，既存の方法よりもさらに精度良く高温部品の余寿命を診断するシステムである。

図7に高温部品の損傷を算出する手順を示す。ここでは初段動翼を例として示す。高温部品のメタル温度は，クリープ，疲労，腐食といったほとんどの損傷モードに密接にかかわるので，運転中の高温部品の温度をモニタリングすることが，精度の高い評価を行うために必要である。メタル温度計測にはパイロメータを用いる場合もあるが，コスト的な観点から設置しない場合が多い。遠隔損傷診断システム，得られた運転データやセンサ信号からメタル温度の推定を行う。メタル温度は，図8に示すように，翼外周の高温燃焼ガス温度と，翼内部の冷却空気の温度と，熱境界条件で決まる。燃焼ガス温度は主に出力に依存するため出力値から推定することが可能である。一方，冷却空気温度は吐出空気温度としてセンサにより計測されている。

実際のメタル温度は，運転条件と気温，圧力，燃料性状といった環境条件に大きく依存する。ここでは，代表的な評価参照点を決めておき，そのそれぞれの点に対し

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

て，予め設計データに基づき，種々の運転パターンにおけるメタル温度分布の応答曲面を作成しておく。一例として，この応答曲面を，出力と吐出空気の2次関数として式（1）のように表わすことができる。

$$T_{mi} = a_{i0} + a_{i1}L_i + a_{i2}L_i^2 + a_{i3}T_{i\alpha} + a_{i4}T_{i\alpha}^2 + a_{i5}L_iT_{i\alpha} \quad (1)$$

ここで，T_{mi}が参照点iにおけるメタル温度，L_iが出力，$T_{i\alpha}$がセンサから得られる吐出空気温度，a_{i0}〜a_{i5}がメタル温度評価係数である。応答曲面の例を図9に示す。ここで，各係数は，設計値をベースとして決定するが，材料の熱履歴は図10に示すγ'相の変化により推定できるので，この結果を用いて修正を行う。

高温部品の余寿命評価方法として，等価運転時間が用いられている。等価運転時間は式（2）で示される。

$$L = H + A \times \left\{ N + \sum (B \times S) \right\} \quad [\text{hours}] \quad (2)$$

ここで，Lは等価運転時間，Hは実運転時間，Nは起動停止回数，Sは負荷変化の回数，A，Bはそれぞれ負荷－等価時間係数である。これらの係数は，設計値と実際の

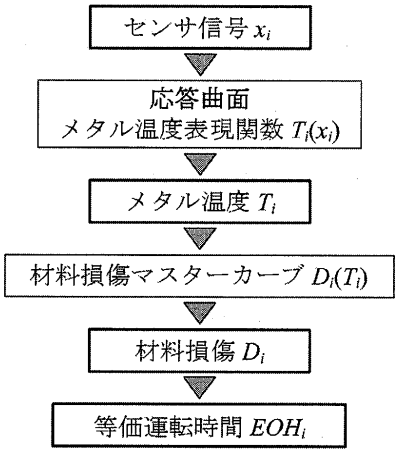


図7　高温部品余寿命診断のフロー

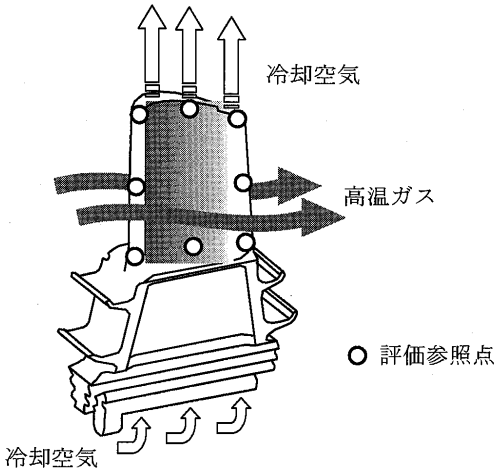


図8　初段動翼の評価参照点の例

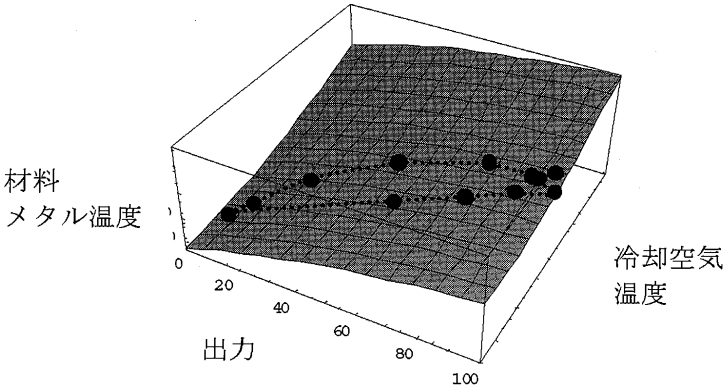
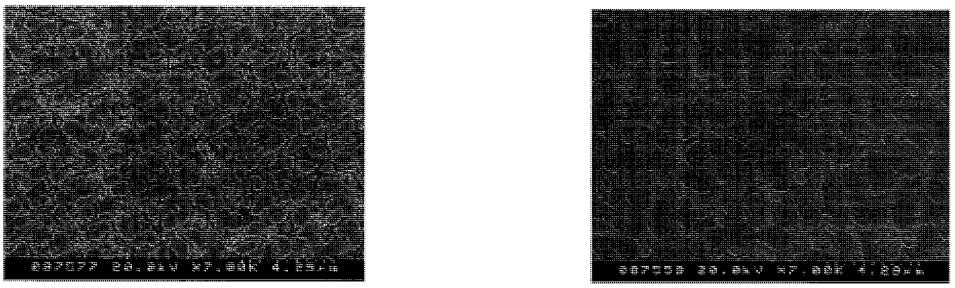


図9　メタル温度の応答曲面の例



(a)　熱履歴なし　　(b)　熱履歴後

図10　γ'相の変化の例

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

運転実績に基づいて決定される。

等価運転時間の考え方をベースとして，負荷の変動をよりきめ細かく考慮したものが新等価運転時間である。新等価運転時間では，運転中に得られるセンサ信号に基づき，設計値との偏差の累積を加算する考え方に基づいている。

クリープ損傷に関する新等価運転時間は式（3）にて示される。

$$LH_c = \sum_i^I \left\{ H_i \times \frac{D_c(T_{pi})}{D_{c0}} \right\} \quad \text{[hours]} \quad (3)$$

ここで，LH_cはクリープ損傷に関する新等価運転時間，H_iは設計条件における実際の運転時間，iは運転回数，D_{c0}は設計条件で運転された場合のクリープ損傷率，$D_c(T_{pi})$は材料のメタル温度T_{pi}に関するクリープ損傷率を示す関数である。ここではタービンの運転毎に設計値とのクリープ損傷率の偏差$D_c(T_{pi})/D_{c0}$が算出される。

疲労損傷に関する新等価運転時間は式（4）にて示される。

$$LH_f = F_1 \times \sum_j^J \frac{D_f(T_{pj})}{D_{f0}} + F_2 \times \sum_k^K \frac{D_f(T_{pk})}{D_{f0}} + F_3 \times \sum_m^M \frac{D_f(T_{pm})}{D_{f0}} \quad \text{[hours]} \quad (4)$$

ここで，LH_fは疲労損傷に関する新等価運転時間，F_1，F_2，F_3は疲労－等価時間係数で，これらの係数は起動停止，トリップ，定常運転時の負荷変化の運転モード毎に決められる。D_{f0}は，設計条件どおりに運転した場合の材料の損傷率であり，$D_f(T_{pj})$，$D_f(T_{pk})$，$D_f(T_{pm})$は疲労損傷の材料のメタル温度に関する係数関数である。ここでは，$D_f(T_p)/D_{f0}$により設計条件で運転された場合と，実際の運転時の材料推定温度から生ずる疲労損傷との偏差が評価される。

新等価運転時間は，次式のように，式（3）および（4）の和として示される。

$$L_{OL} = LH_c + LH_f \quad \text{[hours]} \quad (4)$$

ここでは，新旧等価運転時間の差について検討した結果を示す。実際の材料の損傷状態は，使用後の翼から材料を切り出し，試験により評価した。

図11にシミュレーションに用いたガスタービンの実機運転データの例を示す。図は運転時間と出力の月間平均値を示しているが，このガスタービンでは需要に応じて負荷を調整していることがわかる。

図12にシミュレーション結果を示す。新等価運転時間を用いた評価では，負荷の変動に応じたきめ細かい損傷評価を行うことから，既存の方法では評価しきれなかった負荷変動を考慮した，余寿命診断が可能である。同時に，材料損傷状態を実験により計測したところ，新等価運転時間の評価結果と近くなることがわかった。

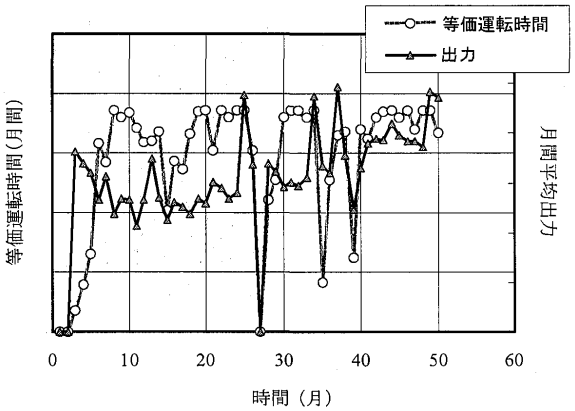


図11 実際のプラントの運転例（月間平均値）

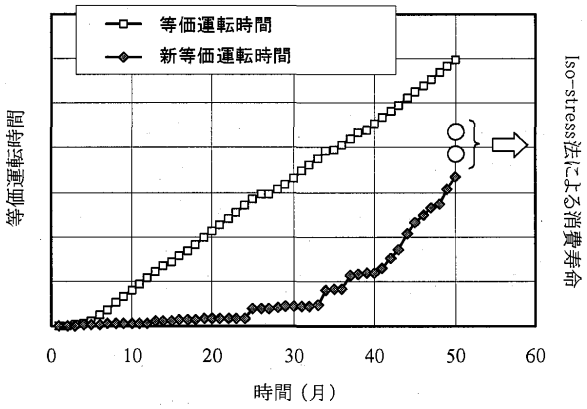


図12 新旧等価運転時間の比較

5．遠隔保守支援

現場監督者や作業指導員を現地に派遣せずにプラントの工事据付やメンテナンスをする遠隔作業管理システムについて述べる。図13に遠隔作業管理システムの概念図を示す。遠隔作業管理システムは，現地とコントロールセンタを結ぶネットワーク，TV会議システム，作業を監視するモニタカメラ，作業状況を記録するビデオカメラ，プラントの運転データを監視するリモートモニタリングシステム，各種のデータベースなどから成り，そのプロジェクトで必要なものを適宜組合せて構成される。遠隔作業管理システムでは，現場監督者や作業指導員は，コントロールセンタ側から，現地側の作業の監視を行うとともに，現地側の監督者や作業員に対して指示を行う。

海外のサイトでは，固定電話回線のインフラがない場合も多いので，その場合には，現地側に衛星回線を用いる。衛星回線は通信費が高価であるものの，現場監督者や作業指導員を派遣するコストを考慮すれば有効である。

遠隔作業管理システムは既に保守作業のみならず建設

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

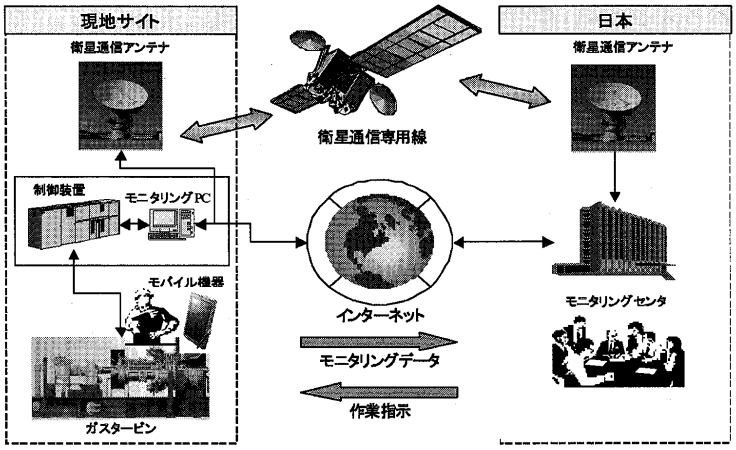


図13 遠隔作業管理システムの概念図

支援にも適用されており，安全面で現場監督や作業指導員を現地に派遣するリスクが高い場合や，現地が遠方の場合に非常に有効であることが立証されている。

6．おわりに

IT技術を応用した遠隔監視診断と遠隔保守支援について，当社で実施している具体例を紹介した。これらは，大容量データ通信の低コスト化，処理速度が飛躍的に向上したモバイル機器の登場などにより実現できたものであり，発電設備向けの解析技術とIT技術の融合によって，新たな仕組みやサービスを創造した例である。

今後も，IT技術の急速な進歩が続くことが予想されるため，近い将来には現在よりも高度な機能やサービスが低コストで提供できることが期待される。このような背景を踏まえると，IT技術を応用した発電プラントの信頼性向上，あるいはユーザニーズに対応した高度なサービスの提供につながる技術開発が，発電機器ビジネスの重要な要素になっていくであろう。

参考文献

(1) J., GOTOH, S., IMANO, H., KUROKI, Y., HAYASAKA, Remote Damage-diagnosis of Hot-gas-path Components of Gas Turbine, Proceedings of the International Conference on Advanced Tecnology in Experimental Mechanics, JAPAN (2003), Paper No. W0356.

(2) 坂内正明，冨田泰志，木村泰崇，吉田卓弥，藤居達郎：炭酸ガス排出量削減により，環境に貢献する日立のエネルギーソリューション，日立評論2007年3月号，pp.47-53，(2007)

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

特集：原動機・発電設備へのIT技術の応用（遠隔監視技術）

遠隔監視システムの変遷並びに予知診断機能について

髙橋　慶州*1　TAKAHASHI Keisyu
田中　利直*2　TANAKA Toshinao

キーワード：ガスタービン，コージェネレーション設備，遠隔監視システム，予知診断

1．はじめに

当社は，1976年にガスタービン非常用発電設備を自社技術で商品化した後，その技術を応用し1984年にガスタービンコージェネレーション設備を商品化し製作，販売している。コージェネレーション設備は，常時運用しており，ガスタービン，その他の機器を含む故障による停止時間は，稼働率向上のため最短とすることが要求されている。

このため，1988年には，お客様設備の安定した運用を目的として，故障から迅速な復旧を計るため，コージェネレーション発電設備の遠隔監視装置を開発した。更に，年々改良を加えることにより，故障発生後，速やかに適切な処置，復旧が可能となった。また，1998年には進化させたシステムを開発し，取り付けたお客様に，高い評価をいただき，現在，200台以上を当該システムで監視を行うとともに，最近の納入設備では100%当該システムを採用頂いている。

しかし，このシステムでは，技術員が運用データを監視し異常を発見しているため，事前に故障を見つけることに関しては，熟練者でないと困難な面がある。更なる稼働率向上のためには，予防保全的な観点から運転データを採取し解析することにより，事前に不具合を見つけ出し，点検を行って適切な処置を施して，計画外の設備の停止，起動不能を避けることが重要である。

当社では従来のシステムの運用により，お客様の運転データを豊富に蓄積しており，この解析結果から予知診断が可能となったことを受け，予防保全を主眼におき，2006年に新遠隔監視システムを開発し，運用を開始している。

本稿では，当社遠隔監視システムの変遷並びに新しく開発したシステムを紹介する。

2．システムの変遷及び構成

遠隔監視装置システムの変遷及び各々のシステム構成を以下に示す。

1988年：遠隔監視装置開発（システム１と称す）
1991年：システム１を拡張
1998年：新しく遠隔監視装置開発（システム２と称す）
2000年：システム２を拡張
2006年：新しく遠隔監視装置開発（システム３と称す）

2.1　システム１構成

システム１のシステム構成図を図１に示す。

ガスタービン制御盤には，ガスタービン制御装置のほかデータ採取用CPUも装着している。データ採取用CPUは，制御装置から情報（計測信号，状態信号，操作出力信号等）をハードワイヤにて入力した後，遠隔監視するためのデータテーブル形式（以下遠隔データと称す）にファイリングしている。

遠隔データは，データ転送用のFAコンピュータから必要なタイミングで読み出され，公衆電話回線にて当社のサーバまで転送される。電話回線は１回線のみ用意されているが，電話回線が混雑して接続できないような場合は，遠隔監視データはデータ転送用のFAコンピュータに一次記憶され，後ほど再送処理を実施する。

なお，サーバ，クライアントの区別無く１台のホスト局（UNIX OS）でデータの管理を行っている。

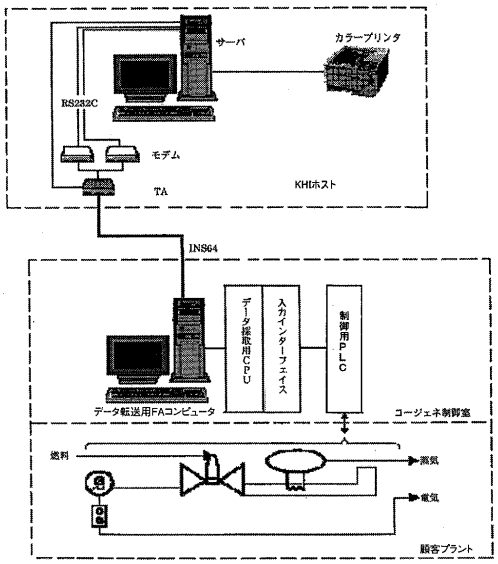


図１　システム１構成図

原稿受付　2007年９月10日
＊１　川崎重工業株式会社ガスタービン・機械カンパニー
〒673-8666　兵庫県明石市川崎町１番１号

Download service for the GTSJ　member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

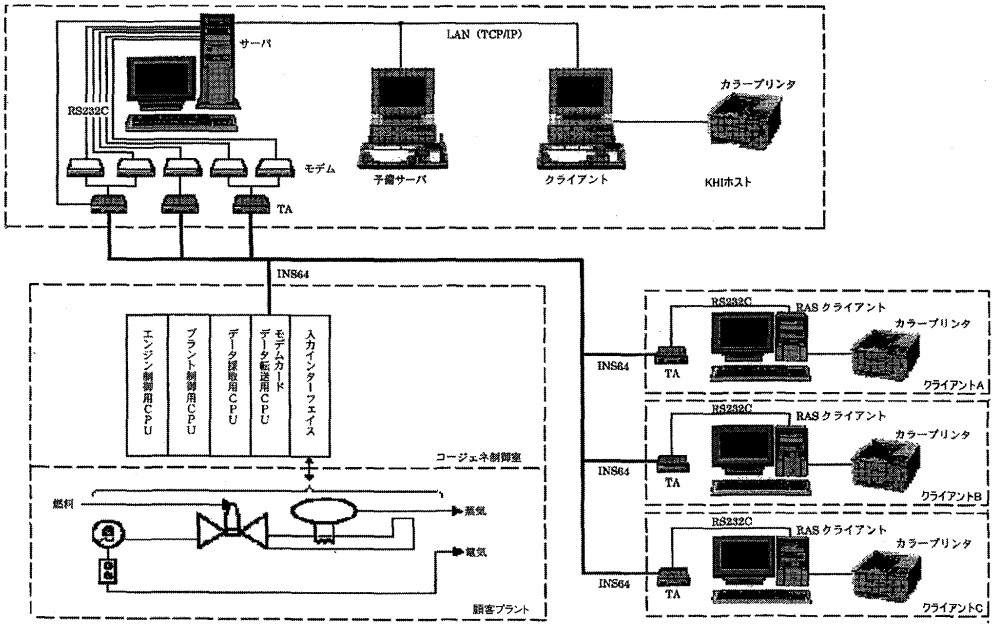


図2　システム2構成図

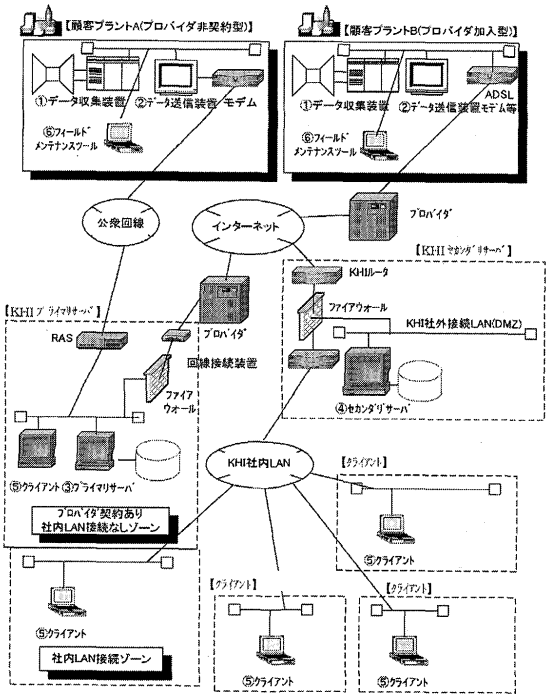


図3　システム3構成図

2.2　システム2構成

システム2のシステム構成図を図2に示す。

データ採取用CPUは，制御装置から情報（計測信号，状態信号，操作出力信号等）をバス接続にて入力した後，遠隔監視するためのデータテーブル形式（以下遠隔データと称す）にファイリングしている。

遠隔データは，データ転送用CPUから必要なタイミングで読み出され，公衆電話回線にて当社ホストのサーバまで転送される。電話回線は3回線用意されているが，もし，電話回線が混雑して接続できないような場合は，遠隔監視データは転送用CPUに一次記憶され，後ほど再送処理を実施する。

公衆電話回線の敷設が困難な場合には携帯電話で接続するタイプ，遠隔監視データをPCカードに記憶するタイプのシステムを2000年に追加した。

サーバは，遠隔監視データを二重化ハードディスクに長期間保存しているが，万一サーバが故障した場合，修理期間中は予備サーバに切り替えて運用可能なシステムになっている。

クライアントは，各サービス拠点及び当社カスタマーサービス部門に設置されており，サーバ内の遠隔データを表示することが出来る。

2.3　システム3構成

システム3のシステム構成を図3，構成内容を以下に示す。システム構成は，システム2と基本的に同じであるが，システム2以前は，データ送信は電話回線を基本としていたが，システム3ではお客様がインターネットプロバイダと契約，または，電話回線からのどちらかで接続可能である。

このシステムの特徴は，当社社内LAN回線により技術者が運転データを自分の机のパソコンで，いつでも確認することができることである。さらに，お客様がインターネットプロバイダと契約し，インターネットでシステム3が接続されている場合，過去1週間から現時点までのデータを必要により採取することも可能である。

また，システム3では，海外のお客様でも国際電話代の負担無しにサービスを提供することが可能となった。

①データ収集装置

ガスタービン制御用汎用シーケンサ（以下PLCと呼ぶ）及びフィールドメンテナンスツールと通信し，遠隔

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

表1 ハードウェア比較

	項 目	システム1	システム2	システム3
データ採取用	プログラム容量	32kステップ	100kステップ	254kステップ
	データ容量	64kバイト	64kワード	256kワード
	処理速度	85msec	10msec	10msec
	バッテリ容量	3年	15年	15年
	アナログ信号	48点/1セット ハードワイヤ入力	96点/1セット 制御用CPUから通信入力	101点/1セット 制御用PLCから通信入力
	ステータス信号	64点/1セット ハードワイヤ入力	288点/1セット 制御用CPUから通信入力	304点/1セット 制御用PLCから通信入力
	パルス信号	16点/1セット	16点/1セット	16点/1セット
データ転送用	データ処理	FAコンピュータ	AT互換CPUモジュール	パネルコンピュータ
	通信	電話回線	電話回線	インターネット／電話回線

監視データを作成するPLCである。

②データ送信装置

データ収集装置にて集積した遠隔監視診断データをプライマリサーバへ転送するパネルコンピュータである。

③プライマリサーバ：サーバパソコン

データ送信装置から転送される遠隔診断データをデータベースに蓄積し，クライアントからの要求により，蓄積したデータの情報提供を行うサーバ計算機である。

④セカンダリサーバ：サーバパソコン

プライマリサーバに蓄積されたデータの定期的なレプリケーションを行い，クライアントからの要求により，蓄積したデータの情報提供を行うサーバ計算機である。当社社内のLANに設置することにより，社内LANクライアントからの閲覧の高速化を図る。

⑤クライアント

社内LANによりプライマリサーバ，または，セカンダリサーバと接続し，お客様設備の日報，故障時データ，保全履歴情報等を表やグラフに表示するパソコンである。

2.4 ハードウェアの仕様

遠隔監視装置のデータ採取用及び転送用ハードウェアの各システム毎の比較を表1に示す。

3．遠隔監視機能

3.1 システム1遠隔監視機能

システム1は以下のデータが採取可能であった。

①故障データ

故障警報が発生した場合，警報発生前26秒から発生後5秒間の運転データ（アナログ信号）を1秒毎にデータ採取する。

また，機器類の動作を見るステータスデータ（パルス信号）も同様に採取している。

②運転データ

毎正時に収集される運転データ，ステータスデータを1日単位で採取している。

3.2 システム2遠隔監視機能

システム2は，上記のシステム1の監視機能に付け加え，以下のデータ採取が行えるようになった。

①故障データ

設備停止を伴わない軽故障警報が発生した場合，警報発生前26秒から発生後5秒間の運転データ（アナログ信号）を1秒毎にデータ採取する。また，設備停止を伴う重故障が発生した場合，警報発生前50分から発生後5秒間最速0.1秒周期で運転データを採取する。

また，両データとも機器類の動作をみるステータスデータ（パルス信号）も同様に採取している。

②運転データ

毎正時に収集される運転データ，ステータスデータを1日単位で採取している。

③起動データ

1日1回の起動時の運転データを回転数5％rpm毎の瞬時データを採取している。

④停止データ

1日1回の起動時の運転データを回転数5％rpm毎の瞬時データを採取している。

3.3 システム3遠隔監視機能

システム3は，上記のシステム2の監視機能に付け加え，前述の通りインタネットで接続されている場合，現地の運転データを任意に転送できる装置を有している。これにより，サービス会社の技術員及び当社技術員がリアルタイム的に運転データを確認できることにより，故障警報が発報した場合，今まで以上の素早い対応が可能となる。

①故障データ：システム2と同様

②運転データ：システム2と同様

③起動データ

システム2は，1日1回の起動データのみを採取していたが，新システムでは起動回数毎の起動データを採取することが可能となった。

④停止データ

システム2は，1日1回の停止データのみを採取していたが，新システムでは停止回数毎の起動データを

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

採取することが可能となった。

⑤リクエスト転送

現地設備に採取された過去一週間から現時点の運転データを，クライアント権限のある技術員のパソコンへ表示することが可能である。

4．予知診断

システム3を開発するに当たり，予知診断を行う機能を追加した。特に，起動時の不具合（不着火，始動渋滞，排気温度高等）が実績ベースで不具合全体の80%であり，起動停止時の挙動変化を把握することにより，故障の早期発見，早期処置を可能にした。

これまでは，警報発報後，サービス技術員を派遣し，現地点検若しくは調整を行ってきたが，この予知診断を行うことにより，警報発報を未然に防ぐことが出来る。

今までは，基本的には，警報発報後に技術者が旧システムから運用データを採取・解析・判断を行って，警報発報の原因を特定し，点検・処置を行っていた。しかし，新システムでは，自動的に運転データを解析することにより，異常な傾向が認められた場合，事前にお客様に設備の点検を提案することにより，設備が不意に停止することを防止することが出来る。

また，設備の発電効率，熱効率，負荷率を自動的に計算することにより，設備の性能劣化を診断することも可能となった。

①起動時間評価

毎回起動時の起動指令から95%回転到達の時間を評価する。この時間が起動毎に長くなることにより，調速機等の不具合の兆候を予知する。図4にその評価図を示す。

②起動時振動値評価

毎回の起動時のガスタービン主軸振動及び減速機振動の最大値を評価する。起動毎にこの値が大きくなると，ガスタービン回転体と車室との接触等や減速機回転体等の不具合の兆候を予知する。図5にその評価図を示す。

③起動時排気温度評価

起動時の排気温度最大値を評価する。この温度が高くなるとにより，調速機等の不具合の兆候を予知する。図6にその評価図を示す。

④停止時間評価

毎回停止時の停止指令から5%回転の時間を評価する。停止毎にこの時間が短くなることにより，ガスタービン回転体の車室との接触等の不具合の兆候を予知する。

⑤停止時振動評価

停止時のガスタービン主軸振動及び減速機の最大値を評価する。この値が大きくなると，点検・調整等を必要とする。

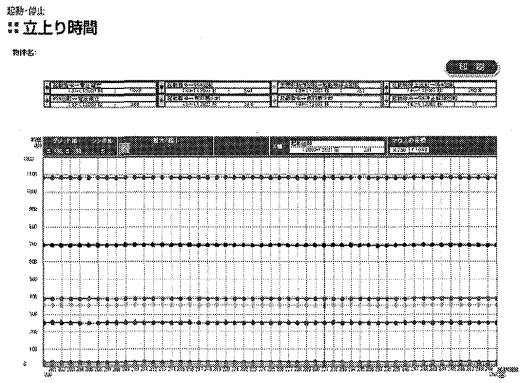


図4　起動時間評価画面

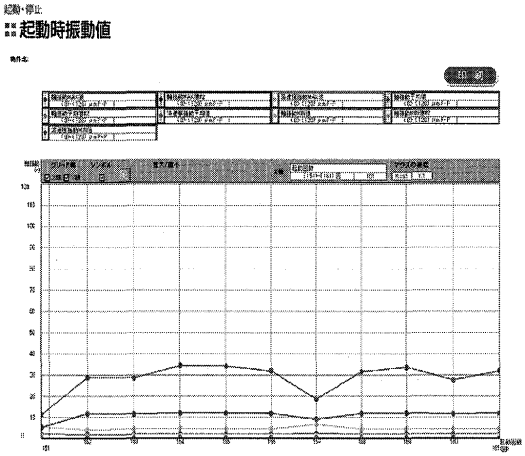


図5　起動時振動評価画面

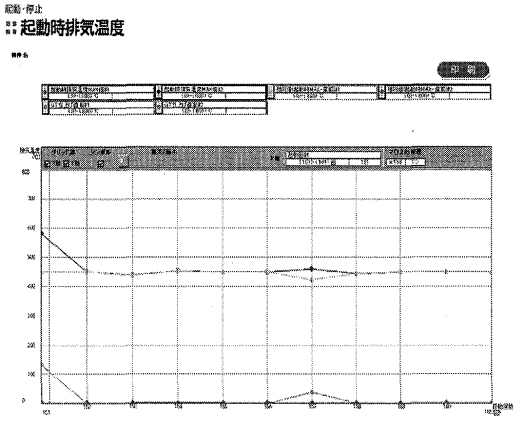


図6　起動時排気温度評価画面

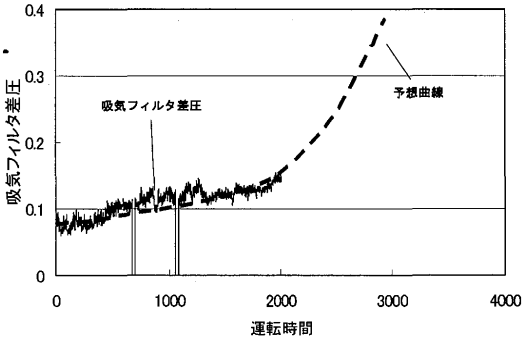


図7　吸気フィルタ汚れ評価画面

Download service for the GTSJ　member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

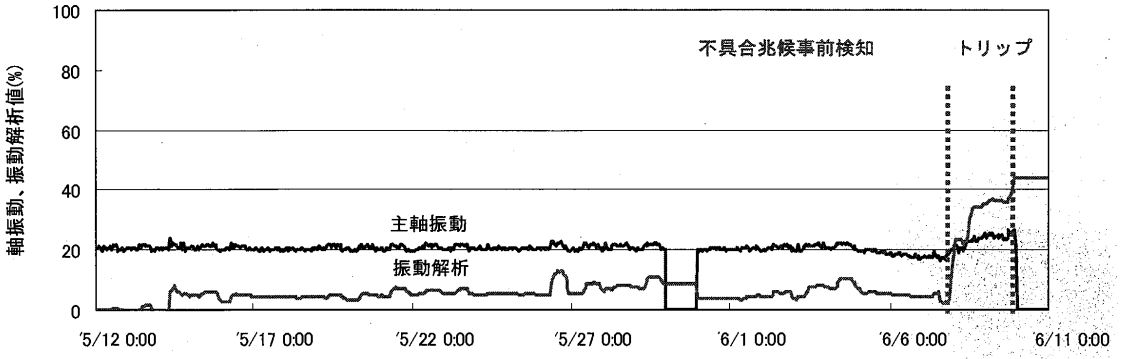


図8 ガスタービン軸振動評価画面

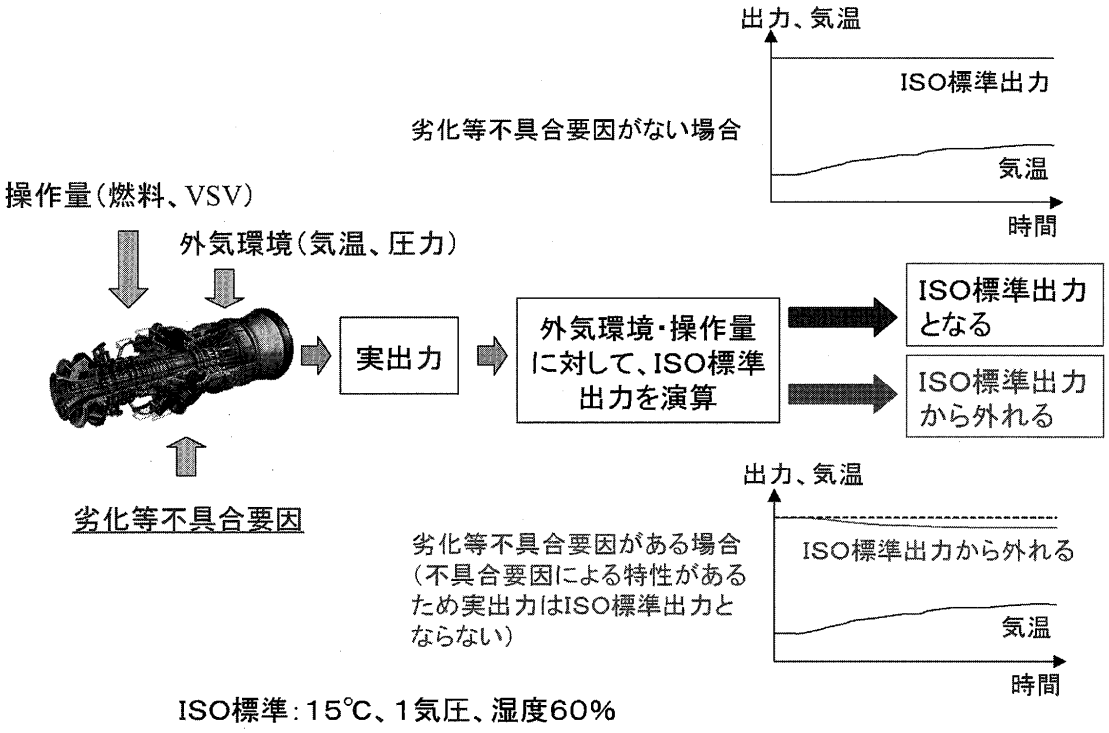


図9 性能劣化診断概要

⑥吸気フィルタ汚れ評価

過去1ヶ月間の吸気フィルタの圧力損失値を近似曲線から交換時期を予想し，お客様へ事前にフィルタ交換を提案する。図7にその評価図を示す。

⑦ガスタービン軸振動評価

運転時の主軸振動値を評価する。主軸振動値の変化を増幅し，積算した値を計算することで，持続的な振動値上昇を捕らえやすくした解析方法であり，この値が増加すると，点検・調整等を必要とする。図8にその評価図を示す。

⑧性能劣化診断

発電出力，排気温度のようなガスタービンのプロセス値は，操作量・外気環境・劣化により様々な値をとる。劣化診断では，実出力から操作量，外気環境の影響を取り除き，標準出力を計算する。その概要を図9に示す。標準出力は通常，定格出力値であるが，劣化が進行すれば，標準出力は定格出力より低い値となり，劣化傾向にあると判断できる。図10にその評価図を示す。

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

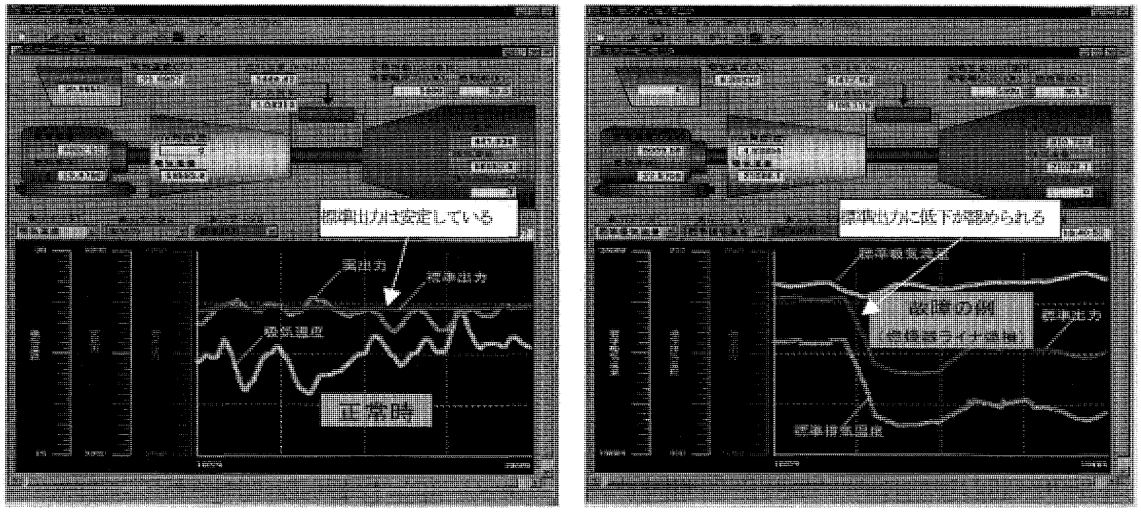


図10　性能劣化診断画面

5．客先報告書

システム２以前では，お客様への遠隔監視による報告書として，月毎の運転データを印刷出力し，コメントを追記することとしていた。しかし，システム３では，上記内容を選択することにより，自動的に電子データを作成することが出来る。また，そのデータを，お客様ご担当に電子メールにて送付することも可能となった。その報告書を図11に示す。

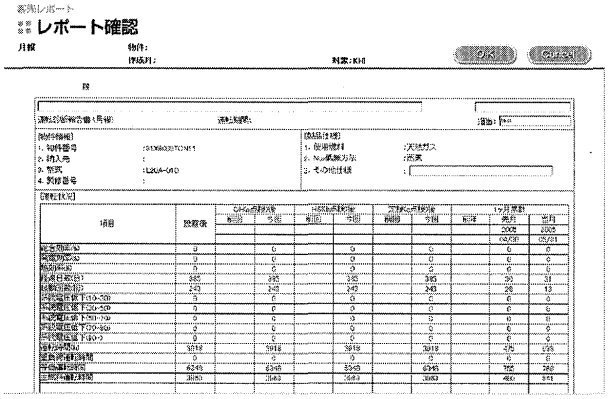


図11　お客様提出監視報告書

6．おわりに

１章で記載しているが，当社の遠隔監視システムは1988年に誕生した。この当時，パソコンのクロックは８MHz，ハードディスク容量は20MB程度が一般的であり，採取した運転データを監視し，不具合が発生したときに解析することが精一杯であった。しかし，近年の電子及び通信機器の飛躍的な進歩により，ただデータを監視するだけの遠隔監視から，その際採取したデータを診断し不具合の発生を予防する遠隔診断機能の追加が可能となってきた。

当社では新システムの運用を開始したところであるが，完全に全ての警報が発報する前にその兆候を発見することは難しいと考えられる。従って，この新システムの運用で得られる更なるデータの蓄積・知見をもとに，また，今後の通信機器の進歩を取り入れることによって，予知診断技術をより改良したシステムに変化させ，お客様の設備の安定運用に貢献していく所存である。

以上

参考文献

(1) 佐藤和憲，平松顕一，景山洋行，他２名“カワサキ　ガスタービン遠隔監視システム”川崎重工技報〔105号〕(1990)
(2) 山本富士夫，前園昭，藤岡良磨，他６名：“カワサキ　ガスタービン遠隔監視システム”川崎重工技報〔137号〕(1998)
(3) 山本富士夫，大賀信一，田中利直：“コージェネレーション遠隔監視システムの紹介”コージェネレーションシンポジウム2001（第17回）
(4) 村上昭二，尾崎嘉彦，宇野昌嘉，景山洋行：“ガスタービンなどのリモートモニタリングシステム”川崎重工技報［159号］(2005年)
(5) 田中利直，山本富士夫，二乃湯秀幸，他5名：“カワサキ　ガスタービンコージェネレーションシステム―遠隔監視及び診断システム―”川崎重工技報［161号］(2006年)

Download service for the GTSJ　member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

特集：原動機・発電設備へのIT技術の応用（遠隔監視技術）

ガスタービンの遠隔監視サービス

三上　尚高*1
MIKAMI Naotaka

キーワード：ガスタービン，長期メンテナンス契約，稼働率，遠隔監視，異常診断，予防保全
Gas Turbine, Long Term Service Agreement, Availability, Remote Monitoring, Diagnosis

1．はじめに

近年，GTCC（Gas Turbine Combined Cycle）を中心とした発電プラントの新しいメンテナンスサービスとして，例えば6年間など，ある一定期間のメンテナンスを一括して請負う長期メンテナンス契約（以下LTSA：Long Term Service Agreement）のニーズが高まっており，当社でもこのニーズにこたえるためLTSAのメニュー拡張に取り組んでいる。LTSAでは，部品供給や補修，定期点検時の指導員派遣に加え，発電所への技師の常駐や遠隔監視サービスなど，お客様のニーズに合わせたオプションメニューを用意している。

特に海外では，IPP（Independent Power Producer：独立発電事業者）のGTCCを中心に，変動リスクのあるメンテナンス費用を固定化できるLTSAの導入が増加している。またプラントを安全に運転し電力を安定供給させるため，発電効率に加えて，稼働率の維持・向上に対するニーズが高まっている。当社でも，近年急速に発達しているIT（Information Technology）を活用した通信ネットワークを構築し，世界各国に納入したプラントを24時間体制で遠隔監視を行い，設備トラブルによるプラント停止を未然防止する取組み，またトラブル発生時の迅速な対応を可能とする体制を整えるなど，稼働率の維持・向上のためのサービスを提供している。

GTCCを対象とする遠隔監視サービスへの取組みとして，当社ではまず1999年に高砂製作所に遠隔監視センター（Remote Monitoring Center）を設立。その後2001年には，米国フロリダ州に当社原動機事業の米国拠点であるMPSA（Mitsubishi Power Systems Americas, Inc.）のオーランドサービスセンターを設立するとともに，同センター内に遠隔監視センターを設立し，北米・中米地区をサポート。さらには，2007年に原動機サービスセンター（横浜ビル）内にも遠隔監視センターを設立し，東京湾岸地区へのより迅速なサポートを可能とした。これら3つの遠隔監視センターに加え，英国やスペインのサービス拠点とも連携し，世界中の発電プラントの遠隔監視・運転支援を行っており，現在その規模はガスタービン約40台，総発電電力は1000万kW以上となっている。（図1）

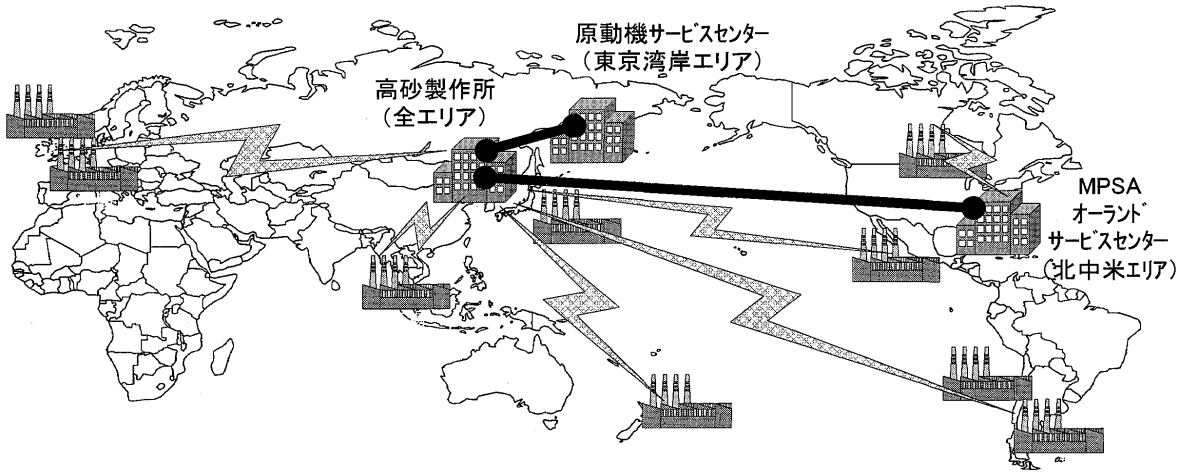


図1　遠隔監視センターと世界の発電プラント

原稿受付　2007年9月19日
＊1　三菱重工業㈱　高砂製作所　サービス部
〒676-8686　兵庫県高砂市荒井町新浜2－1－1

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

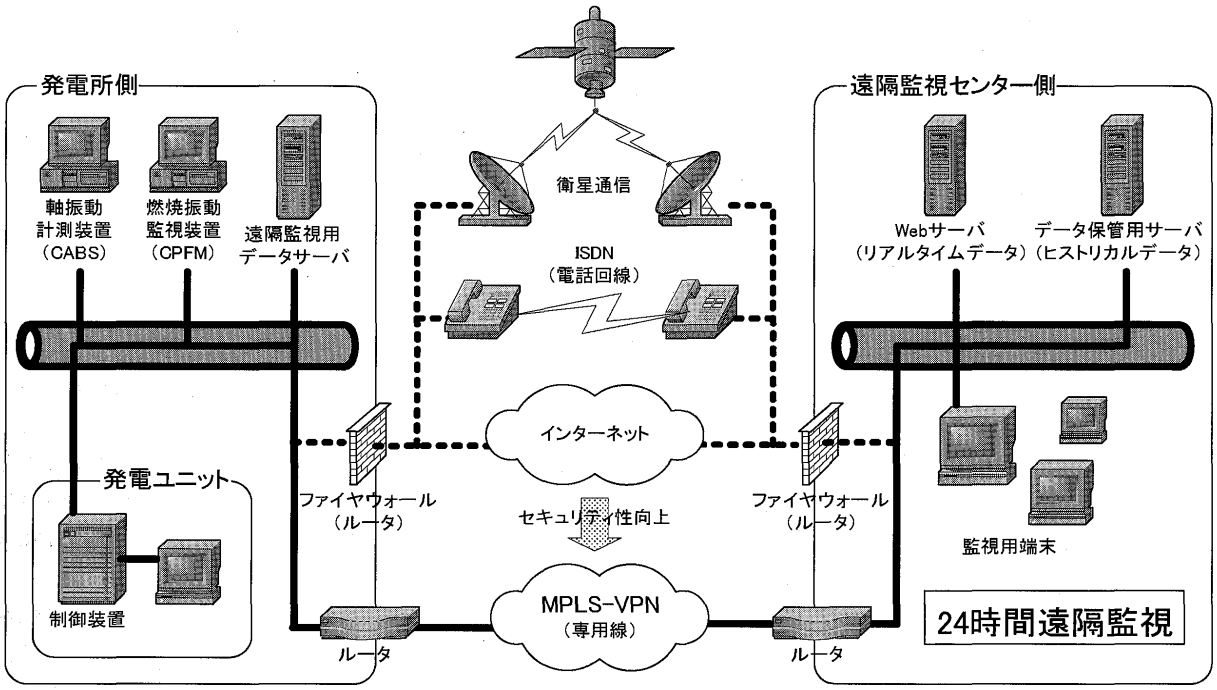


図２　遠隔監視システム概略構成図

以下に，GTCC用ガスタービンを対象とする当社の遠隔監視サービスについて紹介する。

2．遠隔監視システムの構成

遠隔監視システムの概略構成図を図２に示す。遠隔監視システムは，発電所内に設置された遠隔監視用データサーバにて発電ユニットの運転データを収集し，通信回線を利用して運転データを遠隔監視センター側に送信することにより，ユニットの運転状態を常時遠隔監視するシステムである。

2.1　遠隔監視用データサーバ

運転データ（アナログ／デジタルデータ）はまずユニットの制御装置から発電所内に設置された遠隔監視用データサーバに送信される。そして遠隔監視用データサーバに収集された運転データは，リアルタイムデータとして遠隔監視センター側にリアルタイム（３秒周期）で送信されるとともに，ヒストリカルデータという形で発電所内の遠隔監視用データサーバに1秒周期で一定期間保存される。また１秒周期で保存されたヒストリカルデータは，１分周期のデータに加工され遠隔監視センター側に送信される。

2.2　発電所と遠隔監視センターを繋ぐ通信回線

当初，運転データの送信には主にインターネットを常時接続で使用していた。この場合，セキュリティ上の観点から，発電所側から遠隔監視センター側への一方通行とし，逆方向，即ち遠隔監視センター側から発電所側へのアクセスには，電話回線を利用したISDN（Integrated Services Digital Network：デジタル通信網）を随時使用し，トラブル発生時の原因解析のために遠隔監視用データサーバから１秒周期のデータを収集したり，ガスタービンのオプション装置である燃焼振動監視装置（CPFM）や軸振動計測装置（CABS）へのオンライン接続に使用している。またISDNの使用できない地域では代用として衛星通信回線を使用している。

上述の通信手段は現在も一部使用されているが，現在はより高いセキュリティ性を確保するためにMPLS-VPN（Multi Protocol Label Switching-Virtual Private Network）と呼ばれる専用線の導入を進めている。

さらに遠隔監視システムでは，通信回線を中心としたハードウェアの冗長化やソフトウェアの機能共有化を図り，万一ひとつの機能が停止しても遠隔監視を停止させることなく継続できる機能（縮退機能）を備えている。

また近年，衛星通信回線は低コスト化や通信速度の高速化により従来と比べ利用しやすくなってきており，ISDNの代用としてだけでなく，発電所と遠隔監視センター間の地上通信インフラが使用できない場合には，MPLS-VPNやインターネットの代用として常時接続にも使用されている。また衛星通信回線を利用した遠隔監視システムには新たな地上通信インフラ設置の必要がないため，恒久的な遠隔監視を必要としない場合などのスポット利用にも有効である。

2.3　セキュリティ

通信セキュリティ対策としては，ファイヤウォールの設置やデータの暗号化があるが，現在導入を進めているMPLS-VPNは通信事業者の独自ネットワークであり，通信事業者によってネットワーク全体が管理されているため，高度な秘匿性の確保が可能である。さらに遠隔監視システムは社内LANとは完全に切り離されており，

Download service for the GTSJ　member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

社内であっても関係者以外は遠隔監視システムに接続できないなどセキュリティには細心の注意を払っている。

2.4 Webサーバと監視用端末

発電所内の遠隔監視用データサーバからMPLS-VPNやインターネット回線を通して3秒周期で送信されるリアルタイムデータは，遠隔監視センター側のWebサーバに一時保存されるとともに，Webサーバとリンクされた複数台の監視用端末上にリアルタイムでアップデートされ，これによりリアルタイム監視を行っている。

2.5 データ保管用サーバ

一方，1分周期で送信されるヒストリカルデータは，遠隔監視センター側のデータ保管用サーバに蓄積される。ここには全プラントの運転データが無期限で保管されていて，後述する帳票作成機能により必要なデータをいつでも取出すことができる。

3．遠隔監視システムの基本機能

遠隔監視システムは，基本機能としてトレンドグラフや系統図画面，異常発生時のアラーム機能など発電所同様の監視機能を持ち，通常のリアルタイム監視においてはこれらの監視画面にて運転状態監視やアラーム確認などを行っている。また帳票作成機能によって収集される運転データは様々なデータ分析に利用されている。

3.1 リアルタイムトレンド画面

リアルタイムトレンド表示機能では，Webサーバに一時保存されたリアルタイムデータを読込み，図3に示すようなトレンドグラフとして表示することができる。グループ登録機能があり，1グループにアナログデータ8項目とデジタルデータ4項目まで登録できる。またトレンド更新周期（3秒，1分，15分）や時間幅（30分，2時間，8時間，1日，7日，28日）の変更も可能。スクロール機能を使って最長（更新周期15分，時間幅28日の場合）で365日前まで遡って表示することもできる。

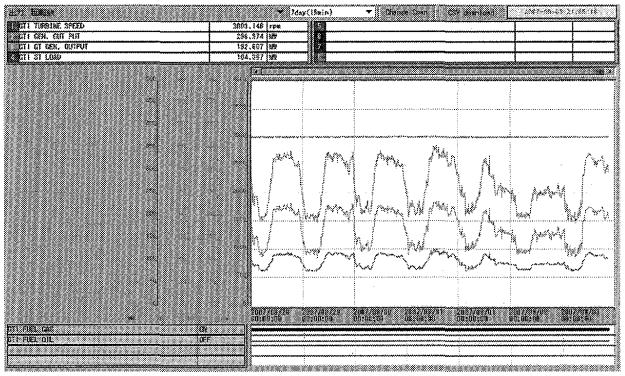


図3 リアルタイムトレンド画面

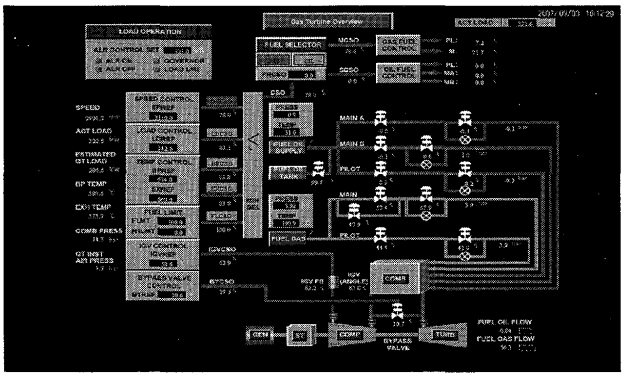


図4 系統図画面

3.2 系統図画面

系統図画面の一例を図4に示す。図4に示した制御信号画面をはじめ，燃料系統画面，排ガス温度分布監視画面，軸受監視画面など，各系統の運転状態が一目で分かるような系統図画面を使用している。

3.3 アラーム・イベント専用モニター

各種運転パラメータには機器保護の観点から各々ある一定の管理値が設定されており，その管理値を超えた場合にはアラームが発信され，機器の異常を検知することができる。遠隔監視センターでは，アラーム情報の他，各種イベント情報を受信し，アラーム・イベント専用モニターにて確認を行っている。

3.4 帳票作成機能

帳票作成機能では，遠隔監視センター側のデータ保管用サーバに蓄積された膨大な運転データの中から，必要なデータを任意に取出すことができる。1グループに160個までのサンプリング項目を登録できるグループ登録機能があり，サンプリング周期，期間を指定してcsvファイル形式の帳票を作成することができる。

4．ガスタービンの主な監視項目とサンプリング項目

遠隔監視システムによる運転データのサンプリング項目数には通信容量による制限を設けており，現状では1ユニットあたり約2,000点のデータを取込んでいる。

以下にガスタービンの代表的な監視項目を示す。

- 回転数，発電機出力
- 制御信号（CSO：Control Signal Output）
- 燃料温度／流量，燃料制御弁開度
- 空気圧縮機入口／出口温度，圧力
- ブレードパス温度，排ガス温度
- 窒素酸化物濃度（NOx）
- 燃焼振動（燃焼圧力変動）
- 軸受振動／メタル温度
- ロータ冷却空気温度，ディスクキャビティ温度

これらの運転状態を示すパラメータ（アナログデータ）に加え，各種アラーム信号や弁の開閉などのイベント信号（デジタルデータ）を取込んでいる。主な監視対象はGTCCプラントのガスタービンであり，約2,000点のサンプリング項目についてもガスタービン関係のデータが主体であるが，その他の主要パラメータも取込んでおり，特に一軸型GTCCプラントにおいては，蒸気タービンやHRSG（Heat Recovery Steam Generator：排熱回収ボ

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

イラ）を含むプラント全体の主要パラメータを取込んでいる。

5．運転支援サービス

これまで遠隔監視システムの構成や基本機能について述べてきたが，当システムの導入によって，従来にはない迅速な運転支援サービスの提供が可能になった。遠隔監視センターでは，お客様の発電設備が安全で安定的に運転できるようサポートするため，24時間体制（3交替）で運転状態を監視し，トラブル発生時の迅速な原因究明・復旧支援はもちろん，各種調整支援やお客様からの問合せに対するアンサーサービス，後述する異常診断サービスなどの運転支援サービスを提供している。（図5）

5.1　トラブルシューティング

発電事業の使命は電力の安定供給であり，トラブル発生時，特にユニットが停止し電力供給がストップする場合には迅速な対応が求められる。従来，トラブル発生時のメーカの対応はお客様からの通報を受けて行われる受身の対応であり，状況確認や原因調査のため現地に技術者を派遣，現地にてデータ収集し，工場側にて現地とデータのやりとりを繰り返しながら原因解析や対策検討を行うプロセスに時間を要していた。しかし，遠隔監視システムの導入によって，発電設備のトラブル発生情報は24時間体制の遠隔監視センターにて発生直後に把握できるようになり，トラブル発生時のデータに加え，過去のデータも即座に収集・分析可能となったため，復旧に要する時間は飛躍的に短縮された。遠隔監視センターでは，万一のトラブル発生時，お客様と連絡を取りながら迅速な初動対応を行うとともに，設計部門，サービス部門，営業部門と連携した迅速な復旧支援を行っている。

5.2　各種調整支援

遠隔監視システムは通常運転中の監視のみならず，建設時や定期検査後の試運転支援にも利用されている。ガスタービンの定期検査後に実施される試運転では，運転状態確認の他，必要に応じて燃焼調整やバランス調整（軸振動調整）が行われるが，遠隔監視センターでは，現地の燃焼振動監視装置（図6）や軸振動計測装置（図7）へのオンライン接続によって，これらの調整支援を行っている。またガスタービンの燃焼状態は機器の経年劣化や大気条件，燃料性状などの影響によって変化し，燃焼調整が必要となる場合がある。この場合，通常は調整員を派遣して現地で調整を行うが，発電所の制御員と協力し，調整員が遠隔監視センターにて同じ画面を見ながら電話連絡で適切な指示を出し，調整を行うことも可能である。調整員の派遣に長時間を要する海外プラントでは，特に緊急性の高い場合など，実際に遠隔監視センターからの支援により調整が行われる場合もあり，調整員の派遣に要する時間を削減した迅速な調整支援を実現している。

5.3　アンサーサービス

遠隔監視センターでは，お客様からの問合せに対する24時間体制のアンサーサービスを提供している。お客様からの問合せは24時間体制で受付け，夜間や休日であっても，あるいは運転以外に関する問合わせに対しても，関係者と連絡を取り迅速な対応・回答を行っている。また緊急度の高い問題に関しては，各プラントの緊急連絡体制に基づき関係者を招集し，緊急対応を行っている。海外のお客様に対しては言語の違いによるコミュニケーションの難しさもあるが，遠隔監視センターには外国人

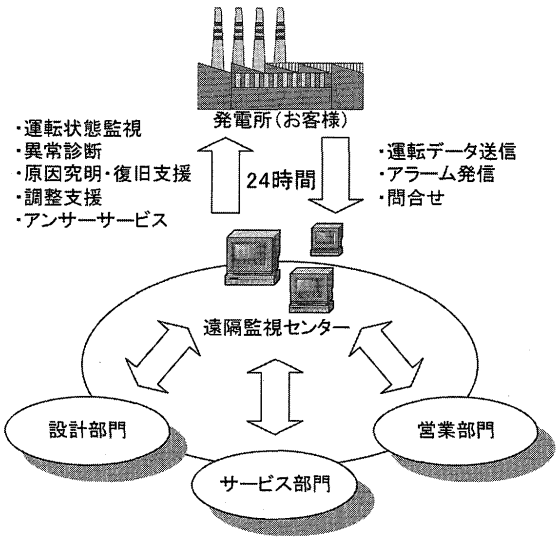


図5　遠隔監視運転支援サービス

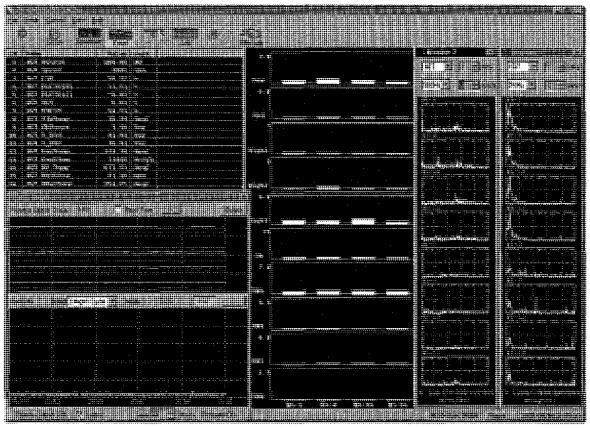


図6　燃焼振動監視装置オンライン画面

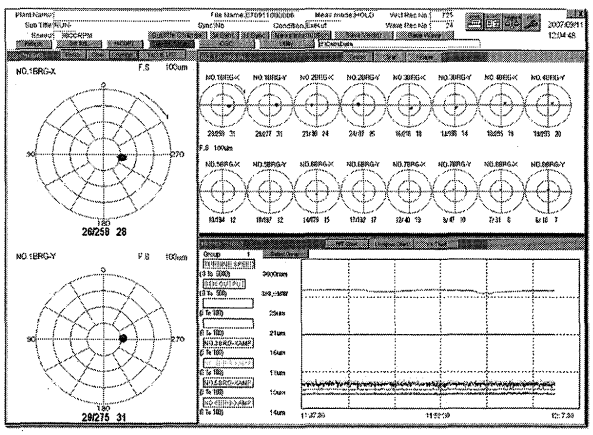


図7　軸振動計測装置オンライン画面

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

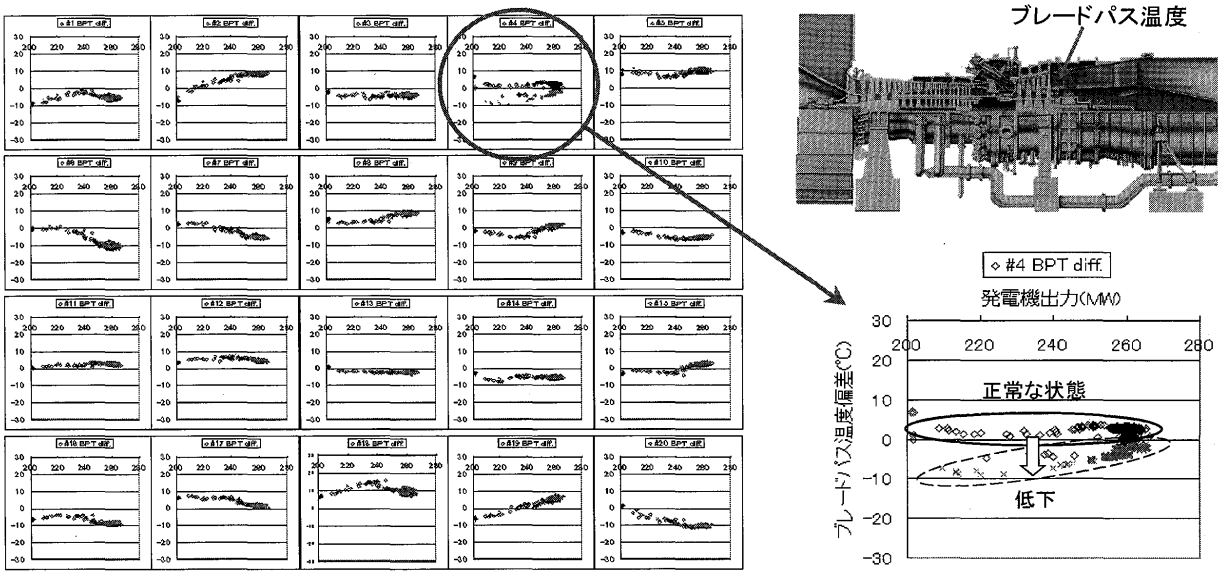


図8 ブレードパス温度偏差の傾向監視例

スタッフも配置しており，海外のお客様とのコミュニケーション強化を図っている。

6．異常診断

ガスタービンの運転監視において，各種運転パラメータが機器の損傷防止を目的として設定されたある一定の管理値を超えた場合には，アラームが発信され機器の異常を検知することができるが，たとえ管理値内であっても，それが正常な（通常の）運転状態であるかどうかの判断，また異常の兆候を早期に検知することが重要である。しかしながら，ガスタービンの監視パラメータは多岐にわたる上，大気条件や運転条件など様々な要因により変化するため，通常のリアルタイム監視において，それらを判断・検知することは困難である。そのため，遠隔監視システムには継続的な運転傾向管理や異常検知機能が求められている。

6.1 傾向監視

上述の通り，ガスタービンの監視パラメータは大気条件や運転条件など様々な要因により変化するため，トレンドグラフと併せてX-Yグラフの活用による傾向監視が有効である。

図8にブレードパス温度偏差の傾向監視例を示す。燃焼ガス温度はガスタービンの監視項目の中で最も重要なパラメータの一つであるが，タービン入口ガス温度は非常に高温で計測が難しいため，タービン最終段翼後流の温度（ブレードパス温度）を計測し監視している。ブレードパス温度は燃焼器の数に相当する数だけ計測され，平均温度からの偏差（ばらつき）を監視している。図8のX-Yグラフは，X軸に発電機出力，Y軸にブレードパス温度偏差をプロットした散布図である。図8が示すように，発電機出力とそれぞれのブレードパス温度偏差との関係は同一ではなく，それぞれが異なる特性を持ち再

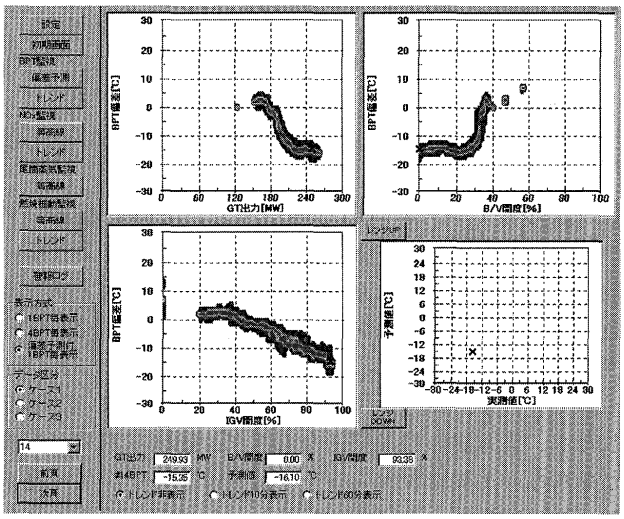


図9 ブレードパス温度偏差の重回帰分析モニター

現性があることが判っており，この特性を把握することにより，燃焼状態（燃焼器）の異常を示すわずかな変化であっても検知することが可能である。図8は，燃焼器の内筒と尾筒の結合部に軽微な損傷が生じ空気が流入したことによるブレードパス温度偏差の低下を検知した例であり，軽微な損傷の兆候を早期に発見，処置することで重大な二次損傷の危険を回避することができる。

このような異常診断には，ユニットの正常な運転状態を常に把握しておくことが重要であり，遠隔監視センターでは，蓄積された運転データを基に継続して傾向監視を行っている。

6.2 重回帰分析

前節では，X-Yグラフを活用した傾向監視例を紹介したが，さらに高度な異常診断手法として重回帰分析が挙げられる。重回帰分析とは，複数のパラメータ（X1，X2，X3，，，）からある一つのパラメータ（Y）を予測する多変量解析であり，精度の高い予測値を求めることが

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

できる。

図9に示すブレードパス温度偏差の重回帰分析では，以下に示す3つのパラメータからブレードパス温度偏差の予測値を求めている。

X1：発電機出力（MW）

X2：燃焼器バイパス弁開度（%）

X3：空気圧縮機入口案内翼開度（%）

Y：ブレードパス温度偏差（℃）

重回帰分析モニターでは，予測値をリアルタイムで表示するとともに，予測値と実測値との差に任意のしきい値を設定することでアラームを発信させ，リアルタイムでの高度異常診断が可能である。

6.3　個別アラーム機能

遠隔監視システムには，ユニットの制御装置からのアラームとは別に，各パラメータ個別に任意のしきい値を設定できる個別アラーム機能が設けられており，しきい値アラーム以外にも，ディファレンシャルアラームや変化率アラームの設定が可能である。

①しきい値アラーム［設定項目：LL，L，H，HH］

②ディファレンシャルアラーム［設定項目：X1，X2，LL，L，H，HH］

③変化率アラーム［設定項目：時間幅，負の変化量，正の変化量］

これらのアラーム機能を活用して，制御装置側のアラームよりも厳しいしきい値を設定することでより早い段階で異常を検知したり，ディファレンシャルアラームを設定して温度差や制御偏差を監視したり，また変化率アラームは突変検知に役立っている。

以上，異常診断の手法や機能（ツール）について紹介したが，異常診断の最終的な判断には経験や知識が必要とされる。遠隔監視センターでは豊富なノウハウと運転データの解析により異常診断を行い，異常と判断された場合には，原因解析や対策立案などお客様への技術サービスを提供している。

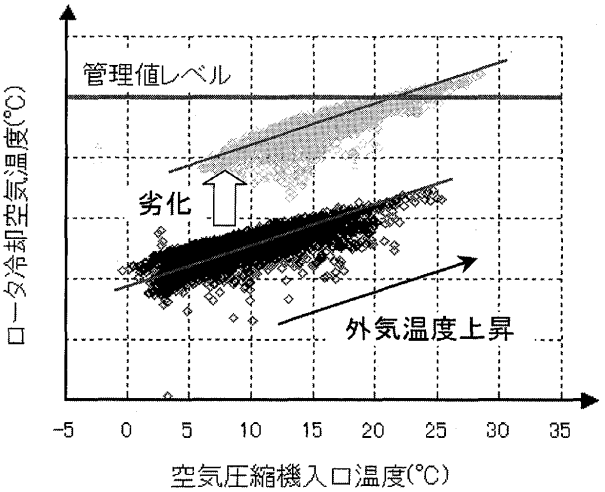


図10　ロータ冷却空気温度の傾向監視例

7．予防保全

ガスタービンの長期にわたる安定運用をサポートするためには，運転状態を常に把握し運転支援を行うとともに，運転中や定期検査時に適切なメンテナンスを行っていくことが大切であり，前章で紹介した傾向監視は異常診断のみならず予防保全にも活用されている。

図10にロータ冷却空気温度の傾向監視例を示す。ロータ冷却空気は空気圧縮機の抽気を利用し，外部のクーラで冷却した後，再び内部に導入してディスクや動翼を冷却している。従って，ロータ冷却空気温度が冷却に必要な設計上の管理値を超過することのないような運用が必要であるが，ロータ冷却空気温度はクーラの劣化や外気温度（空気圧縮機入口温度）の影響により上昇する傾向があるため，継続的な傾向監視により劣化状況を把握し，適切な時期にクーラの清掃を実施するなど先手のメンテナンスが重要である。

この他，空気圧縮機効率の傾向監視により翼洗浄を推奨したり，吸気フィルタ差圧の傾向監視によりフィルタ交換の適正なインターバルを推奨するなど，遠隔監視センターでは性能劣化監視による予防保全に取組んでいる。

8．おわりに

GTCC用ガスタービンを対象とする当社の遠隔監視サービスを紹介したが，迅速な運転支援サービスや高度な異常診断サービスの提供，予防保全への活用など，遠隔監視サービスは発電プラントの安定運用に大きく貢献するものであり，今後も導入が進むと思われる。

通信システムの面では，今後ITのさらなる進歩により高速化，高セキュリティ化，低コスト化などが期待され，より安価で優れた通信システムの構築が可能になると考える。

また監視技術の面では，蓄積されたノウハウを基に，異常診断技術や性能劣化監視技術など監視技術の高度化・自動化に取組んでおり，トラブル発生時の迅速な対応はもちろん，トラブルの予兆検知・未然防止を目指している。

最後に，遠隔監視サービスにおいて，通信システムや監視技術の向上が重要であるのは言うまでもないが，お客様とのコミュニケーションを密にし，お客様の声をよく聞くことも大切だと強く感じる。今後ともお客様に満足頂けるように，お客様それぞれのニーズに合ったきめ細かなサービスの提供に努める所存である。

参考文献

(1) 黒石卓司，南芳弘，小林由則，横山知充，長谷川佳昭，景山修，湊本倫生，三菱重工技報，Vol.40 No.2（2003-3），p.86-91

(2) 黒石卓司，南芳弘，小林由則，三菱重工技報，Vol.40 No.4（2003-7），p. 228-229

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

特集：原動機・発電設備へのIT技術の応用（遠隔監視技術）

「原動機・発電設備へのIT技術の応用（遠隔監視技術）」

阿久津　貴之*1
AKUTSU Takayuki

1．はじめに

近年ITというキーワードが産業分野のみならず経営や教育などいろいろな分野で取り扱われるようになってきた。1900年代後半から急速に発達したコンピュータ技術は，ハードウエアの開発が先行し，ソフトウエアがそれらを使いこなすという構図で様々なテクノロジーが開発されてきた。最近ではインターネットの利用により容易に情報の交換が可能になっているが，弊社は自社製のガスタービン発電設備を中心に，まだインターネット環境が整っていない時代から遠隔監視システムの導入の必要性を痛感し，1995年を皮切りに遠隔監視によるサービス事業の展開を図ってきたので，ここに紹介する。

2．GT発電設備の遠隔監視

弊社の遠隔監視システム（商品名：あいモニタ）の特徴は，航空機ジェットエンジンメーカとしての高い解析能力と，現場にある制御装置と一体化したシステム構成の２点である。

弊社は自社製の2,000KWクラスのIM270，4,000KW～6,000KWクラスのIM400，及び10,000KW～47,000KWクラスの大型LMエンジンなど，航空転用型ガスタービンを原動機とした発電設備を設計，製作，納入している。起動信頼性が求められる非常用発電設備や，定常安定性が求められる常用発電設備など，航空転用型の俊敏性，小型軽量，安定性，低エミッション性などを活かした様々な応用で使用されている。

弊社は航空機ジェットエンジンのメーカとしての強みを活かし，自社製のみならず輸入エンジンにおいても，燃焼，空力，構造，振動，制御など社内で高い解析能力を有している。

また，制御装置は弊社が独自に開発した製品であり，ハードウエア，ソフトウエアとも社内での設計，製作を行っている。オペレータ指向の操作性重視のインターフェイスを有し，そのままのマンマシン環境を遠隔監視装置にも再現している。従って，オペレータが現場で見ている状態をそのまま遠隔で確認できるため，完全な情報の共有が可能となっている。これらはシステムの全てを自社製で開発していることにより実現できるメリットである。

以下，弊社の遠隔監視システムの歴史と現在の様子について説明する。

2.1 遠隔監視システムの誕生と変遷

弊社の遠隔監視システム（愛称：あいモニタ）の誕生は1995年である。当時はインターネットによる情報の交換という環境はまだハードウエア，ソフトウエアともに整っていなかった。弊社はGT制御装置のマンマシン機能と情報システム分野でのソフトウエア技術を融合し，ダイヤルアップ電話回線による遠隔監視システムを第一世代として誕生させた。電話回線システムのシステム構成図を図１に示す。

設計コンセプトとして，現場にある制御装置のマンマシンインターフェイスが持つリソースを全て遠隔で監視できるシステムを採り上げた。即ち，単に運転データをモニターするだけではなく，現場の制御装置で定義されている制御ロジックや入出力信号リスト，属性ファイルなども参照できるようにし，また現場で観察している画面イメージの情報も遠隔にて再現した。さらに，短期トレンド，長期トレンド，トリップ時のトレンドなども監

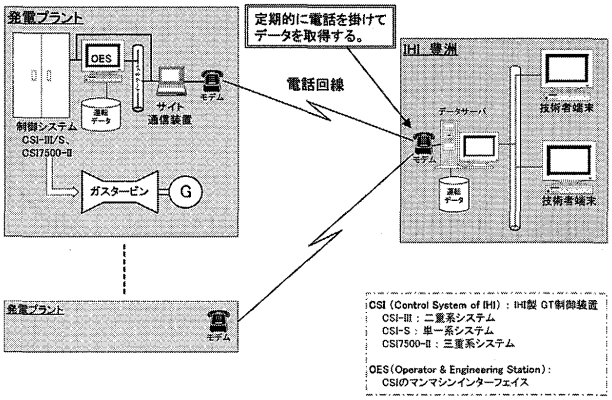


図１　遠隔監視システム構成図（ダイアルアップ電話回線）

原稿受付　2007年９月10日
＊１　株式会社ＩＨＩ
原動機プラント事業部
〒135-8710　東京都江東区豊洲３－１－１

Download service for the GTSJ　member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

視できるようにし，故障発生時には遠隔監視側の技術者端末に警報を発報する仕組みを初めから組み込んだ。

電話回線による遠隔監視システムは，経済性，通信速度，回線の信頼性，プロトコルの複雑さなどの点で多くの制限があったが，保守・メンテナンス業務について，その制限を差し引いても余る程のメリットがあり，顧客サービスなどに十二分に活用された。

その後，ＩＳＤＮ回線，ＡＤＳＬ回線，常時接続などに見られるインターネット環境インフラストラクチャの飛躍的な発展に伴い，遠隔監視システムにインターネットが導入されることになる。弊社においても，2003年にインターネットを使用し，また，社内ネットワークと融合した遠隔監視システムを開発し，現在に至っている。

インターネット構成に代わっても元々の設計コンセプトは不変のままとし，技術者端末を利用する技術者がデータの通信方法を意識する必要のないように，システムの上方互換性を維持した。インターネット構成の導入により，至便性，経済性，通信速度，信頼性，セキュリティが格段に向上している。

遠隔監視システムを導入しているサイト数の推移を図２に示す。

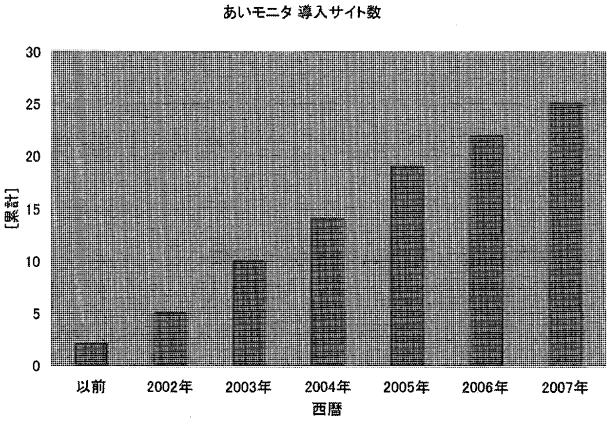


図２　遠隔監視システムの導入サイト数の推移

2.2 遠隔監視システム構成

図３に，IHI遠隔監視システムの全体構成を示す。遠隔監視システムは，次の３つのパートで構成されている。

１）サイト（現場）の通信機器

現場に設置される機器は，サイト通信装置，ルータ，およびＡＤＳＬモデムで構成されている。サイト通信装置はIHI製GT制御装置から種々のデータを取得して，圧縮した後，インターネットを介してIHIデータサーバに送信するしくみとなっている。ルータは，インターネットからの不当なアクセス，攻撃，妨害を除去するなど，セキュリティを確保する役目を担っている。

GT制御装置とサイト通信装置間のデータ転送は，本システムにおいて標準化されており，発電設備の納入時に遠隔監視システムが導入されていないサイトにおいても，予め設定されたサイト通信装置を設置，および接続

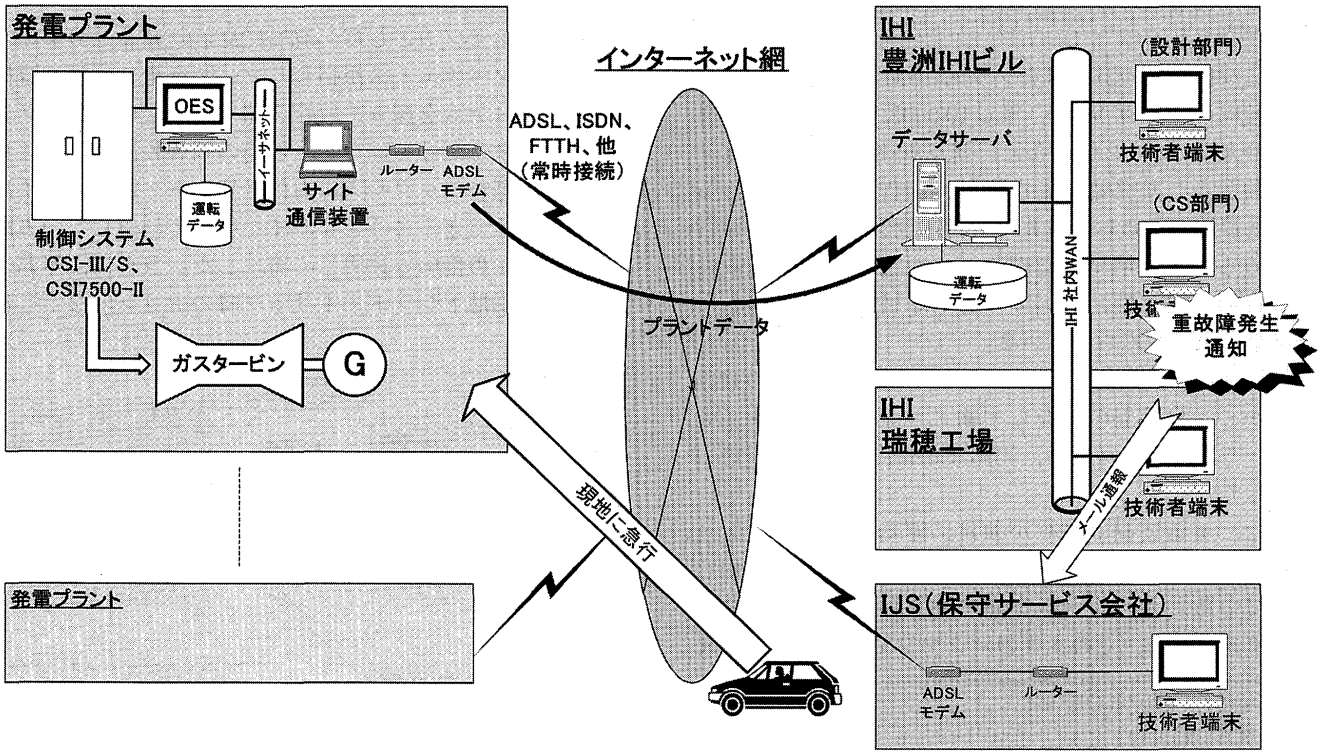


図３　遠隔監視システム構成図（インターネット）

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

するのみで，容易に遠隔監視システムを追加導入することが可能となっている。

2）インターネット

インターネットインフラストラクチャは，プロバイダ業者が提供するものであれば特に制限は無いものとなっている。従来のダイヤルアップ電話回線では，海外や日本国内でも遠隔地では，データ通信にかなりの費用がかかり，無視できないものとなっていた。しかし，DSL，常時接続などの普及により，今や全世界での適用が低価格で実現可能となっている。

基本的には，プロバイダ業者とのインターネット契約は，お客様にて実施頂いている。

3）遠隔監視サーバと技術者端末

遠隔監視システムに接続されている全てのサイトのデータを保存し，マネジメントするIHI側のシステムは，主に遠隔監視サーバ，および技術者端末から成り立つ。

遠隔監視サーバには，各サイトからインターネットを介して送信されてきたプラントデータが格納されている。これらのデータは，サーバの大規模記憶メディアに半永久的に保存され，技術者端末を使用してデータを引き出し，監視，解析を行う。両者は，IHIの社内ネットワークに接続されているので，技術者端末は，社内の任意の部署に設置することが可能である。現在は，設計部門，カスタマーサポート部門，およびサービス関連会社にそれぞれ技術者端末を設置して，設計から現場に最も近い部門まで，情報を共有して作業の協力体制を敷いている。

IHI社内ネットワークのセキュリティは，専門部門により管理されており，お客様の貴重なデータの機密保持を確保している。

2.3 遠隔監視システムの特徴

遠隔監視システムの基本的なコンセプトは，サイトと同じ情報を，あたかもサイトにいるかのように得ることができ，現場にいるオペレータや作業員と同じ情報を見ながら，故障等のデータ解析，アドバイスの提供を行えることである。即ち，この特徴を実現する機能は，納入したGT制御装置のMMI（マンマシンインターフェイス）とほぼ同じ機能ということになる。

この基本的な機能のうえに，異常発生時の警告，並びにメール発信による通知機能，ガスタービンエンジンのデータを統計的な処理により抽出する傾向分析機能などの付加価値的な機能を有している。

図4に技術者端末の待ち受け画面，図5にサイト情報画面，図6にリアルタイムモニタリング画面，図7に故障発生時のトレンドデータ，図8に長期的なタービン温度の傾向トレンド例を示す。

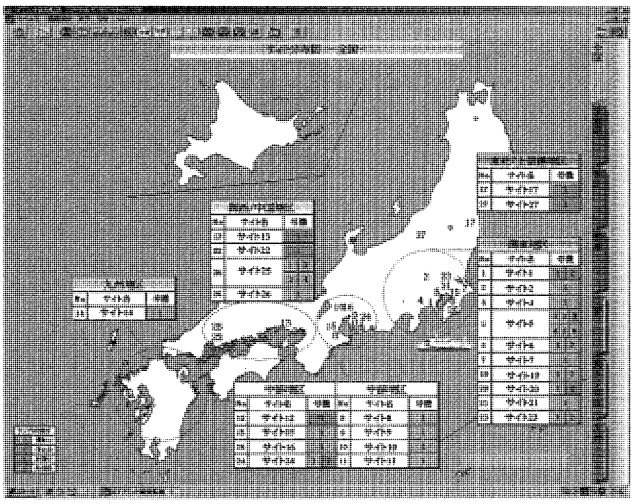


図4　技術者端末待ち受け画面

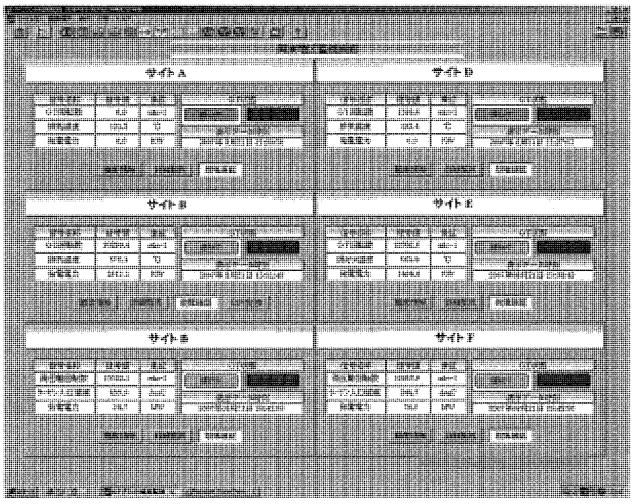


図5　技術者端末サイト情報画面

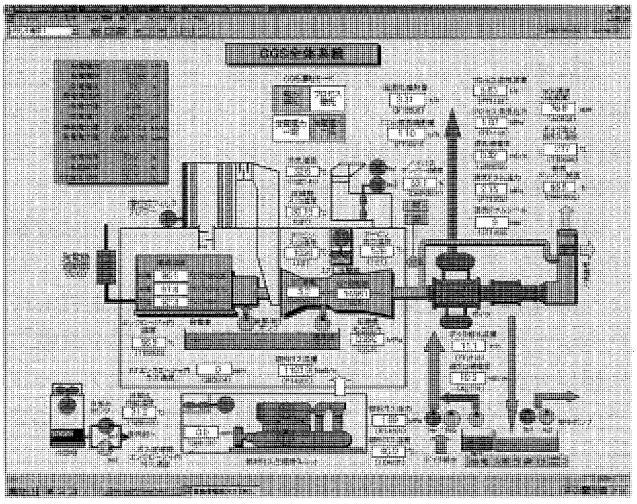


図6　技術者端末リアルタイムモニタリング画面

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

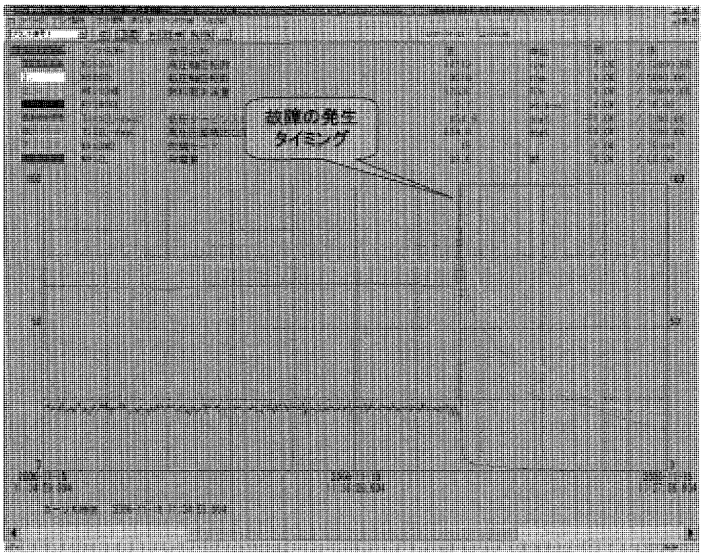


図７　技術者端末リアルタイムモニタリング画

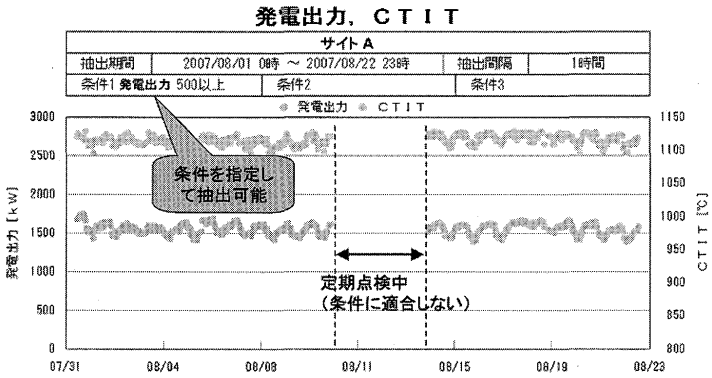


図８　傾向分析長期トレンド

3．故障診断・予防保全事例

ここでは，弊社の遠隔監視システムを利用して故障診断や予防保全などを行っている事例を紹介する。

3.1 故障診断

1）事例ー1　微小サンプル時間によるノイズの発見

遠隔監視システム技術者端末では，サイトで発生した事象の警報・イベントメッセージ，および微小サンプル時間（200 msec）で収集したトレンドデータを用いて事象の解析を行うことが可能である。

図9に警報が発報されたときのメッセージ，および図10にトレンドデータを示す。このように，メッセージにより故障の発生時刻と故障内容を時系列的に把握して，さらにトレンドデータで発生した事象の詳細を確認し，正確に分析する。この例では，可変静翼位置フィードバックにノイズが重畳して可変静翼の異常な動きを引き起こしたことが判明した。

この後のアクションとしては，継続運用するための暫定的処置の検討・実施，およびノイズの侵入箇所の推定とノイズを測定できる機材を準備しての現地調査の実施となる。

このように，遠隔監視システムを有効に活用することで，的確な一次対応，そして根本的原因を究明するための適切な機材を準備した現地調査に臨むことができ，早急な対応を提供することができる。

注）重故障は赤色、軽故障は黄色、異常復旧は緑色のメッセージで表示される。

図９　警報メッセージ画面

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

2）事例－2 DLEエンジンにおける燃焼振動の発見

図11に，DLE（Dly Low Emmission）エンジンの燃焼振動が高くなったときのトレンドデータを示す。DLEエンジンは，NOx，COなどの排出をエンジンに水（蒸気）を噴射することなく燃焼制御により実現するエンジンであり，複雑な制御となっている。

この例では，IHIでデータを解析するとともに，エンジンメーカにデータを送付して，解析とアドバイスを求めた。そして，双方の検討結果を元に適切な対応策を決定して実施した。

このように，遠隔監視装置から得られたデータは，パッケージャであるIHIとエンジンメーカで協議することでより適切な解を見出し，確実な対応を，速やかに行っている。

3.2 予防保全

1）事例－1　データ比較によるトリップの未然防止

遠隔監視システムでは，各サイトの運転データをほぼ無期限に保存している。従って，あるサイトで故障事例が発生した場合に，そのデータパターンを抽出し，他のサイトのデータと比較することで，同事象の発生状況を把握することができ，早期発見，事象発生前の対策を行うことができる。

図12にAサイトで発生した故障時のグラフを示す。事象は，減速機の故障であり，減速機に繋がる軸の回転数の上昇が遅れるという特徴があった。

同じシステム構成である他のサイトを同タイミングのデータで確認したところ，Bサイトでも同じ兆候が見られることが判明した。図13にBサイトでのグラフを示す。客先へ，経緯とデータを説明して点検したところ，同じ

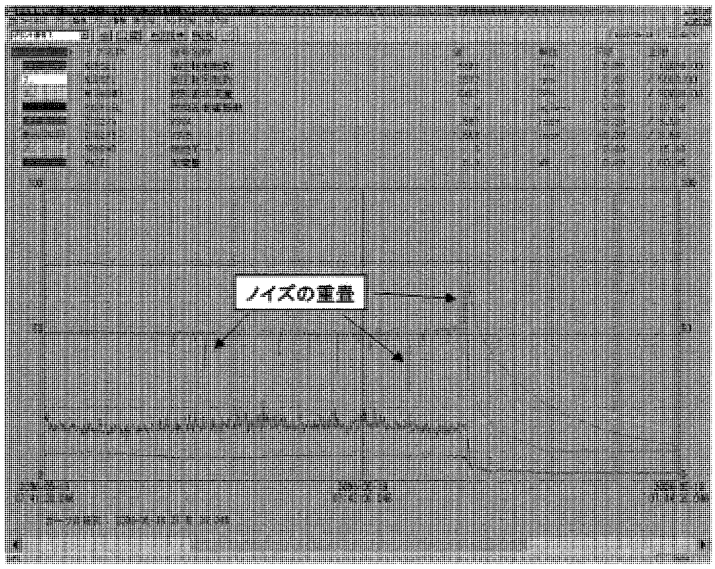


図10　ノイズの重畳

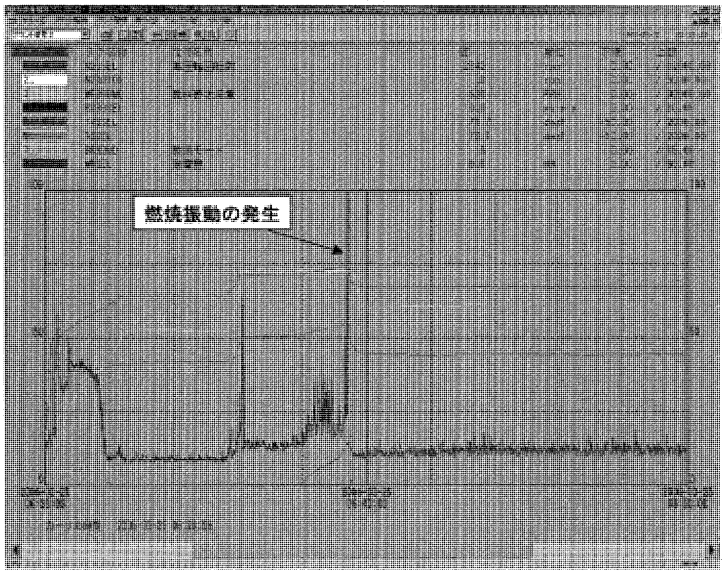


図11　DLE燃焼振動の上昇

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

ような事象が発生していることが分かり，損傷が進んでいないことから通常の商用運転に影響なく対策を行うことができた。

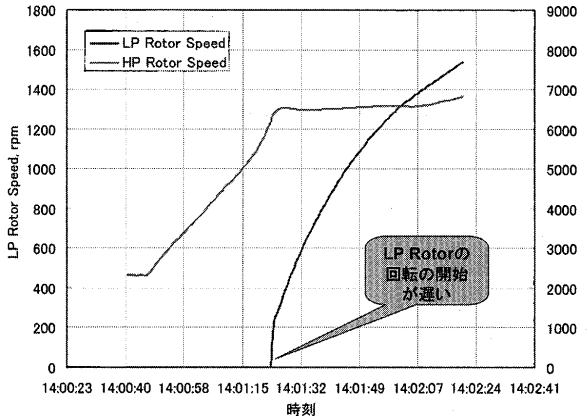


図12　減速機の故障を表すデータ

2）事例－2　長期間のトレンド計測による重大損傷の未然防止

遠隔監視システムの傾向分析機能を使用して，各種エンジンパラメータの長期的なトレンド（傾向）を監視することで，エンジンの性能劣化，プラント重／軽故障（予定外のプラント停止など）を未然に防止する取り組みを行っている。

図14に，GT排ガス温度－吸気温度相間図を，図15にNOx値－吸気温度の相関図を，および図16に振動，効率などの長期トレンドグラフを示す。

この例では，長期的トレンド監視により，振動値の上昇と効率の減少を検出した。ガスタービンエンジンの異常（故障）が考えられたため，エンジンを保護する目的で客先には次の定期点検まで出力を抑えた運用を依頼した。年次点検で検査行ったところ，果たしてエンジン内部に異常が見つかり通常点検内での改修で済み，重大損傷を未然に防ぐことができた。客先，IHI双方にとって，運用面，経済面に大きなメリットがあった例である。

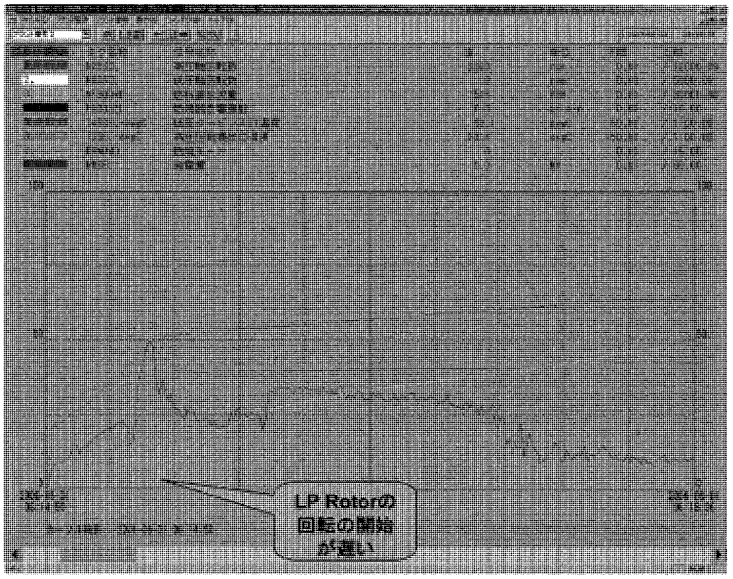


図13　故障データの比較により検出したデータ

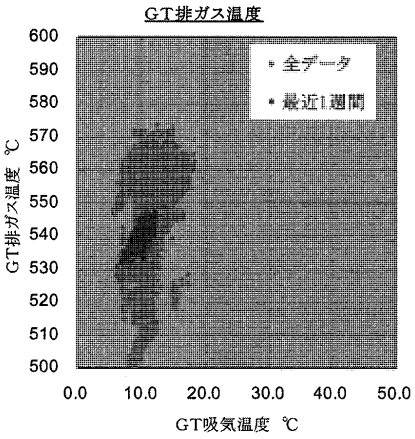


図14　GT排ガス温度－吸気温度相関図

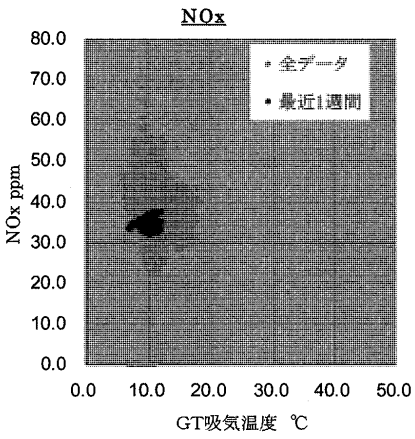


図15　NOx値－吸気温度相関図

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

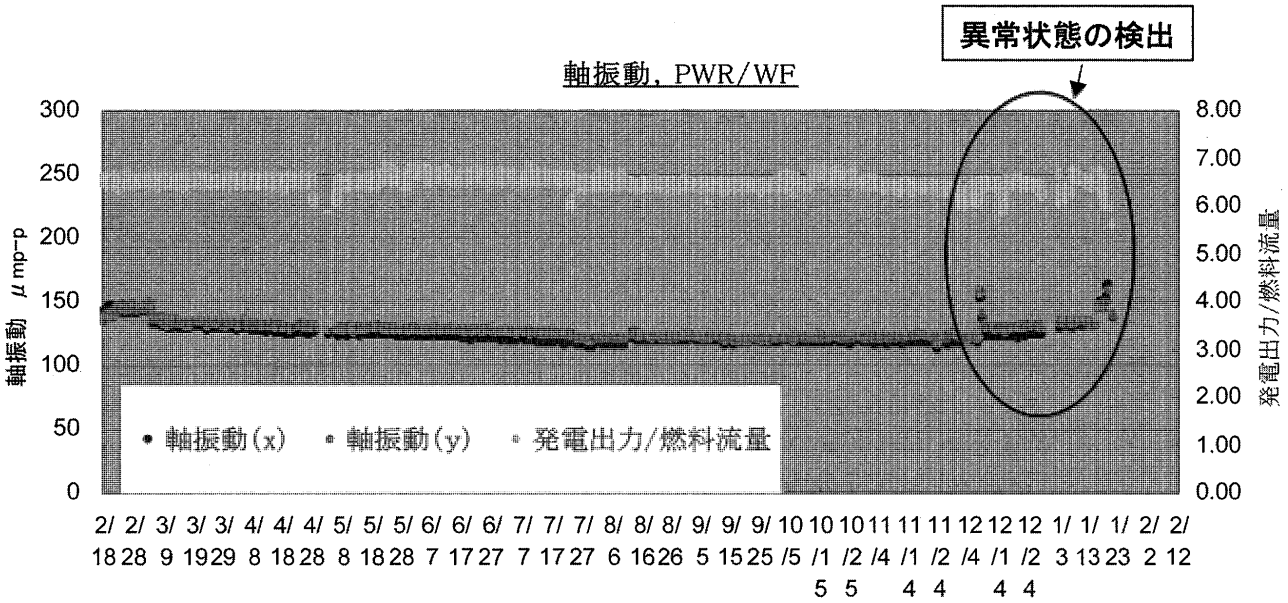


図16 振動，効率の長期トレンド

4．将来の展望

遠隔監視は今後間違いなく遠隔メンテナンスの時代に突入していくと考えられる。いわば，遠隔監視はIT技術で構築することが出来るが，今後はICT技術の活用により，コミュニケーション技術をどのように活用していくか，が鍵となってくる。ユーザーであるお客様と供給側の我々が情報を交換或いは共有し，設備を最大限有効に活用する技術への進化が必要となってくる。最小の整備で最大の性能を発揮し，最長の寿命を達成する，そういう遠隔メンテナンスの技術が今後求められるであろう。

1）メンテナンスへの活用

設備の部品在庫や調達管理のシステムをサイト側の遠隔監視装置に組み込むことにより，設備に運用に必要な交換部品の適正在庫数量を常に維持し，部品の納期を考慮した適切なタイミングで自動的に機器供給側のシステムに発注する仕組みが求められる。自動部品管理システムであり，且つユーザーと機器供給側が情報を共有し，適正在庫を維持する仕組みである。

2）性能評価

サイト側の各機器の健康状態を長期間の傾向管理で監視することにより，機器の性能劣化状態を自動的に計算するプログラムの開発が必要になってくるであろう。プログラムのアウトプットはサイト側の監視装置に送られ，劣化した性能を回復するための整備手法を与える。

3）トラブルガイド

予期せぬ突発的なトラブルに対しては，トラブルシュートのガイダンス情報を提供し，機器のダウンタイムを最小限に食い止めるための一次対応処置をユーザーに実施して頂く他，誤ったトラブルシュートによる損害の拡大を防ぐ。

4）リモートメンテナンス

機械設備は経年変化により多かれ少なかれ調整が必要となる。特に回転機械である原動機及びその周辺の補機類（BOP）は定期的な調整が必要であろう。これらの定期調整は，定期点検なり年次点検という点検工事の形で実施しているのが現状であるが，遠隔監視装置が現場の制御装置と一体化している弊社のシステムにおいては，データの双方向性が実現できるため，調整データを自動的に現場の制御装置に送り，機器の調整を自動的に行う，ということが可能である。

また，現場の制御装置のソフトウエアを自動的に更新し，また，トラブルシュートの一時的な対応まで自動的に行ってしまうことも可能かもしれない。

5．おわりに

遠隔監視システムのなかった昔は，電話やFAXなどにより不具合事象の説明をお客様に求めてトラブルシュートを実施していたが，データの細かな動きや前後の状況の変化など，故障原因を突き止める上での重要な情報の交換が非常に難しかった。通信技術やコンピュータ性能などの発展により，情報の交換が容易になり，遠く離れたところから現場の生データを目の当たりにすることが出来るようになった。今後はさらにこの監視技術をメンテナンスの技術，統合制御の技術へと発展させていきたい。最後に，遠隔監視システムの導入に賛同して頂いたお客様，システムの開発を推進して頂いた皆様に対し，謝意を述べて結言とするとともに，IT技術が今後ICT技術へとさらなる進化を続けていくことを祈念して止まない。

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

特集：原動機・発電設備へのIT技術の応用（遠隔監視技術）

航空機用ガスタービンエンジンのモニタリング

鈴木　滋*1
SUZUKI Shigeru

キーワード：オン・コンディション整備方式，トレンド・モニタリング，リアルタイム，空地データ通信システム，整備支援ツール，CMCS（Central Maintenance Computing System），ACMS（Aircraft Condition Monitoring System），RD（Remote Diagnostics），ADEM（Advanced Diagnostics and Engine Management），AHM（Airplane Health Management）

1．はじめに

現在の大型航空機用ガスタービンエンジンでは，1970年代以前に設計されたいわゆる第1世代の航空機に搭載されたガスタービンエンジンで行われていた，一定間隔毎に総分解整備を行うオーバーホール整備方式に替わり，信頼性管理の手法に基づき定期的な検査を繰り返し，エンジンの状況をモニターしながら，その状況に応じて適切な整備処置を施す，オン・コンディション整備方式が採用されている。

オン・コンディション整備方式の中核をなすモニタリング手法は，下記の3つに大別される。

①飛行中に操縦士又はモニタリング装置により行われるモニタリング

②内視鏡検査，潤滑油系統のフィルター検査及びマグネチックチップディテクター検査などの，地上での定期的な検査としてのモニタリング

③エンジンの各種パラメータの変化傾向のモニター，潤滑油の成分分析と含有量の変化傾向のモニター及び潤滑油消費量の変化傾向のモニターなどの，トレンド・モニタリング

本稿では，最近のIT技術を活用した機上のモニタリング装置によるモニタリング，及び地上でのトレンド・モニタリングについて解説する。

2．モニタリング装置によるモニタリング

飛行中のモニタリングは，操縦士によるモニタリングに加え，CMCS（Central Maintenance Computing System）及びACMS（Aircraft Condition Monitoring System）と呼ばれる機上のコンピュータにより行われる。

2.1　CMCS（Central Maintenance Computing System）

CMCSは，航空機に搭載されている各システムの自己診断結果を収集し，対応するメンテナンスメッセージに置き換えて整備用レポートを作成し，CMC（Central Maintenance Computer）に記録するシステムである。メンテナンスメッセージは重要度に応じてグループ化されており，重要度の高いものは対応する警告メッセージが操縦室の計器盤に表示され，操縦士や整備士が確実に不具合を認知できるようになっている。当社のボーイング777型機のメンテナンスメッセージは約15000種類であり，その内エンジン関連は約2700種類である。このレポートは，操縦室に装備されているMAT（Maintenance Access Terminal）と呼ばれる整備用ディスプレイで確認することができる。また，過去に発生した不具合も記録されているため，履歴を参照することもできる。更に，航空機と地上間で行われる空地データ通信（ACARS：Aircraft Communications Addressing and Reporting System）によって地上に送信することも可能である。

最近では，IT技術の発展に伴い，空地データ通信を利用して航空機が飛行中にリアルタイムで送信されたCMCSの不具合情報をボーイング社のサーバーに蓄積し，インターネットを介して閲覧できるAHM（Airplane Health Management）と呼ばれる情報提供サービスが開始されている。AHMは，同種不具合の発生頻度，運用許容基準，不具合探求マニュアル，機体整備マニュアル，過去に発生した同種不具合に対する整備処置などの情報のほか，不具合が次の運航に与える影響など，運航可否の決定に必要な情報を航空会社に提供するものであり，航空機のモニタリングを精度良く効率的に実施するための整備支援ツールである。ボーイング社はAHMサーバーの管理，運用を実施し，航空会社はAHMに必要なデータをボーイング社に提供し，使用料を支払う。

AHMの導入により，航空機が目的地に到着するまでに整備処置方針の決定や所要部品の準備が可能となるだけでなく，不具合が顕在化する前にその兆候を捉えることが出来るため，計画的な整備作業の実施が可能となり，航空機の信頼性の向上及び，遅延・欠航の防止などの効

原稿受付　2007年9月10日
＊1　日本航空インターナショナル
〒144-0041　東京都大田区羽田空港3－5－1　M1ビル

Download service for the GTSJ　member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

果が期待できる。

2.2 ACMS(Aircraft Condition Monitoring System)

ACMSは，エンジンのパラメータのみならず，機体の様々なシステムが持つセンサーや計算結果のデータを収集して記録するものであり，当社のボーイング777型機で導入しているACMSが収集するデータは1000種類を超えている。これらのデータを全飛行時間に渡って機上のOptical Disk等のメディアに記録している。記録されるデータは，その重要度や変化の度合いに応じて，数分の1秒単位から数秒単位で記録される。データを記録したOptical Disk等のメディアは基地に到着する毎に機体から取り外され，地上のAGS（Analysis Ground Station）と呼ばれる解析システム用サーバーにデータを転送し蓄積される。これら蓄積されたデータを解析することによりわずかな状態の変化を捉えることができ，不具合の原因探求や早期発見に役立っている。更に，2008年に就航予定のボーイング787型機では，新しく開発されたゲート・リンク（Gate Link）と呼ばれる航空機と空港ゲート間の大容量無線通信システムにより，Optical Disk 等のメディアを介することなく，機上のサーバーから地上のサーバーへのデータ転送が可能となるオプションも準備されており，より迅速なデータ解析が可能となる。

ACMSではまた，各種の整備用レポートを作成して空地データ通信システムを経由し，飛行中にリアルタイムで地上に送信する機能も有している。このレポートはあらかじめ設定されている各種パラメータの許容値を超過（Exceedance）した場合にその発生を知らせるものや，不具合の兆候として現れる変化をモニターし，ある既定値を超過した場合に整備士に警告を与えるもので，目的地に到着する前に不具合を認知することが可能であり，迅速な整備処置や不具合の解析につながっている。表1に，当社のボーイング777型機に装備されているGE90-94Bエンジンの主なACMSレポートを示す。

表1 GE90-94B エンジンの主なACMSレポート

レポート名	説明
EGT Exceedance	排気ガス温度（EGT）が規定の値を超過した場合に作成される。既定の値は運用限界値も含め，3段階ある。
N1 RPM Overspeed	低圧軸回転数（N1）が既定値を超過した場合に作成される。
N2 RPM Overspeed	高圧軸回転数（N2）が既定値を超過した場合に作成される。
Oil Temp High	潤滑油温度が既定値を超過した場合に作成される。
Oil Press Low	潤滑油圧が既定値を下回った場合に作成される。
N1 Vibration	低圧軸の振動値が既定値を超過した場合に作成される。
N2 Vibration	高圧軸の振動値が既定値を超過した場合に作成される。
Oil Consumption High	潤滑油の消費量が既定値を超過した場合に作成される。
In Flight Shutdown	エンジンを空中停止した場合に作成される。
Abnormal Starting	エンジンが異常始動した場合に作成される。

3．トレンド・モニタリング

トレンド・モニタリングにおいては，日々変化するエンジンパラメータの傾向をモニターすることで，不具合が顕在化する以前にその前兆を捉えることが可能となり，予防的な整備処置を行う上で非常に有効な手段となっている。

対象となる主なパラメータは，N1（低圧軸回転数），N2（高圧軸回転数），EGT（排気ガス温度）及びFuel Flow（燃料流量）等であり，離陸時の最大出力時，または巡航中の安定した状態におけるパラメータを測定し，標準的な状態に修正してその変化傾向をモニターするものである。測定及び修正されたこれらのパラメータは，統計処理が施された後，グラフ形式で出力される。表2に，GE90-94Bエンジンの主なモニタリングパラメータを示す。

表2 GE90-94B エンジンの主なモニタリングパラメータ

種類	パラメータ
温度	ファン入口温度（T12） 高圧圧縮機入口温度（T25） 高圧圧縮機出口温度（T3） 低圧タービン入口温度（EGT）
圧力	高圧圧縮機出口圧（PS3） 高圧抽気ダクト圧（P3B）
回転数	低圧軸回転数（N1） 高圧軸回転数（N2）
振動	低圧軸振動値（N1 Vib） 高圧軸振動値（N2 Vib） 低圧軸不釣合位相 高圧軸不釣合位相
その他	潤滑油圧 潤滑油温度 潤滑油フィルター差圧 燃料流量 燃料フィルター差圧

この手法では，安定した測定値を採取することが重要である。初期の頃は操縦士が計器盤の数値を読み取り，安定したと判断した時の数値を飛行日誌（Flight Log）に記録していた。その後，前述のACMS等の機上のコンピュータにエンジンの安定した状態を判定するロジックを組み込み，データを採取し，機上の記録装置にデータを記録させる手法が採用され始めた。この手法においても，データの処理を行うのは地上のコンピュータである。

最近では，より迅速にデータをモニターするため，空地データ通信システムを用いた新しい手法が開発されている。ここでは，空地データ通信システムを用いたモニタリング手法として，GE（General Electric）社により開発され当社が導入したトレンド・モニタリングシステム，RD（Remote Diagnostics）について説明する。なお，P&W（Pratt and Whitney）社では，同様のシステムをADEM（Advanced Diagnostics and Engine Management）と呼ぶ。図1に，RDシステムの概念図を示す。

このRDシステムでは，離陸時や巡航中など，飛行中に決められたタイミングでエンジンの各種パラメータがACMSにより採取され，飛行中に空地データ通信システムを経由してGE社のRDセンターにリアルタイムで送信される。

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

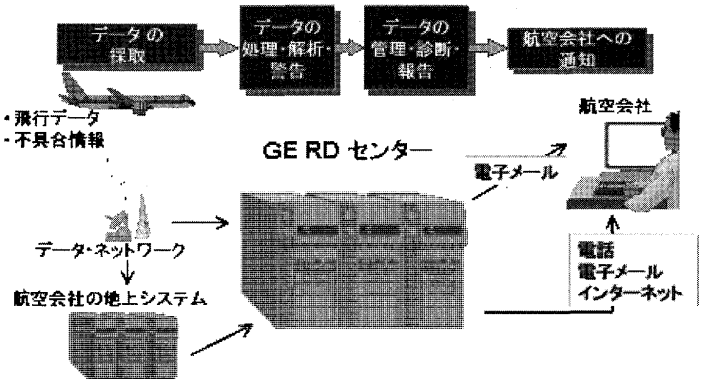


図１　GE社RDシステム概念図

RDセンターは24時間365日稼動しており，送信されたデータは即座に解析され，その結果整備処置が必要と判断された場合には，推定される不具合と実施すべき整備処置の内容が電子メールや電話などで航空会社に通知（CNR:Customer Notification Report）される。特に急を要すると判断された場合は，航空機が次の目的地に向けて出発する前に整備処置を実施することが推奨される場合もある。GE社はRDセンターの維持管理，運用を実施し，航空会社はRDに必要なデータを提供しサービス料を支払う。

図２に，当社のエンジンで潤滑油フィルターの差圧が上昇したことを捉えた実例を示す。

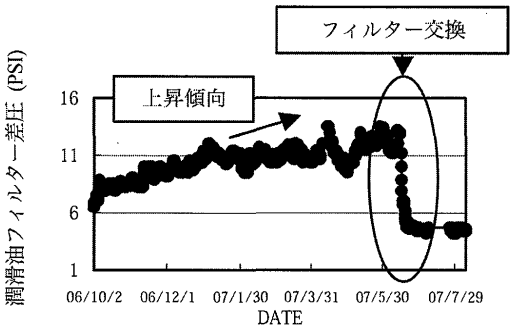


図２　RDデータの解析例

このエンジンの場合，GE社によるモニタリングの結果，潤滑油フィルターに目詰まりが発生しつつある可能性があることが判明したため，当社に電子メールにて通知された。当社の技術セクションにて通知内容を検討した結果，エンジン内部の軸受けなどに不具合が発生して金属粉などの破片が堆積して差圧が急激に上昇したものではなく，通常の運転中に潤滑油系統に混入する大気中の細かいチリや埃がフィルターに堆積した結果，差圧が徐々に上昇傾向を示しているものと判断されたため，即座に整備処置を実施することなく，最寄の整備機会に潤滑油フィルターの交換が実施され，差圧が正常値に回復（減少）した。なお，取り外されたフィルターには，金属粉等の堆積は認められなかった。

RDセンターに蓄積されたトレンド・データは，一般のインターネットを介して閲覧が可能となっており，GE社からの通知を待たずに，航空会社において積極的にトレンド・モニタリングを実施することも可能となっている。図３に，インターネット上での実際の閲覧画面の例を示す。RDセンターに蓄積されたトレンド・データや不具合を捉えて適切な整備処置が実施された事例などは，通常は当事者以外の航空会社には開示されない場合が多いが，最近では，航空会社間で過去の事例を共有

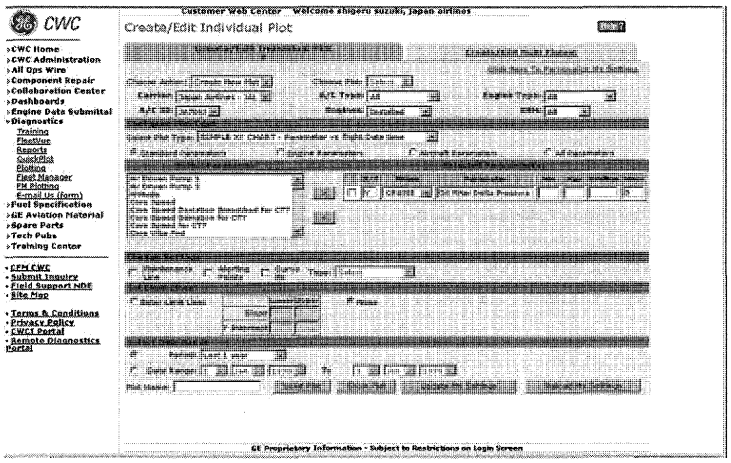


図３－１　実際の閲覧画面の例（初期画面）

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

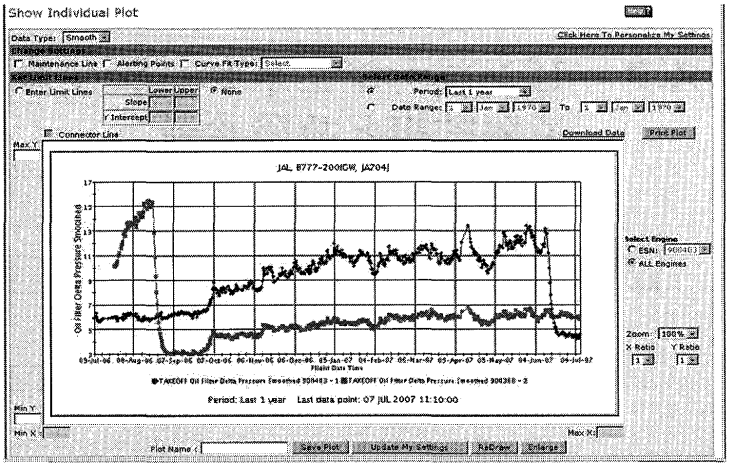


図３－２　実際の閲覧画面の例（グラフ出力画面）

し，参考情報として今後のモニタリングに活用したいとの要望がGE社に多く寄せられており，情報の開示が実現すれば，航空会社が蓄積した経験やノウハウのフィードバックにより，モニタリング精度の更なる向上が期待される。

4．おわりに

最近のIT技術の進歩はめざましいものがあり，航空機整備の分野においてもIT技術を積極的に導入して効率的かつ的確に整備を行うことを支援する整備支援ツールが開発され，経験と工夫を生かした職人的な整備というものがシステマチック的な方向に変化して来ている。最新のモニタリングシステムでは，多くのパラメータをリアルタイムでモニターすることが可能となり，長い飛行時間を要するフライトの場合には，目的地に到着する前にエンジンの異常を知ることができ，場合によっては次の到着地でより適切でタイムリーな整備処置の実施が可能となる。また，エンジン自身に長期のモニタリングと判断機能を装備することがエンジンメーカーにより検討されている。今後，この種の整備支援ツールの開発は航空機の更なる発展と共に進化し続けることが予想され，より安全な航空機の提供につながることが期待される。

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

特集：原動機・発電設備へのIT技術の応用（遠隔監視技術）

マイクロガスタービンコージェネレーションシステムの遠隔監視と故障診断

片岡　匡史*1 KATAOKA Tadashi
岸川　忠彦*1 KISHIKAWA Tadahiko
坂田　滋*1 SAKATA Shigeru
中川　貴博*1 NAKAGAWA Takahiro
石黒　淳*2 ISHIGURO Jun

キーワード：マイクロガスタービン，遠隔監視，故障検知，故障診断，予防保全

1．はじめに

マイクロガスタービンコージェネレーションシステムは，ガスタービンエンジン，発電機，パワーコンディショナ（PCS），燃料ガス圧縮機，排熱回収装置など多くの複雑な機器で構成された，いわば小さな発電プラントである。しかし，小規模分散型発電装置としてのマイクロガスタービンには，専任のオペレータやメンテナンス要員が配置されることは少なく，一方で高い稼働信頼性，毎日起動・停止における高い起動信頼性，低メンテナンスコストが要求されている。高信頼性を得るためには機器や部品に高品質と高耐久性が要求されるが，それは同時に高コストを招くという矛盾を抱えている。適切なコストで最大の運用効率を得るために，産業用ガスタービンや航空エンジンでは，燃焼器やタービンブレードなどの主要部品の劣化や損傷の進行状況を逐次点検し，適切な時期に補修または交換する手法が採られているが，マイクロガスタービンでは熟練技術者による常時の運転監視や点検が期待できないため，遠隔監視による運用とメンテナンスのサポートが不可欠である。

遠隔監視の第一の目的は，緊急停止時の原因分析と再起動の可否判断である。緊急停止は，機器の故障の他にも瞬時停電や燃料供給の遮断など様々な要因で発生し，すぐに再起動して差し支えない場合が少なくない。また電力会社とユーザ間の契約によっては，発電停止中に消費電力が契約電力量を超えると付加料金が課され，契約料金が上げられる。従って緊急停止時には，速やかに再起動可否の判定が行われ，その結果がユーザに通知されなければならない。第二の目的は，故障の根本原因の究明と再発の防止である。故障の部位と原因は様々であり，かつ複雑であるため，故障発生前後の状況を詳細に分析することによって，根本原因の特定と有効な対策が可能になる。第三の目的は健全性評価および故障予知の実施である。蓄積されたデータベースとの比較により運転状態の良否が判定される。また，潜在する異状が故障や緊急停止の発生前に発見され，事前に処置をすることが可能になる。さらに，長期にわたる時系列データの変化傾向から修理の要否と時期が決定され，メンテナンスの最適化を図ることができる。

著者らは，表1に主要諸元を示すマイクロガスタービンコージェネレーションパッケージの開発[1]にあたり，大容量高速データの獲得と保存，ならびにインターネットによるデータの共有を可能にした遠隔監視システムを同時に開発した。販売した全てのパッケージにこの監視システムを標準装備することで，一日24時間一年中サポートできるサービス体制を構築している。図1に24時間監視を行っている遠隔監視センター内の写真を示す。本稿では，遠隔監視システムの構成と機能を紹介し，高速過渡データを用いた故障診断手法と長期間トレンドデータを用いた故障予知手法を，いくつかの事例を用いて解説する。

表1　主要諸元

定格発電出力	95 kW
定格回転数	68000 rpm
圧縮比	4
発電効率	28％（±1％）
排気ガス温度	280 ℃
排気ガス流量	2400 Nm^3/h
熱出力	155 kW（温水） 106 kW（蒸気）
質量	約 3000 kg
寸法（L×W×H）	3450 x 1150 x 2680 mm

（上記性能は吸気温度15℃の場合を示す）

原稿受付　2007年9月18日
＊1　㈱荏原製作所　マイクロガスタービン技術室
〒299-0296　千葉県袖ヶ浦市中袖20－1
＊2　ITエンジニアリング㈱　ITE事業部　ソリューションサービス部
〒144-8510　東京都大田区羽田旭町11－1

Download service for the GTSJ　member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

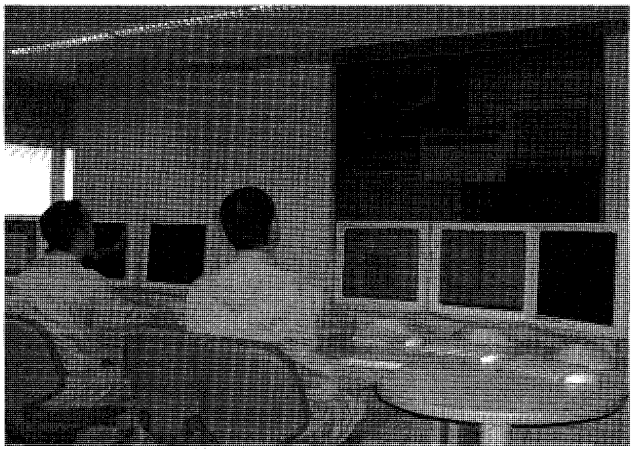


図1 遠隔監視センター

2．遠隔監視システム

遠隔監視システムのハードウェア構成を図2に示す。マイクロガスタービンコージェネレーションシステムはパワーコンディショナ（PCS）制御ボード，マイクロガスタービンエンジン制御ボード，システム制御ボードの3枚のマイクロプロセッサ搭載制御ボードを持つ。それぞれの制御ボードはRS485データ通信バスで接続され，さらにRS232C通信バスでローカルデータサーバ（LDS）に接続される。それぞれの制御ボードが持つセンサ信号測定値，演算値，設定値，状態値，警報メッセージなどのデータは，LDSからISDN回線，通信サーバを経由して，データセンターの中央データサーバ（CDS）に転送される。監視サービススタッフや担当技術者は，認証サーバを経由してCDSにアクセスし，データを閲覧することができる。また，契約された顧客もインターネット経由でCDSにアクセスすることができる。

遠隔監視システムのデータの流れを図3に示す。マイクロガスタービンのロータ回転数，温度，圧力，パッケージ内部温度，PCSの発電出力，電流，電圧，温度，系統電圧，受電電力，燃料流量，温水流量，積算運転時間，積算発電電力量など，総計で80点のアナログデータ，288点のデジタルデータが収集される。マイクロガスタービンエンジン制御ボードでは，リアルタイムデータが10ミリ秒毎に更新されており，また緊急停止発生時には，事象発生前30秒間と発生後10秒間，合計40秒間の10ミリ秒周期の高速過渡データが自動的に保存される。また，システム制御ボードでは最新30分間の0.5秒周期の高速過渡データが，そしてLDSでは最新10日間の15分周期の長期データが保存され，常に更新されている。この長期データから必要なデータが抽出され，日報・月報形式の帳票が作成される。さらに，LDSでは，装置の起動停止や緊急停止の時刻，警報メッセージなど，最新の300事象を保存している。これらのデータは，基本的にオペレータが取得操作を行うことでCDSに転送・保存されるが，データによっては自動収集の設定も可能である。CDSのデータは，個々のPCにおいて汎用インターネットブラウザソフトで閲覧することができ，リアルタイムデータの監視，帳票の印刷，PCにデータを転送して分析することなどが可能である。

遠隔監視システムは，マイクロガスタービンコージェネレーションシステムで緊急停止などが発生した場合に，予め指定したパソコンに，自動的に事象の発生をポップアップで通報する機能を持っている。事象発生時には，監視サービススタッフと担当技術者が通報を受け，速やかにデータの収集と分析を行い，対策を決定する。彼らはまた，定期的に運用状況を確認し，データを分析して装置の健全性評価を行っている。

3．高速過渡データを用いた故障診断

3.1 系統異常による停止

発電出力93kWで運転中のマイクロガスタービンが，故障発報『ロータ加速度過大』により緊急停止した。停止前後5秒間の，10ミリ秒周期サンプリングの高速過渡データを図4に示す。系統電圧と発電出力は，PCS制御

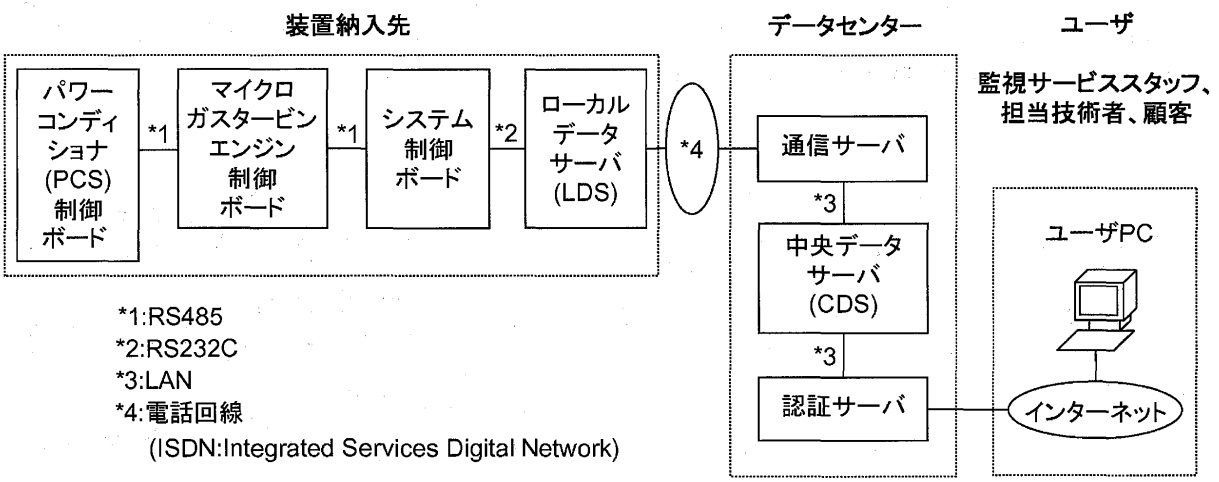


図2 遠隔監視システムのハードウェア構成

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

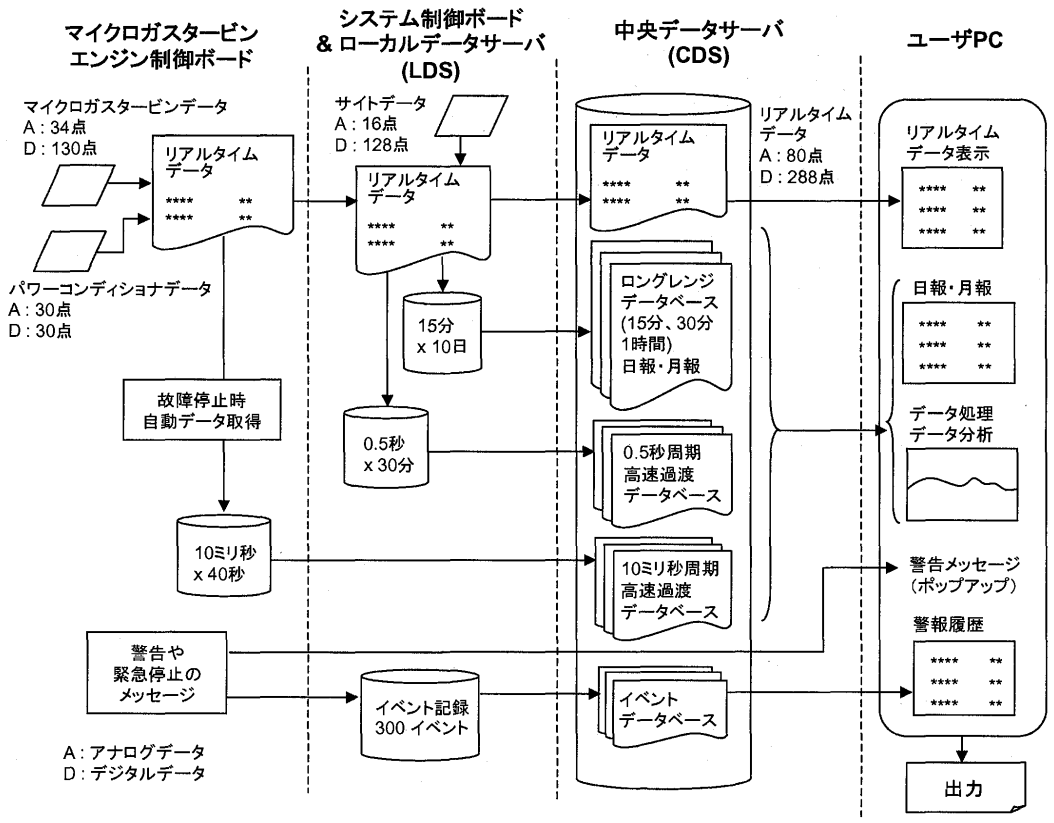


図３　遠隔監視システムのデータの流れ

ボードからマイクロガスタービンエンジン制御ボードに送信されるデータであるため，他のデータより約70ミリ秒ほど遅れており，10ミリ秒周期の高速過渡データを分析する際には，この遅れ時間を考慮する必要がある。図４より，ロータ加速度が突然上昇し，一旦低下した後再び上昇して，それから徐々に低下していることがわかる。また，ロータ加速度上昇とほぼ同時に燃料制御弁が閉じ，わずかに遅れて，発電出力が低下し，ロータ回転数が上昇している。系統電圧と発電出力は移動平均処理が行われているため，データとしては階段状の変化を示しているが，実際の系統電圧と発電出力は急激に変化している。以上の状況は，全負荷遮断が発生した時の典型的な過渡トレンドを示している。この際，系統電圧の450Vから400Vへの一時的な低下が確認され（図４参照），系統電圧変動による緊急停止であると判断された。ロータ回転数のコーストダウンの様子や潤滑油温度の変化などから，機械的な損傷がないことが確認され，ユーザに再起動可能が通知された。この時，現地では強い雷が発生していたとの報告があり，それが系統電圧変動の原因と推定された。

系統異常による緊急停止の他の例として，発電出力80kWで連続運転中にロータ加速度が急変し，故障発報『ロータ加速度過大』により緊急停止した場合の高速過渡データを図５に示す。図４の例と同様に，ロータ加速度上昇と同時に燃料制御弁が閉じ，発電出力が低下し，ロータ回転数が上昇している。この際，同時に系統電圧が低下して零になっていることから，停電による系統異常であることが分かった。マイクロガスタービンのPCS

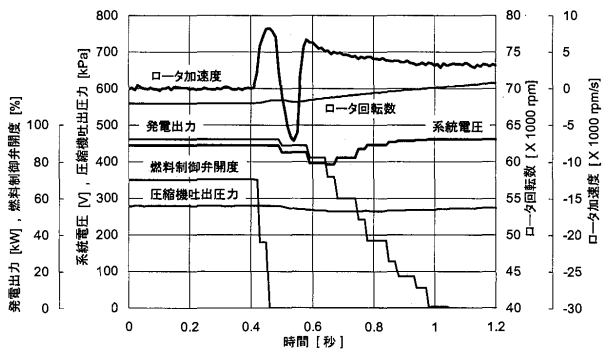


図４　系統電圧変動による緊急停止時の高速過渡データ

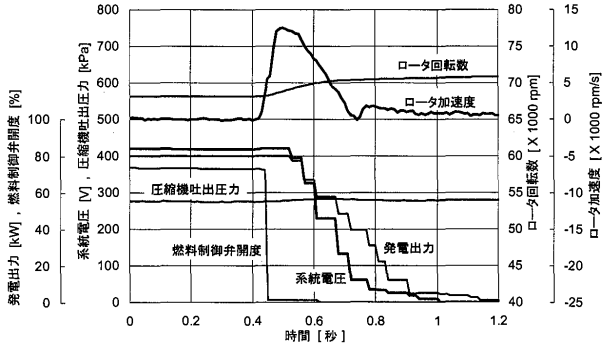


図５　系統異常（停電）による緊急停止時の高速過渡データ

Download service for the GTSJ　member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

は，停電の場合に単独運転を検知する機能を持っているが，この場合は，その機能が作動するよりも先に加速度上昇を検知して緊急停止している。系統復電後，マイクロガスタービンは運転復帰した。

停電時の系統異常による緊急停止時のロータ回転数と圧縮機吐出圧力の関係を図6に示す。ロータ回転数は68000rpmの定常運転点から，全負荷遮断により70000rpm以上まで上昇し，その間，圧縮機吐出圧力はやや増加する。最大回転数まで到達した後，ロータ回転数と圧縮機吐出圧力はほぼ均等に，直線的に低下する。この図は緊急停止時の要因分析に有効であり，後節において他の緊急停止要因との比較を示す。

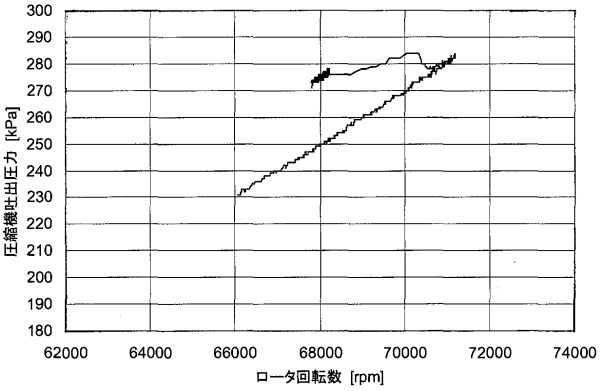


図6　系統異常(停電)による緊急停止時のロータ回転数と圧縮機吐出圧力の関係

3.2　センサ信号異常による停止

発電出力80kWで運転中のマイクロガスタービンが，故障発報『炎吹き消え』により緊急停止した。緊急停止前後の高速過渡データを図7に示す。ロータ加速度が急減し，同時に燃料制御弁が全開になり，すぐに全閉になっている。少し遅れて，発電出力が低下し，ロータ回転数が増加している。制御ロジックにより，燃料制御弁が全開になったことが『炎吹き消え』と判断され，緊急停止した。この際，ロータ回転数が瞬時に低下した後，復帰している様子が見られるが，その一方で，圧縮機吐出圧力にはロータ回転数の低下に関連した変化が見られないことから，実際にはロータ回転数は変化しておらず，ロータ回転数信号の一時的な欠落が原因であると判断された。

図8にロータ回転数と圧縮機吐出圧力の関係を示す。図中には，比較のため図6の例を細線で示してある。ロータ回転数低下時に圧縮機吐出圧力は変化せず，またシャットダウン時にロータ回転数はほとんど上昇せず，全負荷遮断とは明らかに異なる軌跡を描いている。

この場合，機械的な損傷でないことが確認されたため，ユーザに再起動可能が通知された。さらなる調査により，ロータ回転数信号ケーブルとコネクタの接触不良がロータ回転数信号の欠落の根本原因であることが判明したため，この現場を含め，運転している全てのマイクロガスタービンのケーブルが交換された。

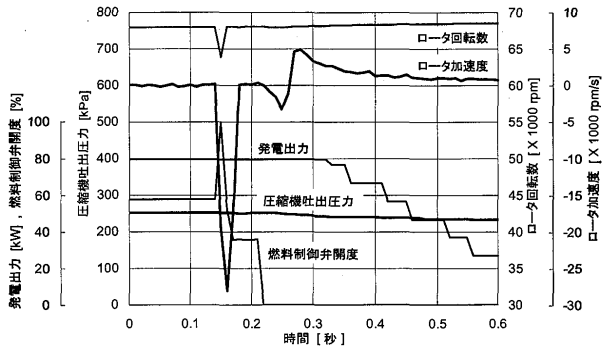


図7　ロータ回転数信号異常による緊急停止時の高速過渡データ

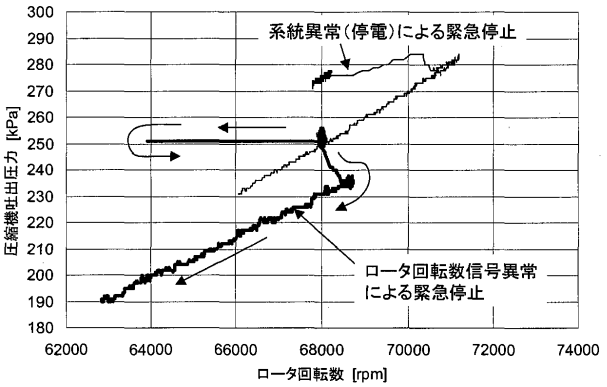


図8　ロータ回転数信号異常による緊急停止時のロータ回転数と圧縮機吐出圧力の関係

3.3　圧縮機のストールによる停止

発電出力80kWで運転中のマイクロガスタービンが，故障発報『ロータ加速度過大』により緊急停止した。緊急停止前後の高速過渡データを図9に示す。ロータ加速度上昇と同時に燃料制御弁が閉じ，発電出力が低下し，ロータ回転数が一旦低下した後上昇している。この際，

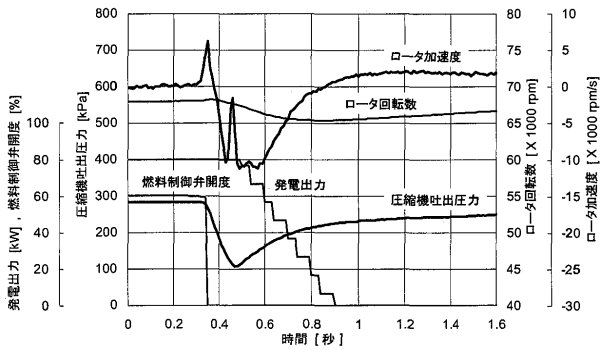


図9　圧縮機ストールによる緊急停止時の高速過渡データ

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

圧縮機吐出圧力が一時的に280kPaから100kPa近くまで急低下している様子が見られる。図10にロータ回転数と圧縮機吐出圧力の関係を示す。定常運転点から，ロータ回転数がわずかに増加しながら圧縮機吐出圧力が急低下し，その後ロータ回転数の低下と共に圧縮機吐出圧力が回復するサイクルを描いている。図11に示す過去のデータとの比較により，この現象は圧縮機のストールによるものと判断された。図11の場合には，圧力低下を3回繰り返して停止している。一方，図10の場合には，強化された負荷遮断検知機能によって，初めの圧力低下で緊急停止され，機械的な損傷が防がれている。この場合，コーストダウン時のロータ回転数，潤滑油温度の推移などのデータを分析した結果，再起動可能との判断がユーザに通知され，運転が復帰された。

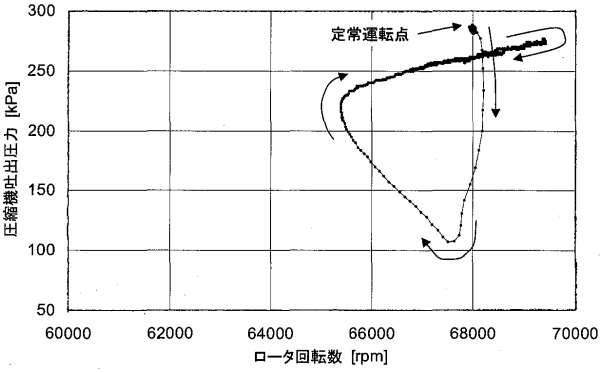


図10　圧縮機ストールによる緊急停止時のロータ回転数と圧縮機吐出圧力の関係（1）

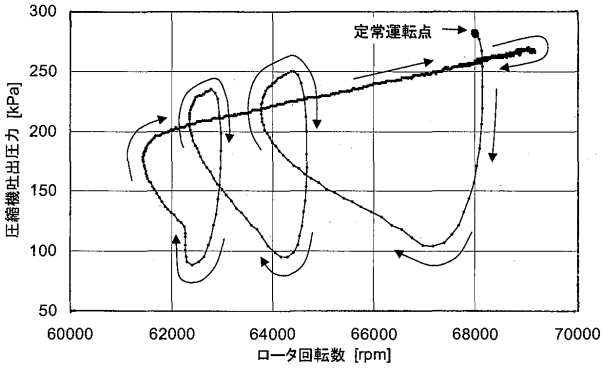


図11　圧縮機ストールによる緊急停止時のロータ回転数と圧縮機吐出圧力の関係（2）

3.4　起動プロファイルの改善

通常の冷間起動時の高速過渡データを図12に示す。ロータ回転数15000rpmで40秒間パージした後，燃料を供給して着火させ，28000rpmで60秒間保持された後，定格ロータ回転数68000rpmまで昇速される。その後，発電出力が定格負荷まで上昇する。

図13は好ましくない冷間起動の例である。定格回転数までの加速中に，タービン排気温度が450℃に達しており，燃料供給過多が懸念された。遠隔操作で起動制御パラメータの調整が行われたが，状況は改善されなかった。現地での検査により，マイクロガスタービンと再生器のインターフェースからの圧縮空気漏れが原因と判断され，再生器が交換された。

再生器交換前後の起動データの比較を図14に示す。比較を容易にするため，横軸をロータ回転数にして，燃料制御弁開度，タービン排気温度，圧縮機吐出圧力が示されている。再生器交換後は，ロータ回転数が28000rpm

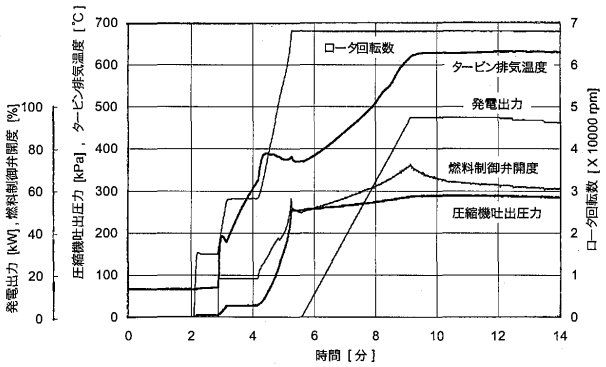


図12　通常の冷間起動時の高速過渡データ

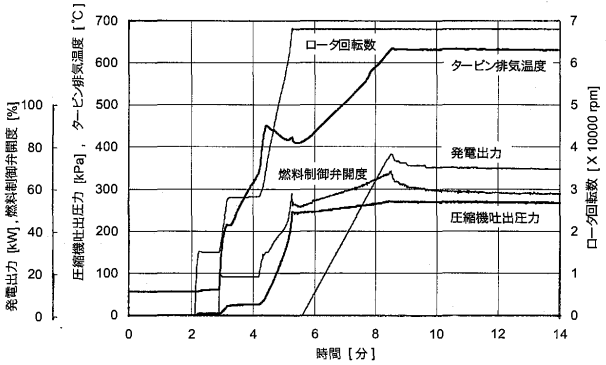


図13　好ましくない冷間起動時の高速過渡データ

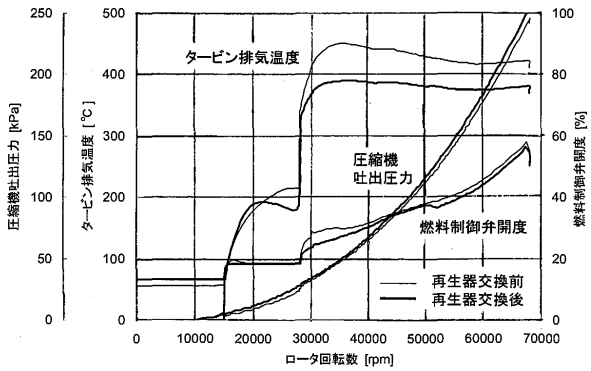


図14　再生器交換前後の冷間起動データの比較

Download service for the GTSJ　member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

から68000rpmまで加速する間の燃料制御弁開度が全体的に低下しており，タービン排気温度が全体にわたって50℃低下して正常範囲に入っている。また圧縮機吐出圧力が全体的に高くなっており，圧縮空気漏れが改善されたことが伺える。

4．長期データを用いた故障予知

4.1 性能の低下

某所にて稼動中のマイクロガスタービンの発電出力と吸気温度の約2ヶ月にわたる長期トレンドを図15に示す。発電出力は吸気温度の影響を受けるため，日毎に変化しながら緩やかに推移しているが，特段の問題はないように見える。これを横軸に吸気温度，縦軸に発電出力をとって示すと図16のようになる。ガスタービンは，吸気温度が上がると発電出力が下がる，いわゆる出力低下特性を持つため，データは右下がりの傾向を示している。しかし，通常は一つの線に沿って分布するはずのデータが，広い範囲に分布している様子が見られる。この分布傾向を時系列で分析するために，出力低下の傾きを一定として個々のデータから出力低下開始温度を計算で求めた。図17は出力低下開始温度の長期トレンドを示す。途中まで，出力低下開始温度は25℃前後の一定値を保持しているが，ある時点から明確な低下傾向を示しており，一ヵ月後には15℃以下になっている。総合的な分析から，燃焼器の劣化が予想されたため，マイクロガスタービンを計画停止して点検が実施され，劣化した燃焼器の交換が行われた。燃焼器交換後はマイクロガスタービン性能が回復した。

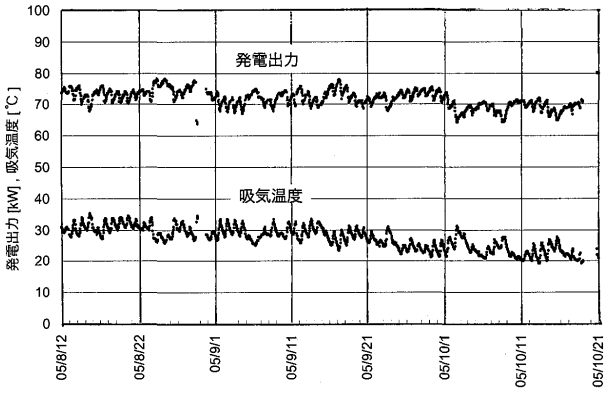


図15 発電出力と吸気温度の長期トレンドデータ

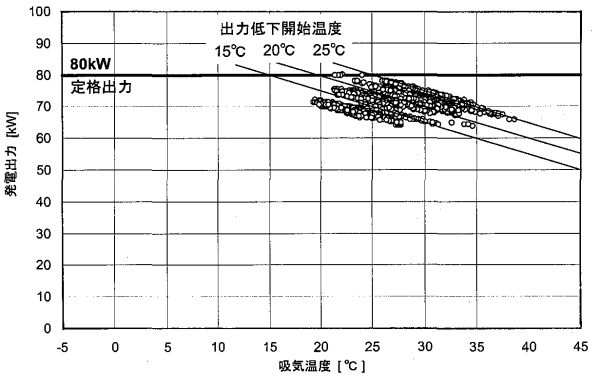


図16 発電出力と吸気温度の関係

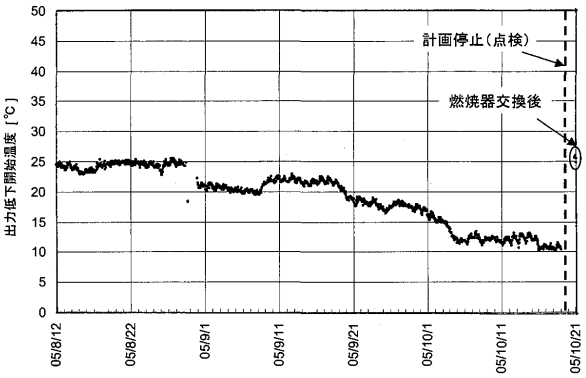


図17 出力低下開始温度の長期トレンドデータ

4.2 潤滑油圧力減少

某所にて稼動中のマイクロガスタービンの潤滑油圧力と潤滑油供給温度の約一年間にわたる長期トレンドを図18に示す。潤滑油の温度と圧力は調節弁によってある程度制御されているが，長期的には吸気温度の影響を受けて変化する。すなわち，潤滑油供給温度が冬季は下がり，夏季は上がるため，潤滑油圧力は逆に冬季に高く，夏季に低くなる。図18は冬季から夏季にかけて潤滑油圧力が緩慢に低下しているのを示しており，特に異状はないように見受けられる。これを，横軸に潤滑油供給温度，縦軸に潤滑油圧力をとると，図19のように示される。潤滑油供給温度と圧力は本来リニアな関係にあるため，データは一直線上に分布すると考えられるが，図19には広い分布が示されている。この分布傾向を時系列で分析するために，圧力低下の傾きを一定として，個々のデータから潤滑油供給温度60℃で正規化した潤滑油圧力を計算で求めた。図20は正規化潤滑油圧力の長期トレンドを示す。ほぼ一定で推移していた正規化潤滑油圧力が，ある時点から低下傾向を示しているのが明確にわかる。潤滑油タンク内の潤滑油量減少と潤滑油の泡立ちによる潤滑油圧

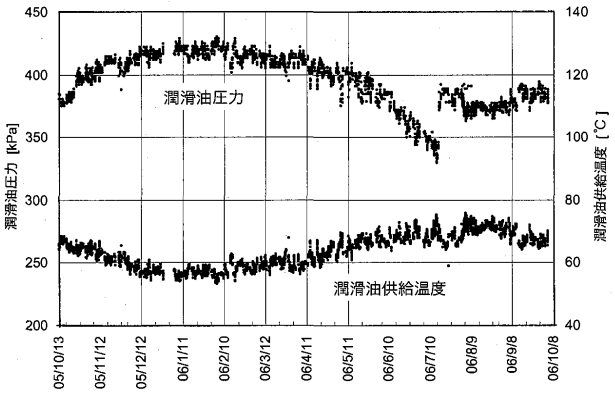


図18 潤滑油圧力と潤滑油供給温度の長期トレンドデータ

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

力の低下が予想されたため，低下傾向を示してから約一ヶ月半後にマイクロガスタービンが計画停止され，潤滑油の補充と潤滑油シール用空気バッファラインの清掃が行われた。整備後，圧力は回復し，一定値を保持するようになった。

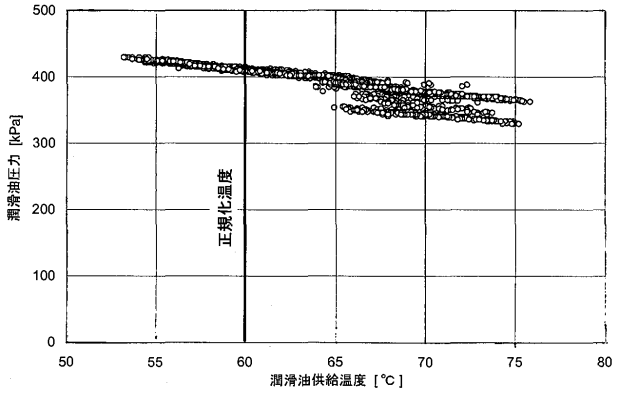


図19　潤滑油圧力と潤滑油供給温度の関係

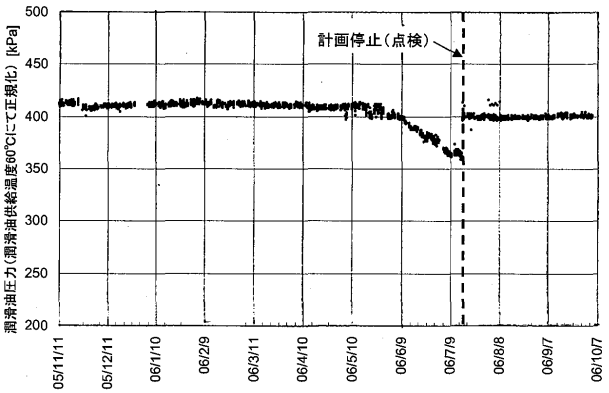


図20　正規化潤滑油圧力の長期トレンドデータ

4.3　潤滑油の冷却

某所にて稼動中のマイクロガスタービンの潤滑油供給温度と潤滑油戻り温度，吸気温度の約３ヶ月にわたる長期トレンドを図21に示す。潤滑油供給温度は吸気温度の影響を受けて変化し，潤滑油供給温度と潤滑油戻り温度の差は軸受や発電機に異状がなければほぼ一定を保つ。図21に示された各温度はほぼ一定の関係を持って推移しており，特に問題は無いように見受けられる。これを，横軸に吸気温度，縦軸に潤滑油温度をとると図22のようになる。潤滑油供給温度と潤滑油戻り温度とも，ほぼ一直線上に分布しているが，それぞれ約10℃高い位置に分布しているグループが存在することがわかる。この分布傾向を時系列で分析するために，傾きを一定として個々のデータから吸気温度15℃で正規化した潤滑油温度を計算で求めた。図23は正規化潤滑油温度の長期トレンドを示す。ほぼ一定値で推移している正規化潤滑油温度が，ある時期だけ高い値を示していることがわかる。また，潤滑油供給温度と潤滑油戻り温度の両方が同時に変化していることから，軸受や発電機の問題ではなく，潤滑油冷却系の問題が予想された。そこで運転休止日に点検が実施され，潤滑油クーリングファンドライバに劣化が確認されたため，交換が行われた。

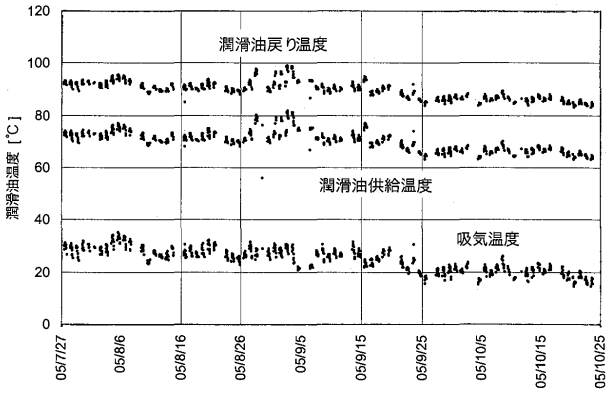


図21　潤滑油供給温度と潤滑油戻り温度の長期トレンドデータ

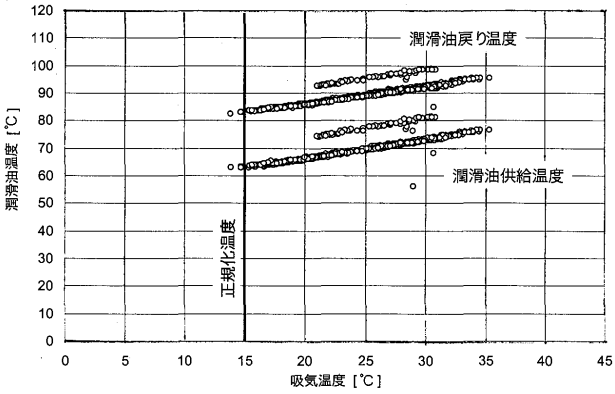


図22　潤滑油供給温度，潤滑油戻り温度と吸気温度の関係

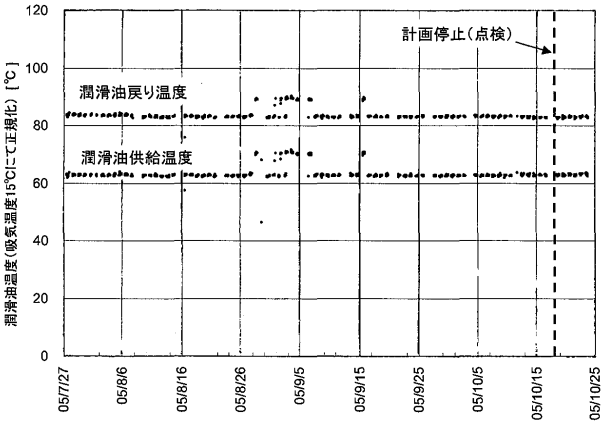


図23　正規化潤滑油温度の長期トレンドデータ

5．まとめ

遠隔監視システムの構築により，各サイトで稼動するマイクロガスタービンコージェネレーションシステムの

Download service for the GTSJ　member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

様々なデータの獲得と保存が可能となり，遠隔監視データを用いた故障診断や故障予知が有効に実践されるようになった。

著者らは10ミリ秒周期の高速サンプリングデータを用いた故障診断の手法を考案した。各種の故障診断事例が蓄積されることによって，緊急停止時の再起動可否判断が迅速に行われるとともに，対処が必要な場合には故障原因をデータから分析し，対処内容を絞り込むことにより装置停止時間の短縮が行われ，マイクロガスタービンコージェネレーションシステムの稼働信頼性向上に貢献している。また，15分周期で獲得した長期間トレンドデータを用いた正規化手法が提案され，機器の劣化の進行が明確に把握できるようになった。このことにより，機器の故障予知やオン・コンディション・メンテナンスの可能性が広げられた。以上のようなデータ分析を行うことにより，マイクロガスタービンコージェネレーションシステムは99.5%を超える年間平均稼働信頼性と起動信頼性が達成されている。

マイクロガスタービンは複雑な機器で構成された発電装置であるが，運転状態の変化は明確にデータ上に現れる。今後も分析手法の改良や新規考案を行い，遠隔監視に基づく不適合発生前での整備を推進することで，さらなる信頼性向上を目指していく所存である。

参考文献

(1) Kataoka,T., Nakajima,T., Sakata,S., Kishikawa,T., ASME Turbo Expo 2007, Montreal, GT2007-27697

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

特集：原動機・発電設備へのIT技術の応用（遠隔監視技術）

エネルギーシステムにおける「スーパーRESS」遠隔監視

泉　一典*1　IZUMI Kazunori
田中　満男*2　TANAKA Mitsuo

キーワード：遠隔監視　コージェネレーション　ガスエンジンヒートポンプ

1．はじめに

「ヤンマースーパーRESS」遠隔監視システムは，当社のエンジン製造，サービスの経験を基に独自に自社開発したものであり，コージェネ・常用発電市場を対象に昭和62年に運用を開始して以来，用途の拡大とシステムの改良を重ねて今日に至っている。24時間体制のセンターを軸に全国のサービス拠点やディーラーをサテライトでネットワーク化し，現在，5kWのマイクロコージェネから5000kWのガスタービンまで1300台，合計25万kWのコージェネレーションシステムを監視している。平成15年春からはガスエンジンヒートポンプ（以下，GHPと称す）空調システムの監視も開始し現在2600台に至っており，当社の全エネルギーシステムを対象としたトータルな運転管理支援システムとなっている。

2．サービスの概要

当初は当社が販売したエネルギー機器のメンテナンスサポートを主要なサービス項目としていたが，エネルギーの自由化やエネルギーサービス会社（以下，ESCOと称す）といった事業形態が出現する時代潮流のなかで，サービスの項目も顧客へのエネルギー管理サポートやESCO事業者への情報提供へと拡大してきた。これらをまとめると以下の通りであり，システムの安全確実で最適な運転管理に必要な諸機能を広範囲にカバーしている。

・性能変化の早期発見と，迅速な対応，アドバイス
・不具合時の原因究明とお客様，当社サービス拠点，サービスマンへの通報
・データに基づく最適なメンテナンス計画の立案と提案
・機器の稼動状況，エネルギー集計等をベースとした最適運転条件の提案
・緊急時の補用部品出荷対応窓口

何れもコンピュータによる情報システム的なサービスだけにとどまらず，遠隔監視センターを当社が推奨するトータルメンテナンスサービス「YESパートナー」運営の中核として位置付け，スタッフが24時間常駐していることを生かしたサービスを目指したものである。（図1）

併せて現在では，当社センターの遠隔監視に関する運用ノウハウや24時間対応機能をご信任頂き他社製エネルギー機器の遠隔監視やホットライン受付を代行実施させて頂くケースも出始めている。

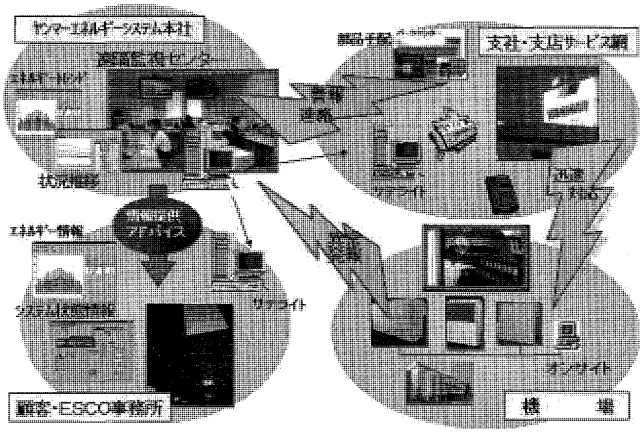


図1　トータルメンテナンスネットワーク

原稿受付　2007年9月10日
＊1　ヤンマーエネルギーシステム㈱カスタマーサポート部
＊2　ヤンマーエネルギーシステム㈱カスタマーサポート部
遠隔監視センター
〒531-0076　大阪市北区大淀中5－12－39

Download service for the GTSJ　member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

3．システムの構成

本システムは24時間体制で運営される中央の遠隔監視センターを軸に，全国の支社支店のサービス拠点サテライト，主力ディーラー，ESCO事業者の拠点サテライトが連携してコージェネ，常用発電システム等のエネルギーシステムの確実な運転を見守りオペレーションアシストを行うネットワークシステムである。

150～5000kWクラスのコージェネ，常用発電機は現在全国で500台，220機場の設備を契約に基づき一般公衆回線で連結し24時間の監視を行っている。(図２)

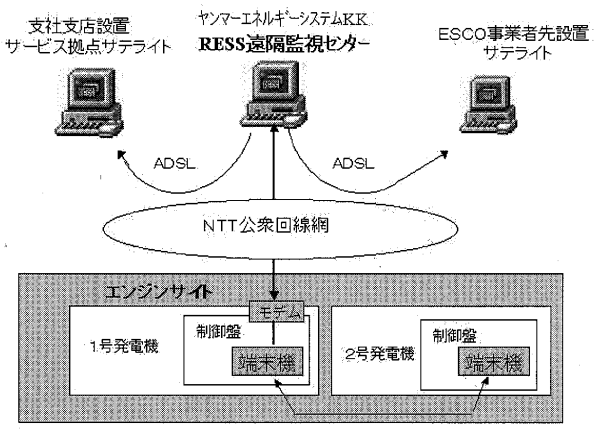


図２　コージェネシステムの遠隔監視

またH15年に開始したマイクロコージェネやGHP空調システムの監視では，一般公衆回線ではなくDoPa無線ネットワークを使っている。(図３)

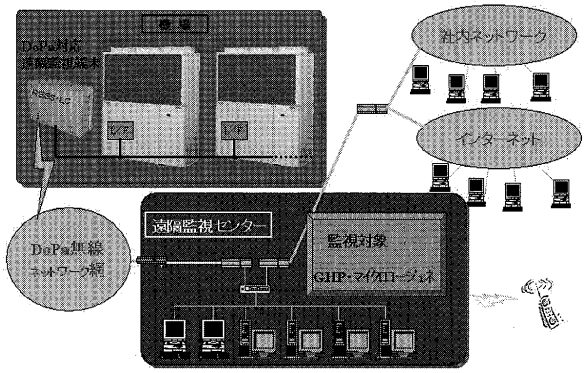


図３　GHP空調システムの遠隔監視

3.1　センターシステムの概要

中央の遠隔監視センターは夜間も監視員が常駐する24時間体制で運用されている。

警報着信，データ分析，報告書作成，サテライト交信等に機能分担した多数の産業用パソコンや大形プラズマディスプレイ，高速プリンタ等がLANで連結されたシステムであり，このシステムがコージェネ系監視とマイクロコージェネ・GHP空調系監視の２系統に別けて設置されている。(図４)

図４　スーパーRESS遠隔監視センター

3.2　端末機器の概要

従来コージェネ系では，センサアンプをはじめ監視に必要な全ての機器をワンパック化した壁掛形の端末機を機関１台あたりワンパック設置し，公衆電話回線網でセンターと交信する方式であった。

しかしながらコージェネを始めとするエネルギーシステムの制御が高度化するに伴い，システムの制御装置自体がおびただしいセンサー情報を持つ傾向にあり，こうした時代に対応した端末機としてセンサーアンプを持たずに制御装置との通信で監視情報を収集する端末機“ローカルコミュニケータ(LC)”を開発した。これにより端末機は更にコンパクトとなり，コージェネ，GHP空調システム等のパッケージに内蔵することが可能となった。これに通信ユニットを付加することでセンターとの交信を行うがコージェネは従来どおり一般公衆回線用モデム，GHP空調システムでは携帯無線通信DoPa用のユニットを組み込み使用している。なおコージェネでは機関８台，GHP空調システムは16室外機まで１端末機，１通信回線で対応可能である。

いずれの場合も端末機には大容量のメモリーと異常判定のソフト機能を内蔵し，イベントが発生したときのみ発報する方式としているため通信回線使用料は軽微である。(図５)

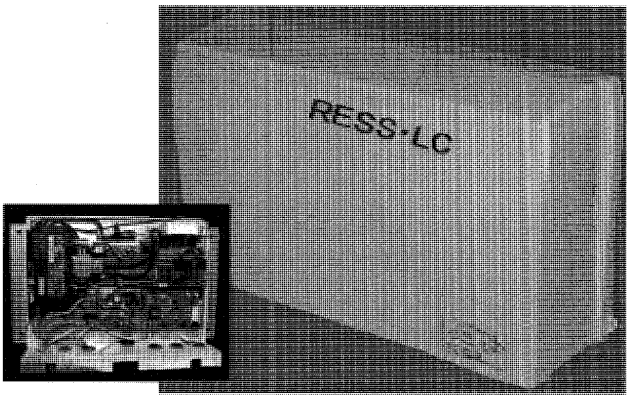


図５　遠隔監視端末機（ローカルコミュニケータ）

なお個別仕様対応となりやすい大出力のノンパッケージコージェネシステムでは従来のアンプ内蔵方式の端末

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

機も使用可能である。このタイプの端末機にはコージェネシステムの監視に必要なセンサーアンプ１式を収納しており温度，圧力，４～20mA信号，接点，パルス等のセンサー信号を直接入線可能である。さらに振動センサーについても信号処理フィルター回路を内蔵しているため直接入力ができる。

周辺設備を含めて監視する等の計測点数が多い場合は，オプションのマイクロアンプを内蔵し，取り込み点数を拡張することができる。さらに計測点が集中している発電機盤等についてはシリアル通信で情報を取り込むことで省配線化することも可能である。

3.3　通信技術の概要

遠隔監視システムではいろいろな場面で種々の通信技術を使用するが，大別すると“端末機とセンター間”の情報収集系通信と，“センターとサテライト，サービスマン，ユーザー間”といった情報配信系通信に分けられる。情報収集通信として当社は現在コージェネ系では一般公衆回線，GHP空調系ではDoPa無線ネットワーク網を使用しており，これに一部PHS無線通信を併用している。さらに今後の海外機場を考えるとインターネットWebやインターネットメールによる方式も必要であり，当社でも一部運用を始めている。

またセンターの情報を配信する場面では，従来は公衆回線を使っていたが，現在はイントラネット，公衆回線のADSL，インターネット，携帯メール通信の活用等，相手先のロケーションや機材と送るべき情報量に応じて柔軟な展開を行っている。（図６）

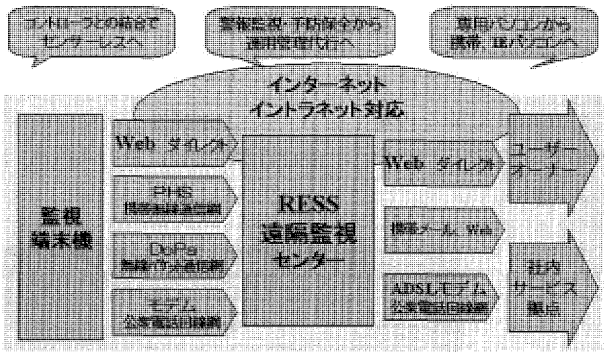


図６　遠隔監視システムにおける通信技術

４．システムとしての主要機能

コージェネ系，GHP空調系ともにシステムの機能は類似であるが，主としてコージェネ系システムを例にソフトウェアないし運用に関する主要な機能をまとめると以下の通りである。

4.1　警報の着信と拠点や客先への通報

機関１台当りの監視計測点数はアナログ計測点が96，接点情報が120点である。端末機がアナログ計測点をモニターし機関異常と判定するか，接点警報を検知した時点で，直近72分間分（１分ピッチ，72ポイント），72秒間分（１秒ピッチ72ポイント）のトレンドデータがセンターに自動送信されてくるが，現在１ヶ月の警報着信件数は夏のピーク時で2000件，１時間当たり３～５件である。軽微な予知レベルの警報から始まり，１イベントで段階的に数回の着信があり，刻々緊迫していく機関状態を把握することができる。

なお，端末機にセットされた異常判定レベルはセンターより変更が可能であり，季節や状況により随時最適化がなされている。

受信した機関異常の第一報や判断結果は客先，サービス拠点に通報するが，このために拠点サテライトセンターへの自動情報転送，携帯へのメッセージメールの自動送信機能等が用意されている。

出先のサービスマンの携帯電話には異常部位の名称や代表的なアナログ情報，あるいは必要点検個所等のメッセージが自動送信されるが，逆に携帯側からのデータ要求も可能なシステムとなっている。サービス拠点では携帯メールの第一報をもとにサテライトセンターのコンピュータで機場の詳細情報を掌握し，必要部品等の準備をした上で現場に急行することができる。（図７）（図８）

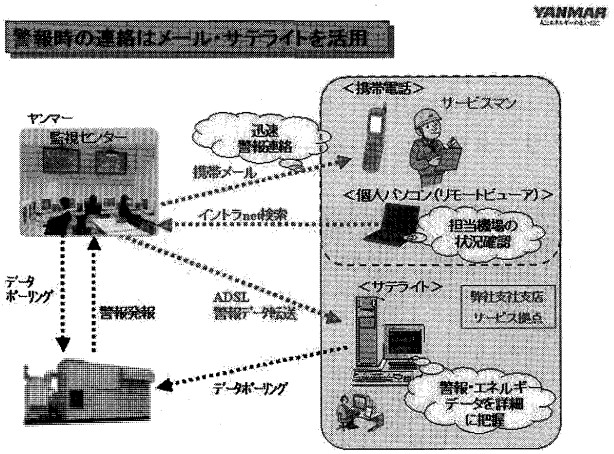


図７　サテライト，携帯への情報配信

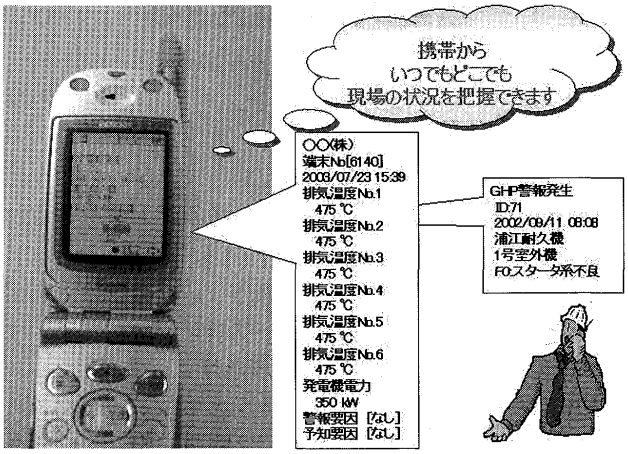


図８　携帯電話との情報交信

Download service for the GTSJ　member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

なお緊急通報とは別に定期的な顧客への報告もなされるが，従来から続いているペーパーベースの報告だけでなく，Excel図表を添付した自動メールやインターネットWebによる報告も実施中である。

4.2 警報データの分析と活用

着信したアフタートリガー6ポイントを含む計72ポイントの時系列データは1分ピッチと1秒ピッチのデータが同じ画面上でグラフ表示されるとともに，このエンジンの過去のデータもノートのページをめくる感覚で画面上に呼び出し表示させることができる。(図9)

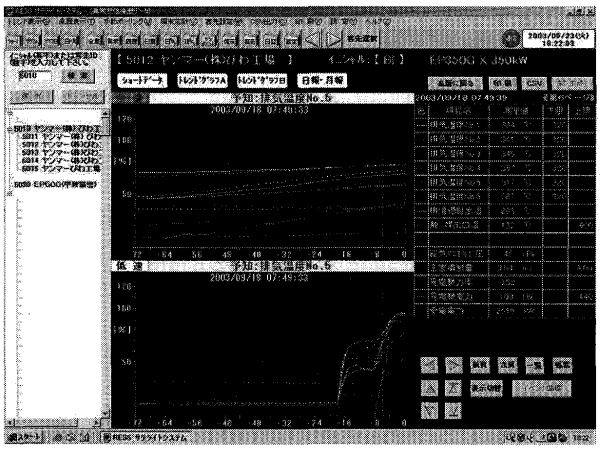


図9 警報データのトレンド表示

さらにこうしたデータを基に自動編集された長期トレンドグラフ，都度キー入力された機場履歴等を画面に表示させることで迅速な分析が可能なソフト体系となっている。

またこのデータは全てCSV出力が可能であり，一般的なOAソフトを使って任意の分析や編集が可能である。(図10) は外気温上昇や気象異常時の警報増大をまとめた活用事例である。状況に応じてこうした技術ニュースを編集し，全国のサービス部門が参照できる社内ホームページに掲載するといったことも行っている。また(図11)は警報着信の直前の挙動をまとめたものであるが，日ごろより主要な警報項目についてこうしたカルテが設備異常に関する知見のデータベースとして蓄積されている。

4.3 知見や機場情報の統合的活用

端末機から届く情報はいかにグラフ化され見やすくしても結局は数字の羅列であり，これのみで機場の緊迫した状況を想像することには限度がある。そのため客先との電話連絡等で状況確認が必要であるが，この際あらかじめ蓄積されガイダンスとして監視センターの大型プラズマ画面に自動表示されるテキスト情報が重要な助けとなる。テキスト情報は大別して2つの系統に分けられる。

その一つは時間をかけて構築，蓄積された警報に関する知見のガイダンスであり，もう一つは機場のメンテ状況，連絡事項と言ったメモに近い情報である。

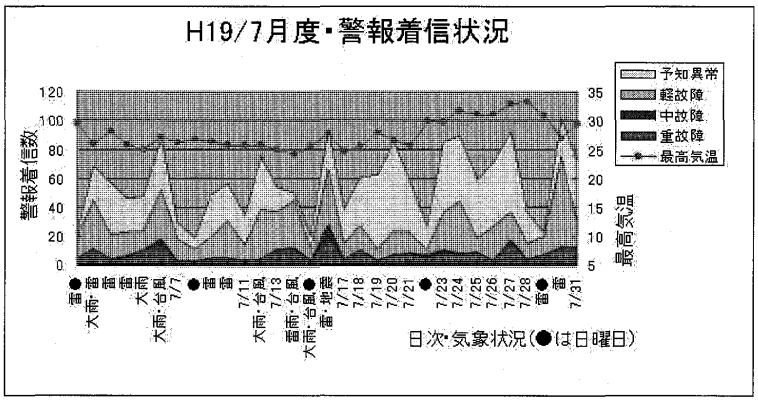


図10 気象変化と警報着信数の事例

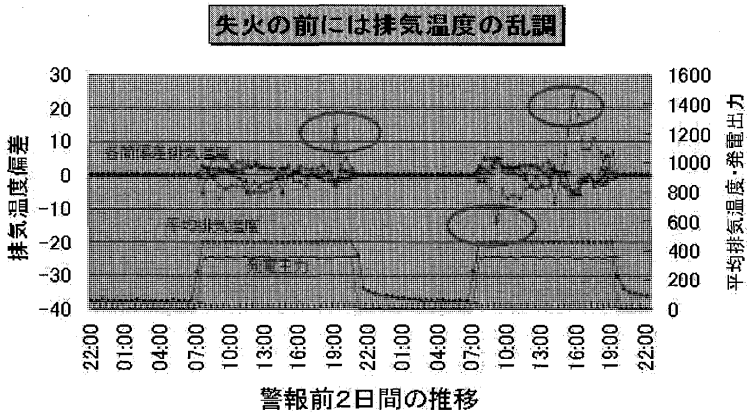


図11 警報の前兆分析事例

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

警報知見の情報が迅速で正確な機関の異常対処に重要であることは論を待たないが，メモ情報も実際は極めて重要な働きをする。

設置状況も運転状況も様々な多数の機場を昼夜交代で監視するセンターにあっては，警報データを受信した瞬間に，緊急時の連絡先一時変更等の日常蓄積された最新の客先情報や，前回の異常時の結果等がメモとして画面に表示されることは，故障診断に匹敵する対処の判断材料となるものである。

このためセンターのスタッフが任意にメモ情報をインプットする機能を用意しており，情報は客先名称，着信した警報データの要因等のキーワードで自動的に検索されたものが表示される。(図12)

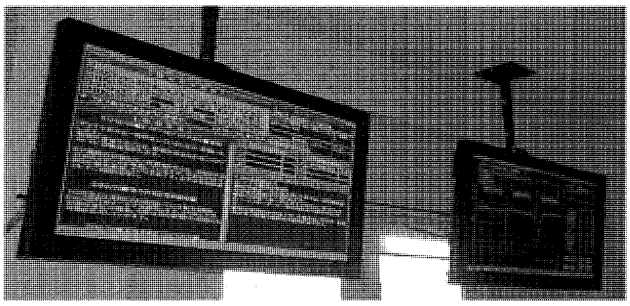


図12　ガイダンスの表示画面例

なお，いわゆる故障診断については当社においても1990年代にいくつかのアルゴリズムの試用がなされた。しかしながら適切な結論を得るためにはアルゴリズムを起動する手前での情報の整理や準備が必須であり，しかもこの整理過程に多くのノウハウを投入することが必要であった。であるならば診断アルゴリズムにはこだわらず知見そのものを適切なタイミングで表示させれば，とのコンセプトで改良を重ねて現在の自動検索ガイダンス表示のシステムに至ったものである。

4.4　エネルギーデータの分析と活用

エネルギーデータについては日内，月間，年間の受発電変化をグラフ表示する画面を持っており，稼動状況の変化が掴みやすいシステムとなっている。(図13)

このデータもCSV出力が可能であり，OAソフトを使って任意の分析や編集が可能である。

(図14) は燃料単価によって最適な運転条件（受発電の比率）をシミュレーションした活用事例である。図中右のグラフにあるように燃料価に連動して最適運転のポイントは常に移動するが，ここ数年の急激な燃料高騰下で経済採算の取れる運転条件を定期的に試算し，提案することは極めて重要な業務となっている。

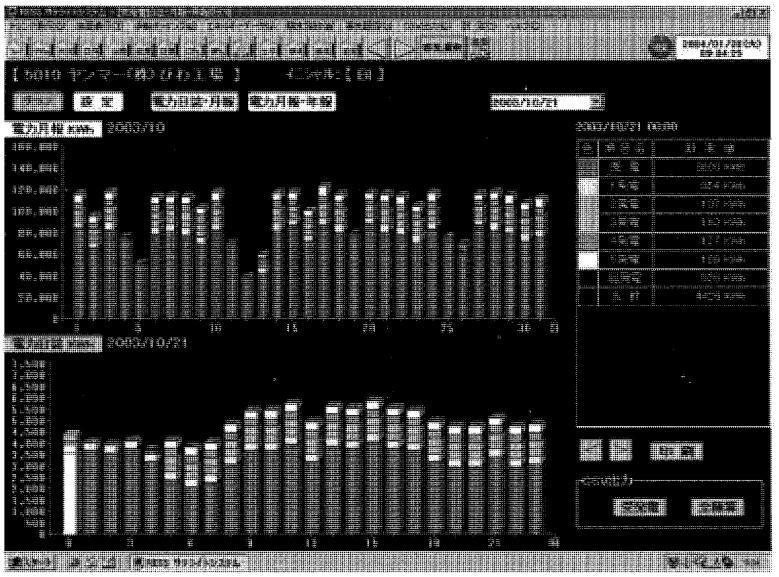


図13　エネルギーデータのトレンド表示

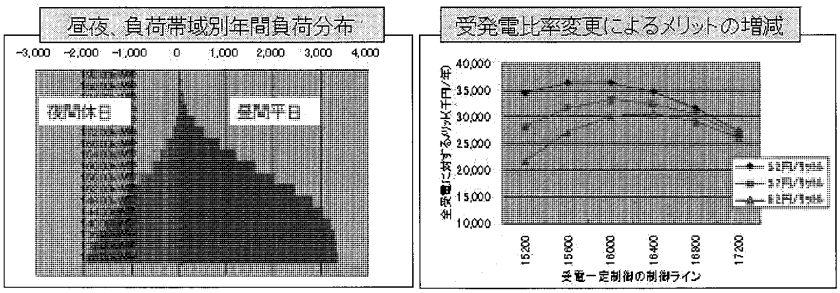


図14　運転の採算シミュレーション事例

Download service for the GTSJ　member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

4.5 客先や管理事業者との情報連携

エネルギー設備を効果的に運用するためにはメーカー，管理事業者，顧客が一体となった運用体制が望まれる。その際メーカーは主として予防保全，ESCO等の事業者は経済的運用管理，お客様は日常管理といった立場で参画することになるが，その要となるのが情報共有のインフラである。当社の遠隔監視システムでは，ディーラーサテライトや客先のオンサイトパソコンといったものを用意することで，種々の形でのコラボレーション監視を目指している。(図15)

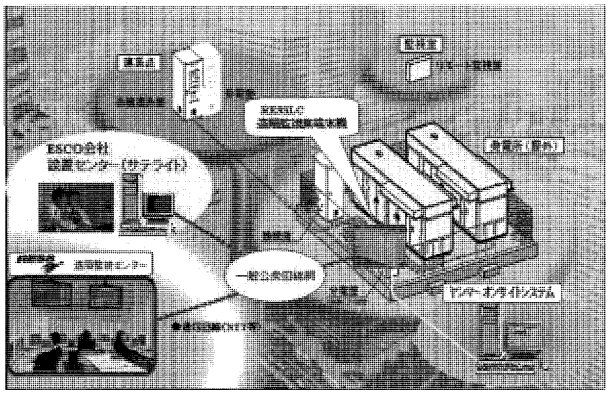


図15 ESCO事業者との連携監視

《事業者との情報連携》

当社の遠隔監視システムではESCO等の事業者との情報連携として専用のサテライトシステムを用意し活用して頂いているが，事業者によっては独自の監視システムで運用しているところもあり，そうした場合は当社端末機から監視データを分岐配信する情報ソケットも用意している。

《客先との情報連携》

当社のシステムでは機場サイドのパッケージ組み込み，または壁掛け方式の端末機のみで監視が可能なため客先でのパソコンは遠隔監視のためには設置不要である。

しかし客先においても発電電力や熱回収エネルギーが商用受電や，他の熱源の中で最適経済的に運用されているか否かの管理は重要であり，また官庁提出報告書の作成等も必要である。

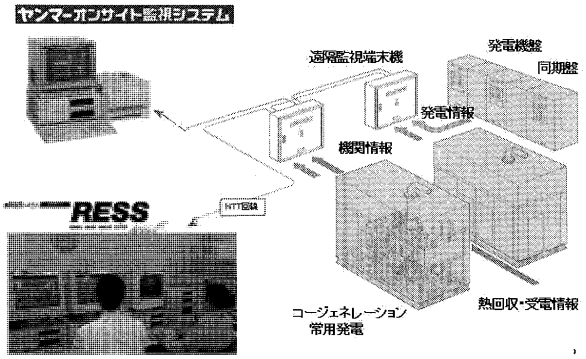


図16 コージェネオンサイト監視システム

こうした機能を持った計装システムも要望が多く，当社の遠隔監視システムでは端末機とデータ通信ラインで接続するだけで構築できるオンサイト管理コンピュータを用意している。(図16)

5．遠隔監視の効果

遠隔監視の効果は機関の警報対応と保全，および経済性を踏まえた最適運転の維持に大別される。

《警報対応と保全》

遠隔監視によって全ての障害を未然に防止することは現状では困難であるが，バルブの開閉もれ等の操作ミス把握，機関自体の異常の早期発見による二次災害の抑止，原因を想定し部品の準備をしての現場急行等でダウンタイムの短縮には確実に成果があがっている。

また実際の警報停止項目の大半は受発電系の損傷防止のためのトリップであり安全を確認し再起動すれば済むものである。にもかかわらずこのアクションが遅れると自家発補給として電力会社から懲罰的な電力料金を請求されることを考えると，携帯メール等で間髪おかず関係者に連絡が行くことはそれ自体が大きな経済効果を持つものである。

《最適運転支援》

さらにエネルギー収支のデータを分析することで，より経済的な運用をするための設備更新，運用法等のアドバイスをすることも可能となりつつある。一例として複数台設置のコージェネ機場では，受電と各号機の発電電力の秒単位の分担状況を分析することで，より効率的な運転をするための負荷分担制御方式を提案するといったことも可能である。

また最近の重油価格高騰でディーゼルコージェネについては採算が厳しくなっているが，日々蓄積した年間の詳細な負荷分布データをもとに経済的に最適な受発電比率をシミュレーションし提案するといった場面でも遠隔監視は威力を発揮している。

6．非常用発電機の遠隔監視

最後に非常用発電機の遠隔監視についても触れておきたい。当社では離島が多く台風による停電も多い沖縄で，昭和59年から業界に先駆けGECONYSと称する非常用発電機の遠隔監視を始めており，非常用固有のサービス運営ノウハウを蓄積し今日に至っている。通常は停止している非常用発電機の状況を遠隔監視で把握することには本来困難が伴う。また常用設備に比べると許容される費用も小さい。こうした特質を前提にし，より小規模な非常用発電も視野に入れると，定期的に実施される保守運転との連動性を重視し，計測点を絞り込んだ安価なシステムが必要であるが（図17）はそのひとつの事例である。

7．遠隔監視の今後の展開

本システムは20年以上の長きにわたりシステムの改良

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

蓄積を進めてきたがここ数年は特に，新しいネットワークへの対応を図り，社内イントラネット，インターネットとの連携を進めることで社内の関連部門が一丸となって機関の予防保全，システムの最適運用提案ができるインフラとして整備してきた。

コージェネ遠隔監視の業界にあっては近年，Web技術の発達によって設備サイドのコンピュータでWeb待機させ任意のところからアクセスできる方式のものが見られ始めており，この方式なら極論すると中央の監視センターは不要であが，そこにアクセスして得られるものは設備の状態情報のみである。

遠隔監視の本質が設備の単なる状態情報をそのままではなく整理加工し，更に他から得られる関連情報と関係付けることで，必要な情報を必要なタイミングで必要量に絞って届けることにあるならば，一旦情報を集約させるセンター方式の持つ意義は今後もますます重要となる。

当社では今後もこうした観点に立ち，中央の遠隔監視センターを軸に情報の付加価値を高めていく一方，社内Webや携帯電話を含めたインターネットWebの活用を強化することで“いつでもどこでもRESS情報が活用可能なユビキタス”化を徹底し，人とコンピュータと組織が一体となってCSに貢献できるシステムを目指して改良を重ねて行く所存である。

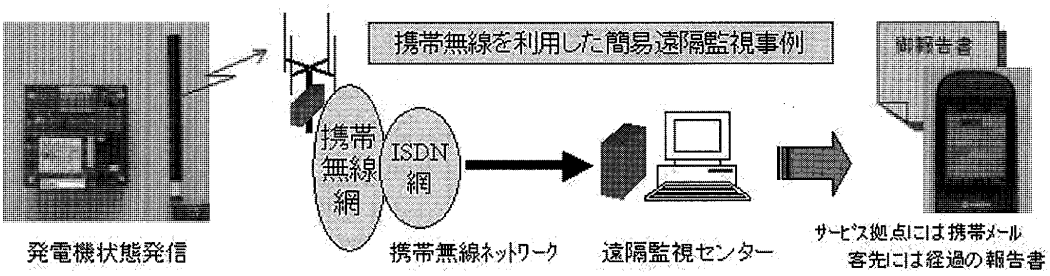


図17　非常用発電機の遠隔監視事例

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

特集：原動機・発電設備へのIT技術の応用（遠隔監視技術）

風力発電における遠隔監視技術

上田　悦紀*1
UEDA Yoshinori

キーワード：遠隔監視，遠隔制御，風力発電，風車，Remote Supervision，Remote Control，Remote Monitoring，SCADA，Wind Power Generation，Wind Turbine

1．はじめに

日本ではまだ意識されていないが，世界では風力発電は既に「普通の発電設備のひとつ」になっている。風力発電の導入量は2006年末で74GW（9万台）。2006年の新規導入量は15GW（1万台）/年[1]とガスタービン複合発電の市場規模の約1/5（金額ベースなら約1/2）にまで成長している。

導入の中心は西ヨーロッパで，デンマークでは電力の17%，スペインは9%，ポルトガル・ドイツ・アイルランドは6%が風力発電で供給されている（図1）[2][3]。最近では米国，インド，中国でも風車が盛んに建設されている。日本でも355ヶ所に1491MW・1314台の風車が建っており[4]，最近では地図記号にも採用されている（図2）[5]。

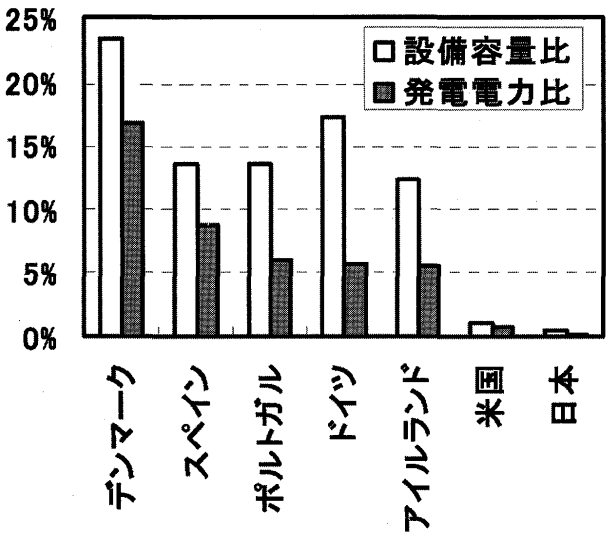


図1　各国の電源に占める風力発電の比率[2][3]

風力発電の導入拡大に伴い，風車の建て方も変わってきた。個人や自治体が1・2台ずつ建てていたが，最近では専門の風力発電会社や電力会社が1サイトに数十～数百台もまとめて建てるウィンドファーム（図3・図4）が増えてきている。

2．風力発電の遠隔監視制御

現代の発電用風車は設置場所の風向と風速に合わせて，ナセル内の制御装置によって無人で自動運転されている。また，年間を通して風力発電に適した強風が吹く場所は，都会から離れた遠隔地になることが多い。

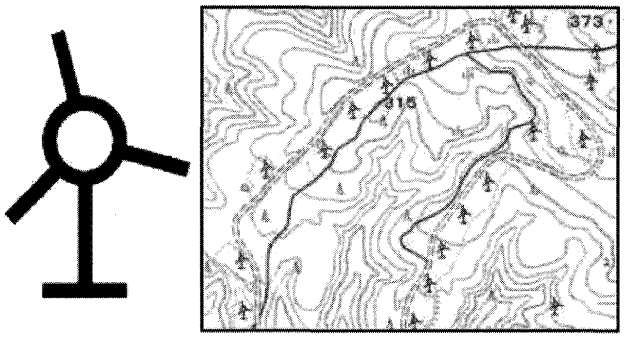


図2　風車の地図記号[5]

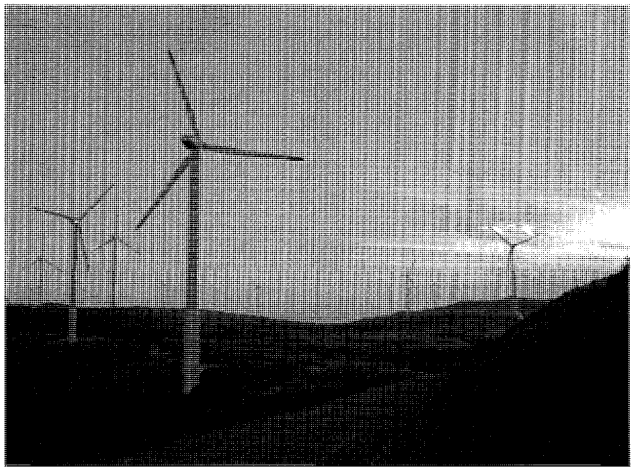


図3　ウィンドファームの例（宗谷岬）

原稿受付　2007年10月22日
＊1　三菱重工業㈱　原動機事業本部　原動機業務部
事業戦略企画グループ
〒220-8401　横浜市西区みなとみらい3－3－1

Download service for the GTSJ　member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

一方，風力発電の経済性を確保するには，風車が故障することなく，安定して運転を続けなければならない。それには風車の運転状況を日常的に監視して，万一異常があれば，素早く発見して対処する必要がある。そこで，夫々の風車に遠隔監視制御装置（SCADA）を装備して風車オーナやメーカの事務所から運転状況を確認できるようになっている。

典型的なシステム構成を図5に示す。監視装置のサーバは，単独風車の場合はタワー内，ウィンドファームの場合はサイト変電所や管理事務所に置かれることが多い。風車内・サイト内の通信線は，落雷被害を防ぐために，光ケーブルが使われている。風車と風車オーナやメーカの事務所との通信は，以前は電話回線が主流だったが，最近では通信線によるインターネットを採用する傾向がある。

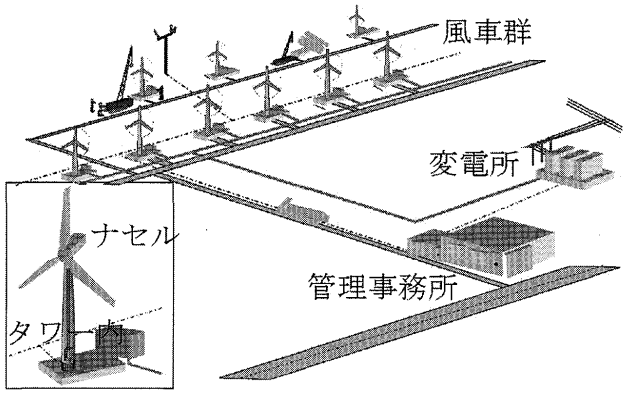


図4　風車とウィンドファームの模式図

遠隔監視装置の主な機能を表1に示す。①～④は風車単体，⑤はウィンドファーム全体が対象になる。また④と⑤の機能は専門の担当者のみが使用する。風車の遠隔監視装置は，風車メーカ製，風力開発コンサル会社製[7]など色々なケースがある。

表1　遠隔監視制御装置の機能

No	機　　能	参照
①	運転状態表示（リアルタイム	図6
②	運転記録集計（月報・日報	図8
③	故障発生時の通報・故障状況表示	図9
④	起動・停止等の運転制御	
⑤	サイト全体の稼動情報表示機能	図10

3．風車の遠隔監視制御装置の例

三菱重工の風車の遠隔監視制御装置の画面の例を図6～図10に示す。図6に示すように，風の吹き方や風車の運転状況を，リアルタイム瞬時値・直近の10分平均値・過去のトレンド，を表示させて把握することができる。

4．複数の風車に渡る制御

ウィンドファームで多数の風車を配置する際，密集して並べ過ぎると，隣接する風車が相互に干渉して風を奪い合うことになり，本来の発電量が得られなくなる（ウェイクロス）。

特に風車の風下側には，発電して減速した影のゾーンが生じるため，風上・風下の方向には，風車のロータ直径の6～10倍の間隔を空ける必要がある。

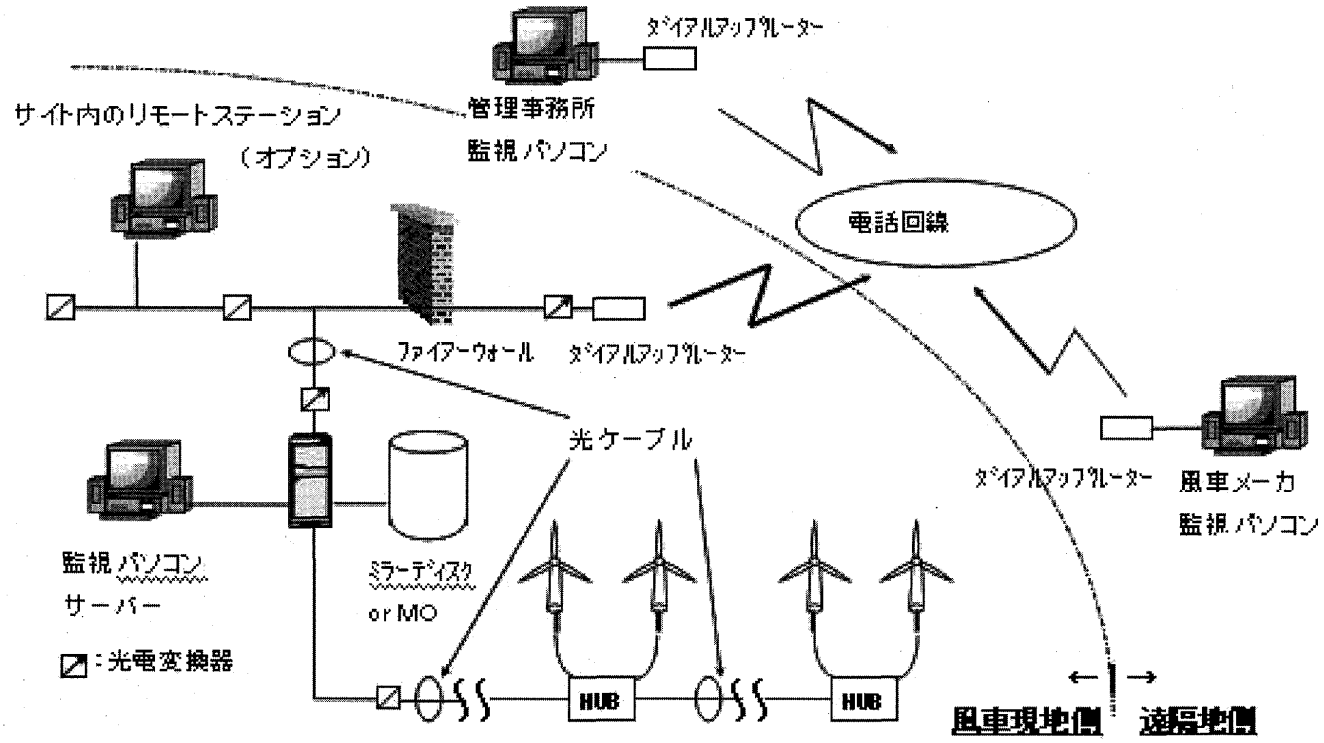


図5　風力発電の遠隔監視制御装置のシステム構成

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

しかし，現地の地形や借地条件の制限から，十分な離隔を確保できなかったり，主風向（頻度の高い風向）以外からの風を受けた時に，風下側の風車が風上側の風車の影に入ってしまう場合がある。小離隔で強風の条件で長時間運転すると，ウェイクロスによる発電量減のみでなく，風下側の風車に一回転毎に大きな疲労荷重を与えて，風車故障を招く可能性がある（図11参照）。

このようなリスクが予想されるサイトでは，風上側風車の風向計の計測情報を元に，ウェイクが及ぶ風向の時には風下側風車の運転を自動的に停止させて，疲労故障の発生を予防する措置（コラム制御）が採用される場合がある。これは複数の風車の遠隔監視制御装置が，共同して風車の運転を制御する代表的な事例である。

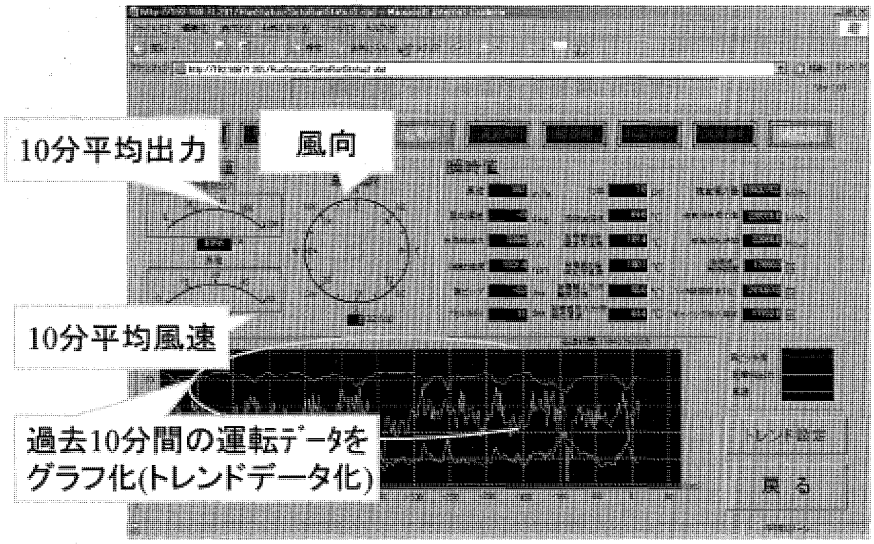


図 6　風車の運転状態のトレンド表示

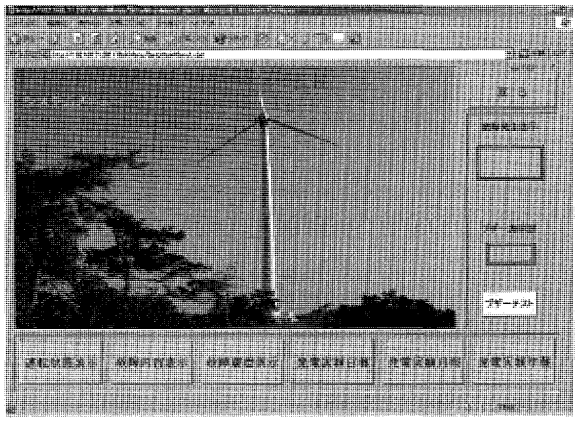


図 7　初期画面

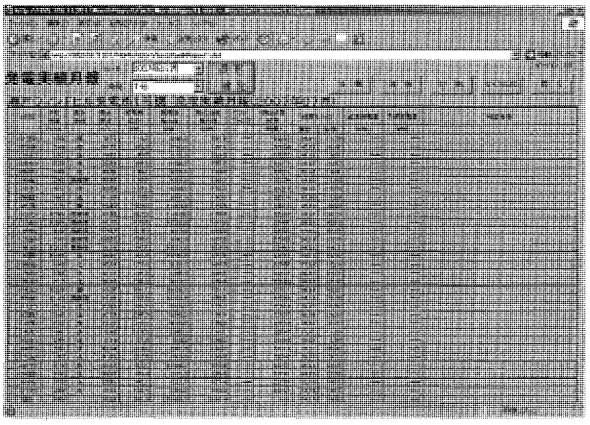


図 8　風車の月次報告書の表示

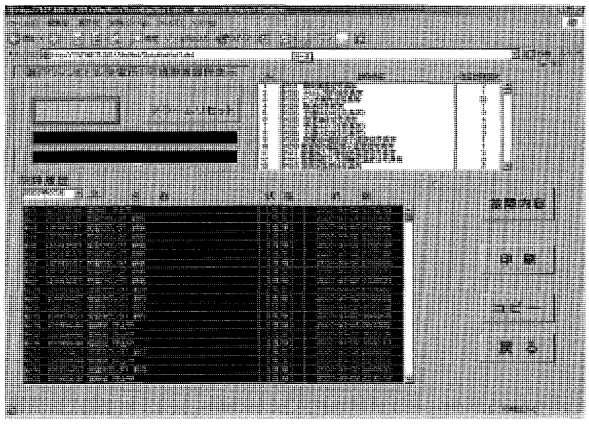


図 9　風車の警報履歴の表示

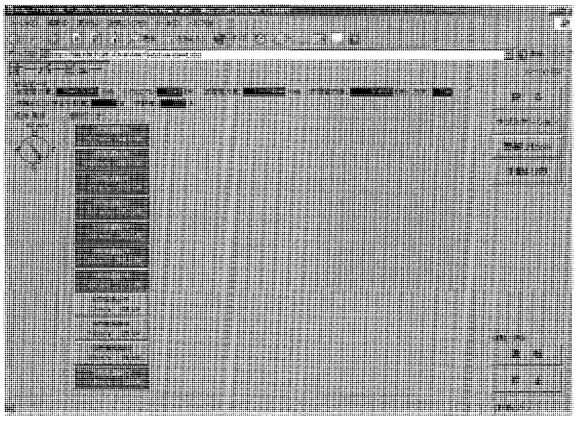


図10　ウィンドファーム全風車の一覧表示

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

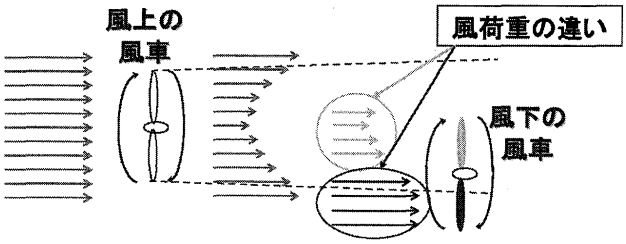


図11　風上側風車のウェイクの影響[8]

5．ウィンドファーム単位での制御

風力発電では発電量は「風次第」である。風速の変動に従って，出力が需要と無関係に増減する。送電系統の容量が小さいと，風車の出力変化によって，電圧や力率が変動する悪影響が表面化する可能性がある。

この対策として，ウィンドファーム内の一部の風車を出力急変時の調整用とし，適時，解列と並列を行うことで，サイトの合計出力の平準化を図る方法がある。

例えば東北電力の2006年度の中規模風力の募集では，電力需要が低下したら発電を停止する「下げ代（さげしろ）不足時における発電停止」が条件となっている[9]。

また北海道電力では，電力需要が低下する休日や夜間は原子力等のベースロード電源で全量がカバーできてしまうため，風力発電の追加導入は，年間25%相当の低需要時に風車を計画停止する「解列条件付き」で募集を行っている[10]。

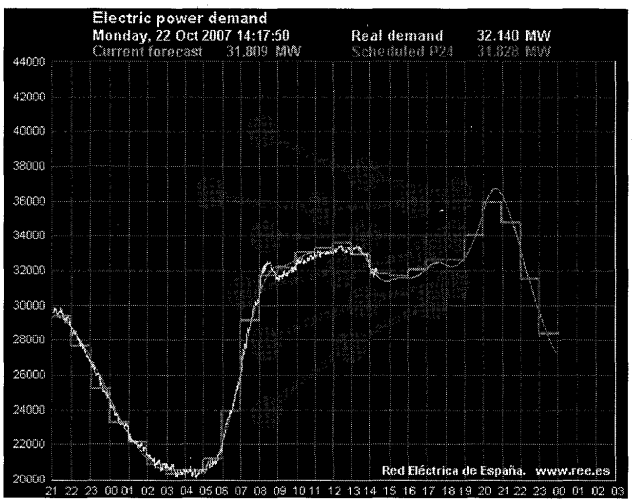


図12　スペインの電力需給の制御状況[11]

このようなウィンドファーム単位での風車の解列の操作も，遠隔監視制御装置を用いて運用されている。

6．国単位での制御

冒頭で述べたように，西ヨーロッパでは数千～数万台の風車が導入され，電力需要のかなりの部分（デンマークでは夜間は50%以上）を担う状況になってきている。そこで「出力が変動する電源である風力発電を，既存の

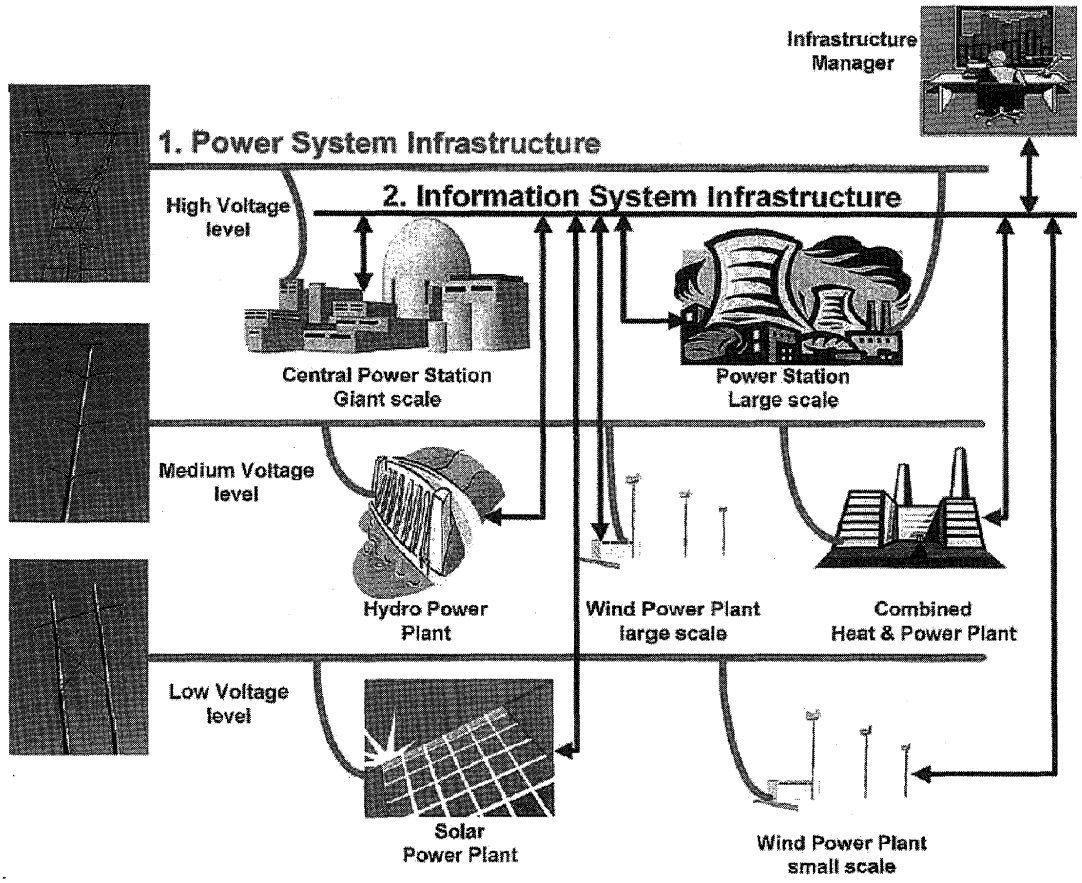


図13　IT技術による電源インフラ全体の統合制御

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

電力インフラの中に，如何に巧く取り込むか」が真剣に検討されている。

国内の送電網の全体で風力発電の出力変動を吸収するために，スペインでは国内風車の大半を遠隔監視制御装置経由で給電司令室に繋いで管理し，風力発電の貫入率が一定値を越えると，安定性確保のために一部の風車の運転を停止させる系統運用を実用化している（図12）[11]。

欧州ではコンピュータによる短期気象予測を元に，既存の風力発電所の翌週～翌日の各時刻における発電量を予測し，それに応じて予備電源をスタンバイさせる試みも行われている。日本においても2005（H17）年度からNEDO研究で「気象予測に基づく風力発電量予測システムの開発」が実施されている[12]。

7．まとめ

風力発電の分野でも，風車単体から国全体まで，様々な規模で遠隔監視制御が有効に利用されている。

風車が潅漑や粉引用の有人（風車守）の動力源から，無人の自動制御による発電用風車に脱皮したのは，1980年代の電子技術の進歩のおかげである。これから風力発電が「普通の発電設備のひとつ」として，広く世の中に受け入れられていくには，気象予測やデマンド・サイド・マネジメント等の手法も取り入れて，電源インフラ全体で最適化を図る必要がある。遠隔監視制御は，それを支える中核技術を担うものと期待されている（図13）[13]。

参考文献

(1) World Market Update 2006, BTM Consult Aps
(2) IEA Wind Energy Annual Report 2006
(3) 海外電気事業統計2006,（社）海外電力調査会
(4) 日本の風力発電設備の導入実績，2007/3，NEDO HP：http://www.nedo.go.jp/enetai/other/fuuryoku/
(5) 国土地理院の新しい地図記号「風車」，2006/1/25 国土交通省 HP：http://www.gsi.go.jp/WNEW/PRESS-RELEASE/2006/0125-1.htm
(6) 長崎ITフェア出典資料，三菱重工業
(7) Garrad Hassan HP, GH SCADA: Generic Wind Farm Supervisory Control and Data Acquisition System, http://www.garradhassan.com/products/ghscada/
(8) 風車の基礎知識 後流の影響，三菱重工業 風力発電プラント HP：http://www.mhi.co.jp/power/wind/info/kisochishiki.html#010
(9) 風力発電をご計画のみなさまへ，東北電力 HP：http://www.tohoku-epco.co.jp/oshirase/newene/04/index.html
(10) 風力発電（解列条件付）の募集について （H18.1.30），北海道電力 HP：http://www.hepco.co.jp/info/2005/0130.html
(11) Red Eléctrica HP http://www.ree.es/ingles/i-index_de.html
(12) 風力発電電力系統安定化等技術開発，NEDO HP：http://www.nedo.go.jp/activities/portal/gaiyou/p03039/p03039.html
(13) Ten Years Review of the International Wind Power Industry 1995-2004, BTM Consult Aps

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

技術論文

複合型インピンジ冷却構造に関する研究

(実験による内部及び外部伝熱特性同時計測)

Studies on Integrated Impingement Cooling Devices

(Simultaneous Heat Transfer Measurements Inside and Outside of the Devices)

ハミドン ビン サーレ*1 Hamidon Bin Salleh　船﨑 健一*2 FUNAZAKI Ken-ichi

This paper deals with experiments on the film effectiveness and heat transfer coefficients for quasi-Transpiration Cooling System, which integrates impingement cooling and pin fin cooling devices into one body. The proposed cooling system aims at enlargement of the effective heat transfer area as well as enhancement of the internal heat transfer. One of the purposes of the present study is to clarify the reason of the observed difference in cooling efficiency for two different internal cooling configurations. Large-scale test models made from acrylic resin are adopted. The experiment is conducted using heated air as secondary air. The experimental technique is a transient method monitoring surface temperature rise using thermochromic liquid crystal coating on the surface, which enables us not only to determine film cooling effectiveness and heat transfer coefficient on film surface, but also to measure target plate and pin fin surface heat transfer coefficients. The experimental results show that an arrangement of the pins is an important factor to internal heat transfer and eventually to total cooling performance.

Key words：Transpiration Cooling System, Target Plate, Film Cooling, Thermochromic Liquid Crystal

1．緒言

次世代の航空推進システムの実用化に向けて，高効率。高出力のガスタービンエンジンが要求されている。これを実現するためにはタービン入口温度（TIT）のさらなる高温化が避けられない。この温度は金属系の溶融温度を超えており，タービン翼を冷却する必要がある。しかし，熱効率の維持のためには冷却空気流体流量は自ずと制限されるため，タービン翼の高性能な冷却構造の開発が不可欠となっている。

著者らは長年に渡って複合型インピンジメント冷却に関する研究を行っている[(1),(4)]。この冷却構造の特徴は，Fig. 1に示すように，フィルム冷却に加えて，インピンジメント冷却とピンフィン（内部対流冷却）を一体型にした点である。この冷却構造では，内部の熱伝達率および伝熱面を増加させることによって，より高い冷却効率が得られると期待される。しかし，この冷却構造の性能はピンの形状や高さ，そしてインピンジメントジェット孔とフィルム孔との位置関係に大きく影響されることが想定される。

Nakamataら[(5)]は，異なる内部冷却構造を有する複合型インピンジメント冷却構造について，その冷却性能（冷却効率）を計測したが，そこで確認された冷却性能の違いの原因については不明のままであった。Fig. 2にはNakamataら[(5)]が計測した冷却効率を示す。STAGとSTAG 2という異なる内部構造を有する供試体間に冷却効率の差が現れている。この冷却効率の違いの原因を明らかにするために，本研究ではNakamataら[(5)]のSTAGとSTAG 2という供試体の拡大モデルをアクリルで作成し，感温液晶を用いた過渡応答法によって熱伝達特性計測を行った。今回の研究の目的は，内部冷却構造での伝熱特性と同時に，冷却構造から噴出されたフィルム空気の伝熱特性を調べることである。

主な記号

BR	：流量比　$=(\rho U)_2/(\rho U)_\infty$
c	：比熱
D	：フィルム冷却孔直径
d	：ピン直径
DR	：密度比　$=(\rho_2/\rho_\infty)$
H	：ピン高さ
ρ	：密度
h	：熱伝達率
k	：熱伝導率
L	：供試体長さ

原稿受付　2007年5月11日
校閲完了　2007年9月27日
＊1　岩手大学大学院
＊2　岩手大学工学部
〒020-8551　盛岡市上田4丁目3－5

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

N ：温度上昇曲線の分割数
Re_∞ ：主流レイノルズ数 $(=U_\infty L/\upsilon_\infty)$
Re_2 ：二次空気側レイノルズ数 $(=U_2 D/\upsilon_2)$
t ：経過時間
T_2 ：二次空気温度
T_i ：供試体初期温度
T_{aw} ：断熱壁面温度
T_w ：供試体表面温度
T_∞ ：主流空気温度
t_a, t_b ：参照経過時間
η ：フィルム効率
η_c ：冷却効率
erfc ：誤差余関数
τ_j ：実験開始からの時間遅れ
υ ：動粘度
添字
2 ：2次空気
∞ ：主流空気
aw ：断熱壁温度

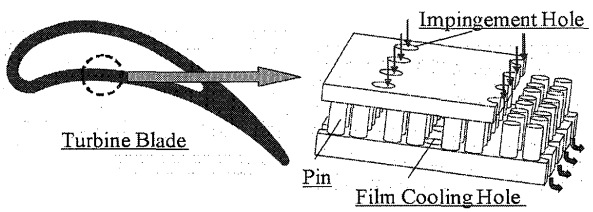


Fig. 1 Concept of an integrated impingement cooling configuration (Nakamata et. al.[5])

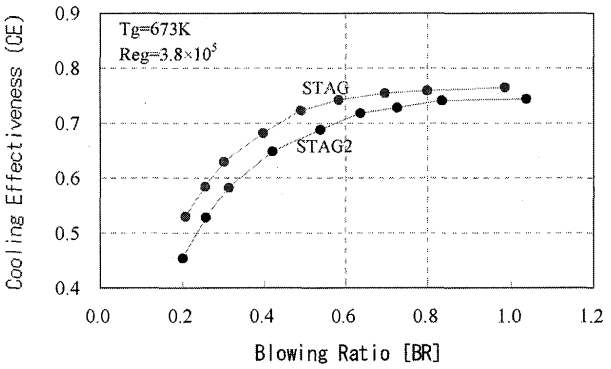


Fig. 2 Cooling effectiveness result from Nakamata et al[5]

2．実験

2.1 熱伝達率とフィルム効率の算出

供試体表面における熱伝達率及びフィルム効率は，表面に塗布された感温液晶から得られる表面温度の時間的変化と二次空気（冷却空気に相当）の温度上昇を利用する，いわゆる過渡応答法を用いて求める。

過渡応答法は，通常ステップ状に主流温度T_∞が変化する際の表面温度T_wに関する１次元理論解を利用するが，T_∞がステップ状に変化しない場合でも，T_∞の変化を階段状に近似することで，表面温度T_wを次のように表すことができる。

$$T_w(t)-T_i=\sum_{j=1}^{N}U(t-\tau_j)(T_{\infty,j}-T_{\infty,j-i}) \tag{1}$$

$$U(t-\tau_j)=1-\exp\left(\beta^2\right)\mathrm{erfc}(\beta),\quad \beta=\frac{h\sqrt{t-\tau_j}}{\sqrt{\rho ck}} \tag{2}$$

τ_jは，T_∞の時間的変化を一連のステップ変化で表すための時間遅れである。

フィルム冷却が存在する場合，式(1)中のT_∞を断熱壁温度T_{aw}で置き換える。フィルム効率ηを

$$\eta=\frac{T_{aw}-T_\infty}{T_2-T_\infty} \tag{3}$$

と定義し，同じ実験でηが一定と仮定すると，次式を得る。

$$T_{aw}=\eta T_2+(1-\eta)T_\infty \tag{4}$$

上の関係式が，小ステップに分解した場合も成立すると仮定すると，

$$T_{aw,j}=\eta T_{2,j}+(1-\eta)T_\infty \tag{5}$$

この関係から，ηとT_∞を一定とすると次式を得る。

$$T_{aw,j}-T_{aw,j-1}=\eta(T_{2,j}-T_{2,j-1}) \tag{6}$$

従って，

$$T_w(t)-T_i=\eta\sum_{j=1}^{N}U(t-\tau_j)(T_{2,j}-T_{2,j-1}) \tag{7}$$

この式を利用すると，二つの時間 $t=t_a$，$t=t_b$ での結果を組み合わせることにより，

$$\frac{T_w(t_a)-T_i}{T_w(t_b)-T_i}=\frac{\sum_{j=1}^{N}U(t_a-\tau_j)(T_{2,j}-T_{2,j-1})}{\sum_{j=1}^{N}U(t_b-\tau_j)(T_{2,j}-T_{2,j-1})} \tag{8}$$

を得る。この式を数値的に解くことにより，熱伝達率hを推定し，そのhを用いて式(7)からフィルム効率ηが計算できる。例えば，$t=t_a$とすると，

$$\eta=\frac{T_w(t_a)-T_i}{\sum_{j=1}^{N}U(t_a-\tau_j)(T_{2,j}-T_{2,j-1})} \tag{9}$$

2.2 実験装置

Fig. 3 は実験装置の概観を示す。作動流体である空気

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

は送風機から風洞に送り込まれる。風洞内に整流部が設置され，主流ダクトに流入する前にノズルにより加速される。主流乱れは約0.5%である。計測面の先端部分は鋭利な角度を有しており，一部の空気を外へ放出している。主流の流速を計測するためのピトー管が，一列目のフィルム孔（後述）から9D上流の位置に設置される。主流ダクト，冷却ダクトと供試体の組み合わせをFig. 4に示す。供試体は全てがアクリルから製作された。主流ダクトの大きさは高さ200mm，幅480mm，長さ1,600mmである。なお，200mmというダクト高さは絞りノズルの出口寸法等装置上の都合で決まったものであるが，試験での最大二次空気流量を噴出させた時にもフィルム孔から噴出するジェットが対向面に衝突することがなく，十分なクリアランスを有することをCFDで確認している。

二次空気は，二次空気用の送風機によって供給される。今回の研究では，二次空気を加熱するため，加熱ヒーターを二次空気用送風機の吐出側に装着し，可変抵抗で電流の調整を行い，温度を制御している。ヒーターから供試体手前のディフューザまでを塩ビパイプで接続し，その間に流量計測用オリフィス，切り替えバルブが設置された。ディフューザ下流，供試体手前のプレナムチャンバの大きさは600×600×500mmである。

本研究で用いた二つの供試体（STAG，STAG 2）の冷却構造をFig. 5に示す。両方とも同じ個数，サイズのフィルム孔とインピンジメント孔を有する。孔の直径Dは20mm，個数は30個である。流れ方向に5つの列，各列にスパン方向に6つの孔がある。インピンジメント板の厚みは20mm，フィルム板の厚みは15mmである。ピンフィンの直径dは12.5mmと高さHは30mmである。ピンの数は84本である。ピンフィンとフィルム孔の位置関係，そしてSTAGとSTAG 2の構造の違いはNakamata[5]らの論文中に細かく説明されているが，両者の構造的差異は，ピン配置を固定して考えた場合，基本的にはフィルム孔とインピンジメント孔との位置関係が入れ替わっている点のみである。

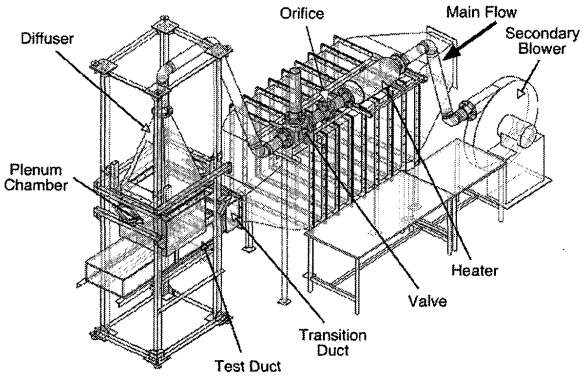


Fig. 3　Schematic of the experimental system

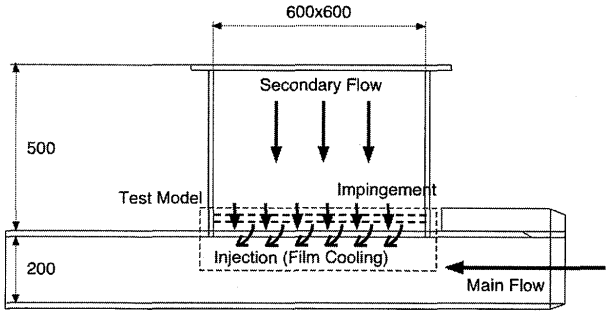
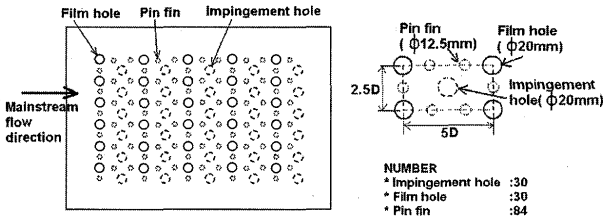


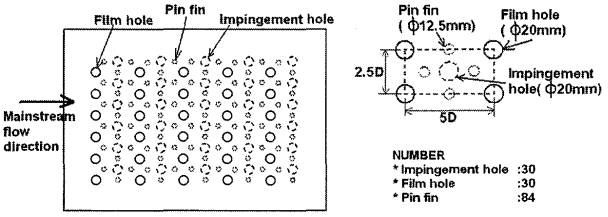
Fig. 4　Schematic of test section

2.3　温度計測

流体の温度はK型の熱電対で計測した。熱電対はインピンジメント孔とフィルム孔の入口に設置され，ピン表面とターゲット面の熱伝達率，そして主流側での熱伝達率・フィルム効率の評価に用いられる。主流温度は主流ダクトの入口で計測した。供試体の表面温度計測には感温液晶を用いた。感温液晶の色変化を撮影するために3CCDデジタルビデオカメラを利用した。ターゲット面とフィルム面に対するカメラの位置関係をFig. 6(a) に示す。ピン表面の計測に関してはSTAGとSTAG 2のピンの配置が異なっている点に注目されたい。ピン表面の撮影はFig. 6(b) に示すようにインピンジメント孔に一番近いピンに注目した。



(a) STAG Pin/Hole arrangement



(b) STAG 2 Pin/Hole arrangement

Fig. 5　Test specimen

2.4　実験方法

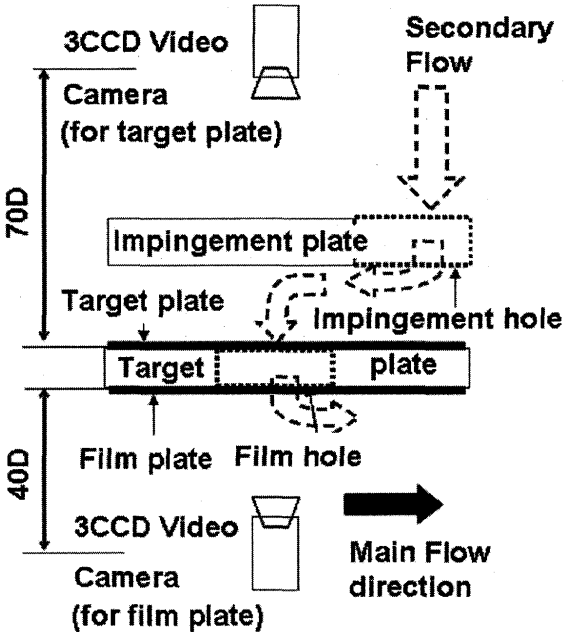
感温液晶の較正では，感温液晶を塗布したステンレス箔とその裏面に熱電対を貼り付けたアクリル製較正板を用いた。較正板は実験装置内に設置され，実験と同じ照明の条件とカメラの位置関係も同じにした状態で，温度と色（色相）の関係を求めた。

本実験では，はじめにヒーターで加熱された二次空気を目的温度に達するまで実験室の外に放出しておく。実験開始する数分前に，主流流速と二次空気の流量計測を完了し，液晶の色変化を録画するためのカメラをセット

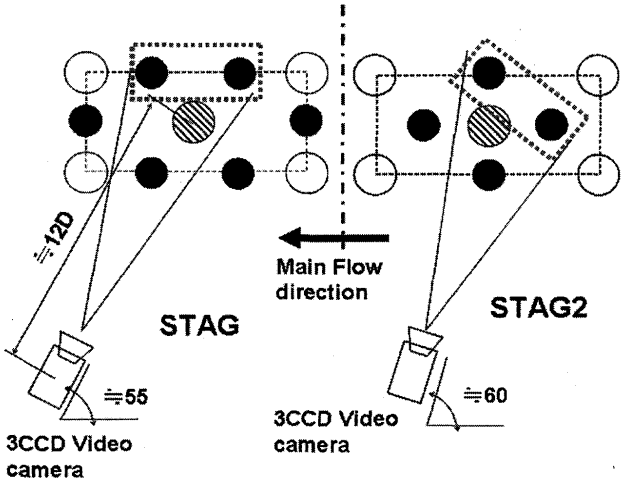
Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

しておく。その後，切り替えバルブを回し，空気を供試本に流す（その時点を実験開始とする）。例として，撮影された液晶の変色をFig. 7 (a) (b) (c) に示す。撮影された感温液晶の画像データをRGBデータとして切り出し，色相に変換後画像処理行って，較正データを元に表面の温度分布を得る。この温度分布と熱電対で計測した温度データを用いて，既に述べたような方法を適用してフィルム効率と熱伝達率を推定する。

実験条件は主流レイノルズ数（以下Re_∞）は3.8×10^5，冷却レイノルズ数（以下Re_2）は4.5×10^3～10.6×10^3である。計測では900秒の温度データと感温液晶の発色状況を記録したが，フィルム面側にインピンジメント側からの熱の浸透（Back heating）の影響を最小限するために，計測開始から600秒間のデータだけを使用した。



(a) Target and Film plate case



(b) Pin surface case

Fig. 6 Arrangement of camera

2.5 不確かさ解析

感温液晶を用いた非定常熱伝達率計測では，その不確かさに寄与する主な要因としては a）感温液晶による表面温度の不確かさ b）2次空気温度の不確かさ c）主流温度の不確かさなどが挙げることができる。a）の要因については実験と同じ状態（カメラの位置，ズーム，照明など）で液晶の較正が行われており，不確かさは約±5%と評価された。以前の研究[8]により，計測面に対して撮影するカメラの角度が50°に変化する時に，計測された温度が0.45[K] に変化すると報告されている。ピンの場合は表面温度計測の不確かさが約±10%と評価された。b）については，フィルム孔とインピンジ孔入口のそれぞれの温度の不確かさは約±7%と±4%と推定された。主流空気を提供するブローワーは実験室内に設置されていたため，実験開始から温度が約1.6℃上昇することが計測され，その効果による不確かさは約6%と評価された。

以上の結果をまとめると，熱伝達率の計測結果に含まれる不確かさは，フィルム板主流熱伝達では約±10.5%，ターゲット面は約±6.5%とピン表面では約±11%と評価された。フィルム効率の不確かさについては，式(9)から熱伝達率と同程度であると推定される。

3．結果

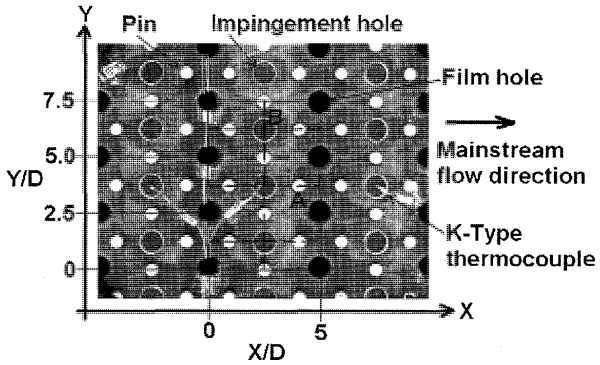
3.1 内部構造の熱伝達（ピン表面）

Fig. 8には計測されたピン表面の熱伝達率の分布を示す。ターゲット板に近いピン表面での熱伝達率がインピンジメント板に近いピン表面の熱伝達率よりも高い。これはインピンジメント孔から噴出されたジェットが，ターゲット板と衝突した後にターゲット板上に壁面ジェットを形成し，壁面ジェットがピンと衝突するからである。インピンジメント板側に近づくと熱伝達率が低下する。これらの傾向はSTAGとSTAG 2で同様である。また冷却空気量が増えるとピン表面の熱伝達率が高くなる点も両者に共通する傾向である。現段階では定量的かつ正確にSTAGとSTAG 2のピン表面の比較は難しい。理由はa）ピン表面に対する色変化の撮影が非常に難しく（カメラの角度と照明の微調整など），b）ピン表面全体（ピン一周）の計測はほぼ不可能であったためである。現段階で得られた結果から，ピンのインピンジメント板側での局所的な部位を除き，STAGとSTAG 2とはほぼ同程度の熱伝達率分布が得られていると考えられる。

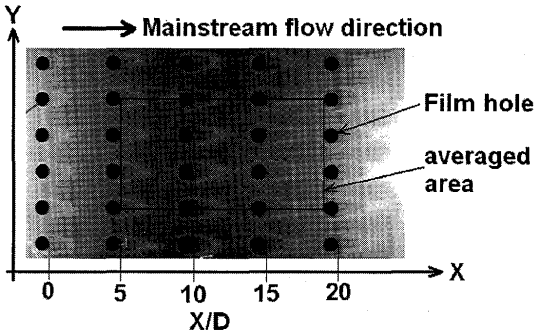
3.2 内部構造の熱伝達（ターゲット板上）

Fig. 9にはFig. 7 (a) に示した線で囲まれた領域内の熱伝達率分布を示す。インピンジメント領域内に熱伝達のピーク値が現れることが両者の共通点である。しかしSTAG 2の場合はインピンジメント領域にピンフィンが設置されたため，高い熱伝達率の発生が抑制されている（図中に点線で囲まれた領域）。なお，インピンジメント

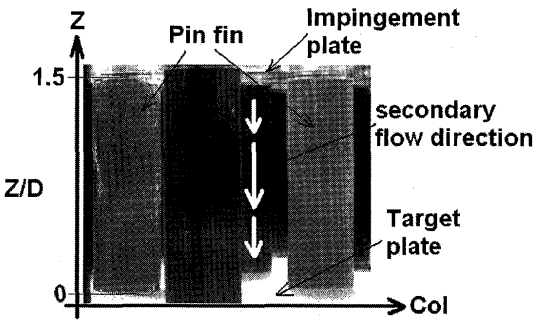
Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.



(a) Target Plate



(b) Film Plate



(c) Pin

Fig. 7 Examples of thermochromic liquid crystal color change on the measurement surfaces

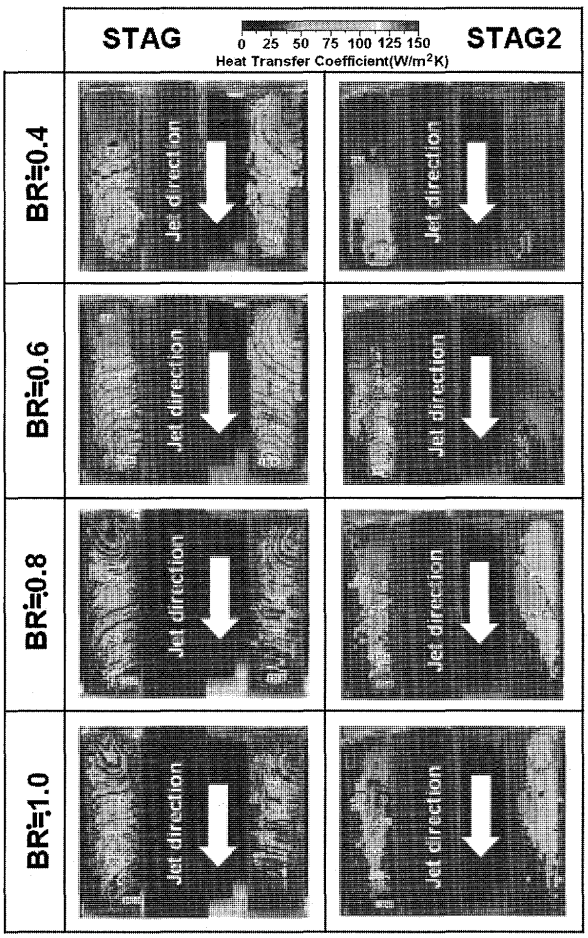


Fig. 8 Heat Transfer Coefficient distribution of Pin surface

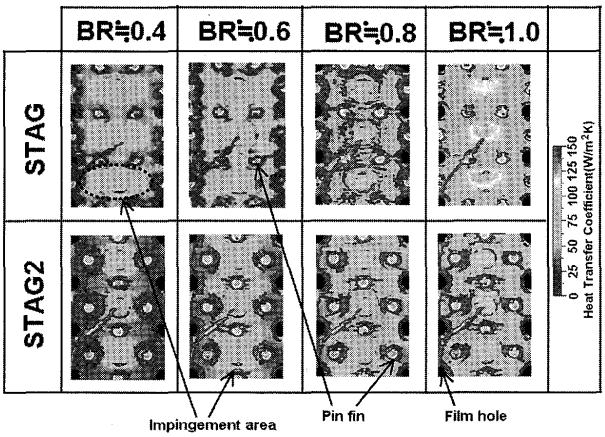


Fig. 9 Heat Transfer Coefficient distribution of Target Plate

ジェットによる熱伝達の特性と流れの関係は船﨑ら[2]の中で調べられている。Fig.10には，正常な発色が観測されない部分を除いた，矩形領域内熱伝達率の平均値を示す。BR≒0.8の場合以外はSTAGの平均値がSTAG 2より約10～20[W/m²K]程度高いことが分かった。STAG 2のBR≒0.8の場合は他の条件と異なった傾向を示していたが，これは発色が正常に観測されなかった部分が多かったからと考えられる。Fig.11とFig.12のグラフは，それぞれインピンジメント領域の水平方向の三つの中心線（破線A）上の平均値と垂直方向の中心線（破線B）上の熱伝達率を示す。

Fig.10とFig.11での比較から，STAGとSTAG 2での熱伝達率分布について次のような大小関係が確認できる。

(1) 熱伝達の平均値 (Fig.10)

STAG＞STAG 2 (BR≒0.8以外)

10～20[W/m²K]程度の差が生じている。

(2) 中心線の熱伝達率（水平方向のピーク値） (Fig.11)

STAG＞STAG 2

BR≒0.8以外は15～20[W/m²K]程度の差が生じている。

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

(3) 中心線の熱伝達率（垂直方向のピーク値）

(Fig.12)

STAG>STAG 2 (BR≒0.8以外)

ピーク値とピーク値の間に，STAGの場合は熱伝達の極大値（fountain effect）[2]が現れる。

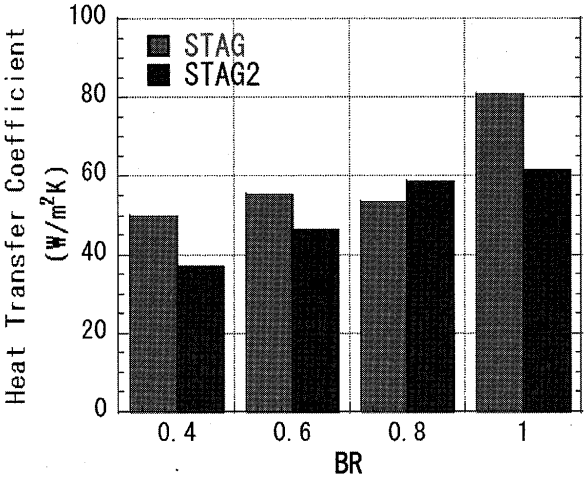


Fig.10 Averaged Heat Transfer Coefficient of Target Plate

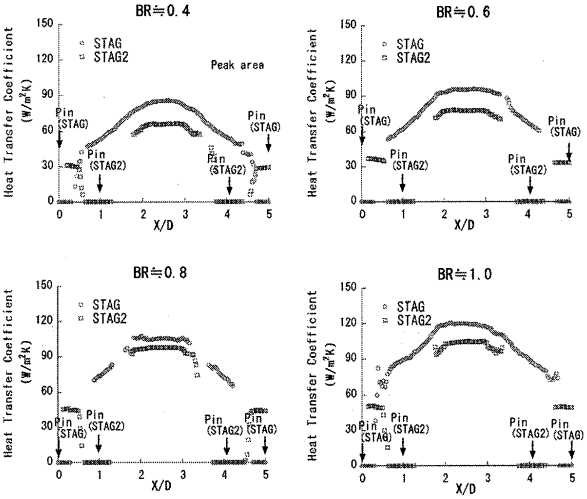


Fig.11 Heat Transfer Coefficient along Line A on target plate

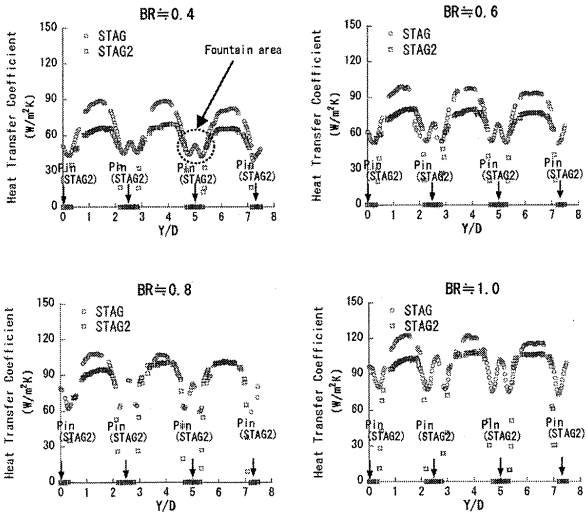


Fig.12 Heat Transfer Coefficient along Line B on target plate

3.3 主流側熱伝達率

Fig.13にはフィルム板主流側での熱伝達率分布を示す。今回の計測では，計測範囲を大きく取った関係で，カメラの解像度が悪くなって感温液晶の発色の変化がシャープな領域（フィルム孔の右左サイド付近）が計測しきれていない。下流側のフィルム孔直後の熱伝達率が上流側のフィルム孔直後よりも高いことが分かる。これは，下流側のフィルム孔から噴出されたジェットが，上流側ジェットに伴う乱れの重ね合わせ効果（superposition effect）を受けることにより熱伝達が高くなると考えられる。なお，熱伝達率データに周囲よりも局所的に高い値を示す箇所があるが，画像解像度等の関係でその原因解明には至っていない。Fig.14には正常に発色しない部分を除いて，Fig. 7 (b) に囲まれた領域内の熱伝達率を平均化した値を示す。流量比が低い (BR≒0.4,BR≒0.6) 場合には，両者の間での熱伝達率の差は小さいが，流量比が高い場合に10～15[W/m²K]程度の差が現れた。BR≒0.8の場合はSTAG 2の方がSTAGより高く，BR≒1.0の場合は逆にSTAGの方が高い熱伝達率の平均値が得られた。

Fig.15にはFig. 7 (b) に示した領域内での熱伝達率をスパン方向に平均化した値を示す。フィルム孔直後に熱伝達が高くなって，フィルム孔から離れると平均熱伝達が低くなる。流量比が低い場合はX/D＝5～20の区間でSTAGとSTAG 2の熱伝達率がほぼ同じ程度を示す。流量比が高い場合にX/D＝5～10の区間で同じ程度の熱伝達率を示しているが，X/D＝15～20の区間では両者の熱伝達率の違いが若干現れた。

今回の研究では，流量比が高い場合にSTAGとSTAG 2の主流側熱伝達率の平均値が異なる理由を明らかにす

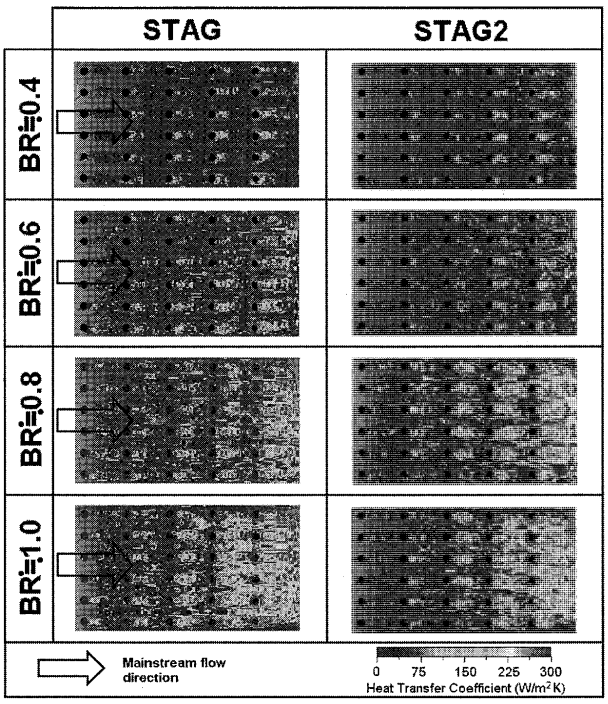


Fig.13 Heat Transfer Coefficient distribution on Film Plate

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

ることができなかった。現在，CFDによる主流側解析を進めており，その結果を踏まえ今後さらに検討していく。

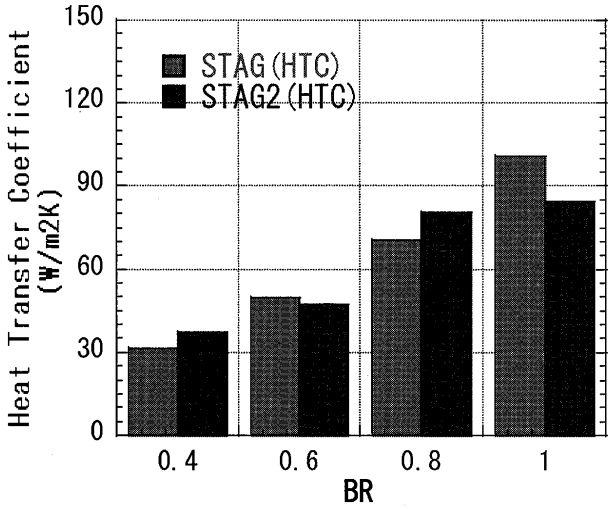


Fig.14 Averaged Heat Transfer Coefficient on Film Plate

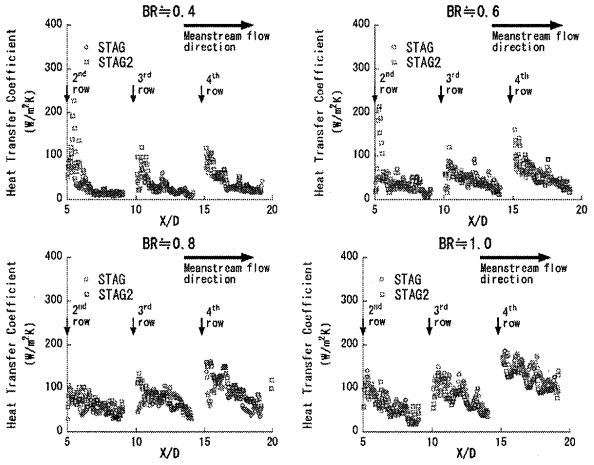


Fig.15 Laterally averaged Heat Transfer Coefficient on Film Plate

3.4 フィルム効率

Fig.16にはフィルム板上でのフィルム効率分布を示す。STAGのBR≒0.4の場合に高いフィルム効率を示す。STAG 2の場合のフィルム効率は，その分布の広がりがSTAGよりも狭いという結果が得られた。BR≧0.6の場合はBR≒0.4よりやや低いフィルム効率を示しているが，BRが大きくなるにつれて，高いフィルム効率分布の領域が下流側から上流側の方に広がっていくように見える。Fig.17はFig. 7(b) で示した領域内のフィルム効率の平均値を示す。流量比が高くなるにつれて，両者のフィルム効率の差が小さくなっている。

Fig.18にはFig. 7(b) 中で示された領域内のフィルム効率をスパン方向に平均化した値を示す。Fig.17で見たように，BR≒0.4とBR≒0.6の場合では，STAGのスパン方向平均フィルム効率はSTAG 2より若干高い平均フィ

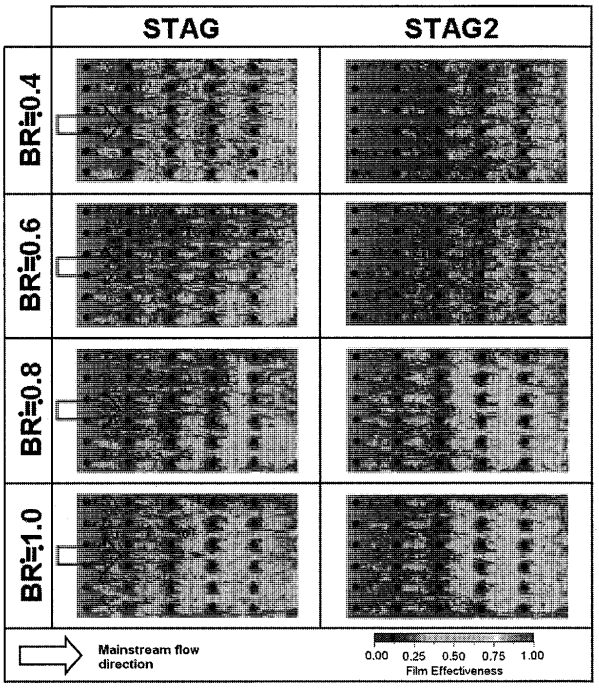


Fig.16 Film Effectiveness distribution on Film Plate

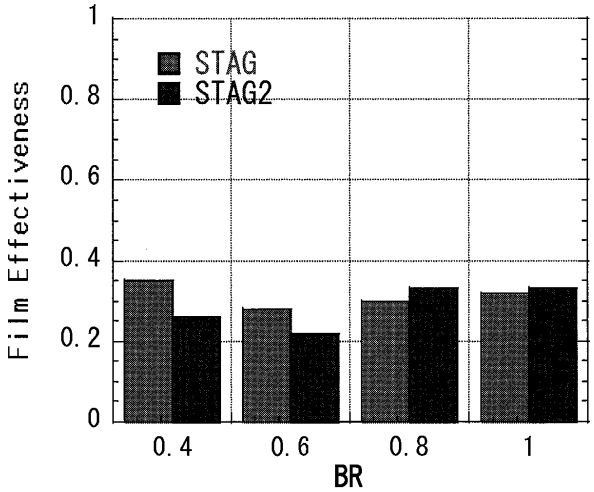


Fig.17 Averaged Film Effectiveness on Film Plate

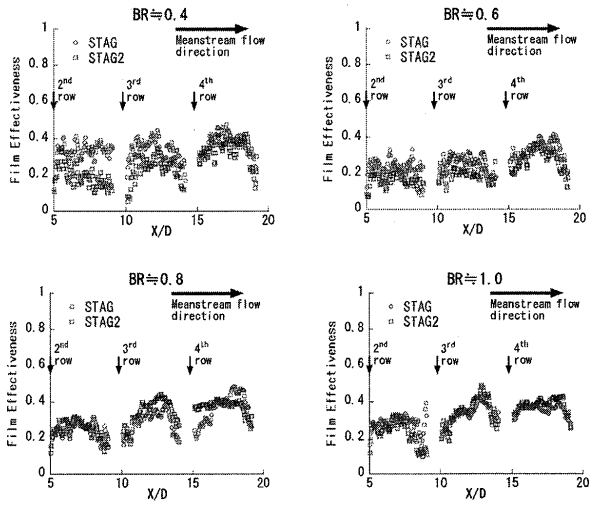


Fig.18 Laterally averaged Film Effectiveness on Film Plate

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

ルム効率を示す。BR≒0.8の場合はSTAG 2 の 3 列と 4 列の間は若干STAGより上回るが，その差は小さい。また，BR≒1.0の場合はほとんど差が見られない。

流量比によるフィルム効率の分布の広がりや効率値の増減の関係を決めるメカニズムは現段階の研究ではまだ解明されていない。今後の課題として，CFD解析及び流れ場の計測も行う予定である。

4．議論

上で得られた実験結果を踏まえ，Nakamataら[5]の研究で確認されたSTAGとSTAG 2 での冷却効率の違いの原因を検討する。

議論を簡単化するため，冷却効率を次のように定義する。

$$\eta_c = \frac{T_\infty - T_{w,m}}{T_\infty - T_2}, \tag{10}$$

ここで，$T_{w,m}$は翼肉厚方向への平均温度である。また，フィルム冷却がある場合の翼肉厚方向への熱の流れ，即ち熱流束は次のように近似的に表される。

$$q = h\left(T_{aw} - T_{w,m}\right) = h_2\left(T_{w,m} - T_2\right) \tag{11}$$

ここで，h，h_2，はそれぞれ主流側及び冷却側での熱伝達率である。式(10)は，式(3)及び式(11)を用いて，以下のように変形される。

$$\eta_c = \frac{T_\infty - T_{aw}}{T_\infty - T_2}\frac{T_\infty - T_{w,m}}{T_\infty - T_{aw}} = \eta\frac{T_\infty - T_{aw} + T_{aw} - T_{w,m}}{T_\infty - T_{aw}} = \eta\left(1 + \frac{T_{aw} - T_{w,m}}{T_\infty - T_{aw}}\right) = \eta\left(1 + \frac{h_2}{h}\frac{T_{w,m} - T_2}{T_\infty - T_{aw}}\right)$$
$$= \eta + \frac{h_2}{h}\frac{T_{w,m} - T_2}{T_\infty - T_2} = \eta + \frac{h_2}{h}\frac{T_{w,m} - T_\infty + T_\infty - T_2}{T_\infty - T_2} = \eta + \frac{h_2}{h}\left(1 - \eta_c\right) \tag{12}$$

$$\therefore \eta_c = \frac{\eta + \frac{h_2}{h}}{1 + \frac{h_2}{h}} = \frac{1 + \frac{h_2}{h} - 1 + \eta}{1 + \frac{h_2}{h}} = 1 - \frac{1 - \eta}{1 + \frac{h_2}{h}}$$

この式から，冷却効率はフィルム効率が 1 に近づくほど，熱伝達率比h_2/hが大きくなるほど（内部冷却が支配的になるほど）増加することがわかる。式(12)に，実験で得られた結果（平均値）を代入し，Nakamataら[5]の結果（Fig. 2 ）との比較を行った。なお，主流側熱伝達率及びフィルム効率の平均値は，Nakamataらの定義と同様に，上流側 2 列目から 4 列目までの冷却孔の影響を受ける部分の平均値である。なお，式(12)の導出に用いた仮定等の関係で，冷却効率そのものの直接的な比較は困難なため，STAG2とSTAGでの冷却効率の比をとって比較を行った。その結果をFig.19に示す。式(12)のよる評価値とNakamataらの計測値とは定量的には一致していないが，流量比BRの増加とともにSTAG 2 とSTAGの冷却効率比が 1 に近づく傾向は捉えられている。そして，Fig.17に示されているように，流量比に対して平均フィルム効率が大きくは変化していないことから，冷却効率比が（特に低流量比のときに比較的顕著に） 1 を下回る（即ちSTAGでの冷却効率の方が大きい）理由は，STAGの熱伝達率比h_2/hがSTAG 2 のh_2/hよりも大きいからである。また，Fig.10及びFig.14の結果から，熱伝達率比の違いはSTAGでの冷却側熱伝達率が相対的に大きいことに起因していると考えることができる。

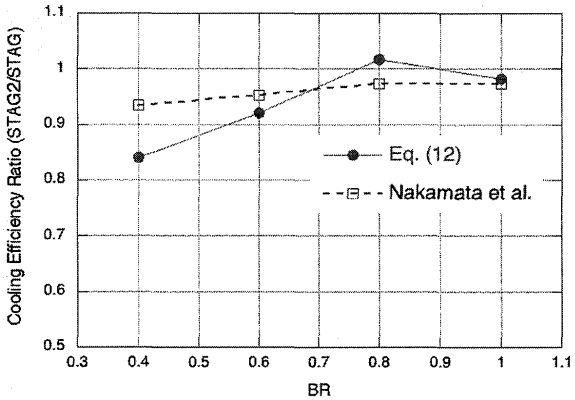


Fig.19 Comparison of the cooling efficiency ratios evaluated by Eq.(12) with those measured by Nakamata et al.[5]

5．結言

実験的な手法を用いて，STAGとSTAG 2 の内部冷却（ターゲット面＆ピン表面）と同時にフィルム冷却の伝熱特性を調べた。フィルム冷却に関しては，流量比が高い（BR≒0.8&BR≒1.0）場合に熱伝達率の差が認められるが，流量比が低い（Br≒0.4&BR≒0.6）場合にSTAGとSTAG 2 の熱伝達率がほぼ同じである。X/D＝5～10に限って，全条件でSTAGとSTAG 2 の熱伝達率がほぼ同じである。ターゲット面上熱伝達率に関してはBR≒0.8を除いて，STAGの熱伝達率がSTAG 2 より高いことが確認された。ピン表面の熱伝達率の定量的な評価に対してはまだ明らかになっていないが，現段階ではSTAGとSTAG2の熱伝達率がほぼ同じと考えられる。

また，冷却効率に関する簡易評価式を導出し，本研究で得られた結果を元に，Nakamataら[5]で得られた冷却効率の違い（Fig. 2 ）の原因を検討した。その結果，冷却側（ターゲット面上）熱伝達率と主流側熱伝達率の比が大きいほど冷却効率は向上すること，低流量比でSTAGの方が高い冷却効率を示す理由は，そのときのSTAGでの冷却側熱伝達率がSTAG 2 での値よりも大きいことが原因であることが明らかとなった。

感　謝

本研究を進めるにあたり，仲俣千由紀博士，大北洋治氏（IHI）のご協力を得た。また，実験装置の製作に際し，菊池護氏（岩手大学技術室），佐々木圭一氏，藤本甫氏，松本行朗氏（岩手大学工作センター）のご協力頂いた。ここに深く感謝の意を表す。

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

参考文献

(1) Funazaki, K., Tarukawa, Y.,Kudo, T. , Matsuno, S., Imai, R. and Yamawaki, S., Heat Transfer Characteristics of an Integrated Cooling Configuration for Ultra-High Temperature Turbine Blades : Experimental and Numerical Investigations, ASME Paper 2001-GT-148, 2001

(2) 船﨑健一, 工藤俊光, 八屋和規, 高温タービン用複合型インピンジ冷却構造の伝熱特性に関す る数値シミュレーション（計算手法の実験的検証), 日本ガスタービン学会誌, Vol.31, pp. 108-115, 2003.

(3) 船﨑健一, 山田和豊, 佐藤浩平, 遺伝的アルゴリズムによる複合型イン ピンジメント冷却構造の最適化, 日本ガスタービン学会誌, Vol.34, No. 6, pp. 439-445, 2006

(4) カルロスフェリーペ, フェレイラ, ファヴァレット, 船﨑健一, 遺伝的アルゴリズムによる複合型インピンジメント冷却構造最適化の試み, 日本ガスタービン学会誌, Vol.32, No.5, pp.351-356, 2004.

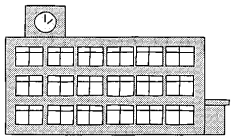
(5) Nakamata,C., Ohji,Y.,, Matsuno,S., Mimura,F., Matsushita,M., Yamane,T., Yoshida,T., Spatial Arrangement Dependence of Cooling Performance of an Integrated Impingement and Pin Fin Cooling Configuration, ASME paper GT2005-68348, 2005

(6) Thielen, L., Jonker, H.J.J., Hanjalic, K., Symmetry breaking of flow and heat transfer in multiple impinging jets, International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 24, pp.444-453, 2003

(7) Walters, D.K., Leylek, J.H., A Detailed Analysis of Film Cooling Physics Part 1-Streamwise Injection With Cylindrical Holes, ASME Journal of Turbomachinery, Vol. 122, pp. 102-112, 2000.

(8) Funazaki,K., Ishizawa,K. and Yamawaki,S., Surface Heat Transfer Measurement of a scaled Rib-Roughened Serpentine Cooling Passage by Use of a Transient Liquid Crystal Technique, ASME 98-GT-515

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.



物理学校

山本　誠*1
YAMAMOTO Makoto

会員の皆様は「物理学校」という専門学校があったことをご存知でしょうか。あまり知られていませんが，夏目漱石の「坊ちゃん」の主人公「坊ちゃん」は物理学校の卒業生でした。

明治10年（1877年）に東京大学が日本初の大学として創立されましたが，その理学部仏語物理学科（当時はフランス語での講義だったらしい）の卒業生19名と同級生２名が共同で明治14年に設立したのが物理学校（設立時は物理学講習所）です。大学卒業直後に物理学校を作ったため，創立者21名の平均年齢は23才であり，人生50年の時代とはいえ，信じられないような若さでした。建学の理念は，「理学の普及をもって国運発展の基礎とする」ということで，明治時代初頭の雰囲気がよく表われているように思います。明治時代も現在も科学技術立国という点では同じだったようですが，若者の意識の大きな隔たりは時代を感じさせます。

物理学校の面白い点は，設立当初，専任教員がおらず，教員全員が非常勤講師だったことです。創立者達は東大や師範学校の教員，国家公務員といった本職を持っていたそうですが，仕事が終わって夜になると物理学校へ集まって来て教鞭をとりました。また，教員は全員無給でしたが，完全なボランティアであったにもかかわらず，休講すると１回につき25銭の罰金を取られるという理不尽（？）な制度となっていました。さらに，そんな状態だったのできちんとした予算がある訳もなく，校舎は小学校を夜間だけ借用，実験装置もなく，東大の物理実験機器を借り出して講義をし，講義が終わると夜のうちに返却しに行っていたそうです。このように書き出してみると，よく教員になる人がいたものだと思います。当時は，それだけ理想に燃えた人達が多かったのかもしれませんし，大学卒業生全体にノブレス･オブリージュの気概が横溢していたのかもしれません。

物理学校は，一貫して実力主義を標榜していました。例えば，学生数を見てみると，明治22年には１学期（１年前期）309名，２学期（１年後期）193名，３学期（２年前期）60名，４学期（2年後期）22名，昭和４年には１年2170名，２年224名，３年150名（卒業生123名，当時は３年制）となっており，入学者数に対して学年が進むほど学生数が激減しており，きびしく落第させていたことが分かります。このような進学状況から物理学校は落第学校と呼ばれていたそうです。実力のないものは去れといった学風だったのではないでしょうか。今，こんな落第のさせ方をすれば，文部科学省から厳しいお叱りを受けた上，補助金カットの憂き目にあうでしょうが，明治から戦前まではこのようなことが問題とはならなかったようで，実にうらやましい限りです（これほど落第させて良いなら，教員はどれほど楽なことか,,, 汗）。

一方で，このような実力主義はすばらしい教育成果も生み出しました。明治から大正にかけて，師範学校や旧制中学の教員となるためには，教員検定なる試験を受けなければなりませんでした。毎年，全国で数学に50名，物理に数名，化学に数名程度の合格者が出ましたが，その過半数，ときには全員が物理学校の卒業生で，日本全国の理数教育を物理学校卒業生が担っていたといっても過言ではありません。現在，700を越える大学がありますが，ひとつの分野であっても物理学校のような存在感や先導的役割を果たしている大学はないのではないでしょうか。

物理学校のように，戦前の大学にはそれぞれに特色があったように思います。経済の一橋，行政の東大，文学の早稲田，法律の法政，工業の蔵前，軍事の海軍・陸軍士官学校など枚挙に暇がありません。戦後の大学は総合大学化することにより特色を失い，入学試験の偏差値だけでランク付けされる存在になっています。私は，大学に対する現在のような偏差値至上主義の価値観は，どこか歪んでいるような気がします。卒業生が大学の特色を自認し，胸を張って母校を誇れるような，そんな大学に多くの大学がなってもらいたいものです。

今回の喫茶室が私の担当する最終回です。長いようであっという間の１年でしたが，いかがだったでしょうか？　私の駄文に１年間お付き合いいただいた方々には，心より感謝したいと思います。本当にありがとうございました。なお，次号からの喫茶室は，装いも新たに「シニア会員の発言の場」となります。喫茶室という表題は変わりませんが，経験豊富なシニア会員のご意見が披露されることとなりますので，ご期待いただければ幸いです。また，若者に一言言いたい，我こそは，と思われるシニア会員の方は，是非，学会事務局へご連絡ください。お待ちしています。

原稿受付　2007年10月17日
＊1　東京理科大学　工学部　機械工学科
〒102-0073　東京都千代田区九段北１－14－６

Download service for the GTSJ　member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

電力中央研究所におけるガスタービン保守技術研究の紹介

藤岡　照高*1
FIJIOKA Terutaka

キーワード：Gas Turbine, Maintenance Planning, Computational Fluid Dynamics, Damage Trend Analysis

1．はじめに

㈶電力中央研究所（以下，電中研）は，国内電気事業12社からの継続給付金を主要な財源とする公益法人であり，「電気事業の運営に必要な電力技術及び経済に関する研究，調査，試験及びその総合調整を行い，もって技術水準の向上を計り電気事業一般業務の能率化に寄与することを目的」[1]として，発電，送電，環境，情報等の幅広い分野の研究開発に取組んできている。主な事業所は，東京都千代田区の本部，東京都狛江市，千葉県我孫子市，および神奈川県横須賀市に分野ごとの８つの研究所が置かれ，このうちガスタービン関連研究は横須賀地区に本拠を置くエネルギー技術研究所および材料科学研究所で主に取組まれている。

横須賀地区では，1984年頃から石炭ガス化複合発電用低カロリーガス燃焼器の基礎研究を開始し[2]，その後，ガスタービン開発に係わる各種のプロジェクトを経験し，現在では主にLNG焚き複合発電用ガスタービン高温部品の保守コスト低減に寄与する各種技術の開発に取組んでいる。すなわち，電気事業者そのものがガスタービンの設計，製造を行うのではないため，その運用と保守に力点を置き[3],[4]，ガスタービン実機を所有しない電中研が，電力会社等の協力を得て，研究開発を進めるとの図式を取っている。今回は，設備使用者の視点に立って進めてきた研究例を紹介する。

2．高温部品使用計画作成支援システム

発電用大型ガスタービンの高温部品（燃焼器，動静翼，シュラウド）の寿命（耐用時間）は，タービン本体に比べて短く，損傷許容運用，及び検査，補修，交換の繰返しによるローテーション使用が行われる。膨大な点数の部品の管理寿命（起動停止回数や使用時間に基づく等価運転時間や補修履歴などが指標とされる）を記録，管理

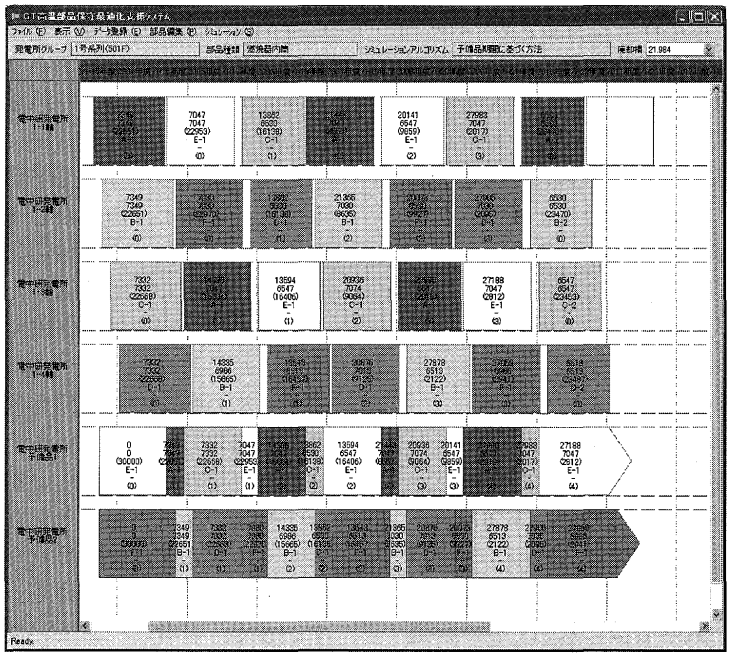


図１　保守最適化支援システムの表示画面例

原稿受付　2007年９月10日
＊１　㈶電力中央研究所，エネルギー技術研究所
〒240-0196　横須賀市長坂２－６－１

Download service for the GTSJ　member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

し，能率的な部品使用計画（ローテーション計画）を作成する必要があるが，その計画の良否によって長期的な部品購入費用，補修費用が変わり得る。電中研が開発しているシステムは，業務用パソコンで動作し，そのような計画の作成を支援し，マニュアルで行う試行錯誤や，指定したアルゴリズムに基づく自動ローテーション計画作成を行い，長期的に要する保守コストの試算を行うものである[5]。

図1に開発したシステムの表示画面例を示す。部品は，ガスタービン1軸に装着する部品セットを1グループとしてグループ管理され，ローテーション計画はガスタービンでの使用日数または予備品としての待機日数に応じたカラーバーで表示される。

ユーザーは，カラーバー上で修正したい箇所をマウスで選択し，予備品が複数待機している場合は，ユーザーが望ましいと考える部品グループを選択する。数年程度の指定された期間に対して，定められたルールに基づき，自動的に計画を作成することもできるため，全期間を通じてマニュアルで計画を作成する必要はなく，管理寿命を超える場合は，自動計画の場合は自動的に新品購入が計画され，手動計画の場合は警告を表示し，ユーザーの判断を促す。また，損傷が許容限界を超えた場合や，破壊試験に供することで生じる部品欠落を補うなどして，長期間の使用の後には同一グループ内の構成部品の履歴，すなわち消費寿命が異なることが生じ得るため，メンバを他のグループのものと手動交換して，最短余寿命メンバで定まるグループ余寿命の不揃いを軽減できる。

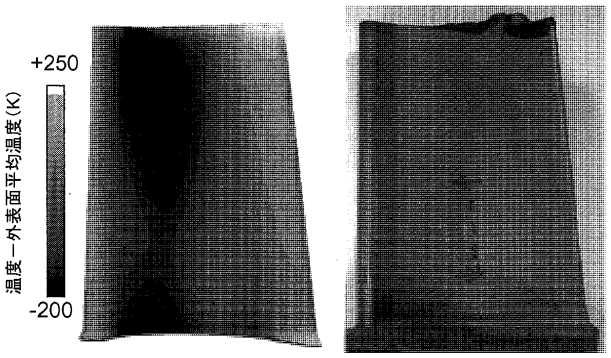
本システムは，ガスタービンユーザーが日常的な業務の一環として行う保守計画立案だけでなく，寿命延伸，点検間隔の柔軟化，補修期間の短縮など，保守コストの低減につながり得る様々な要因の効果の評価にも適用できる。

3．初段動翼の伝熱流動解析・構造解析

ユーザーがガスタービンの設計に参加することは考え難いが，使用中に生じる損傷の原因の理解を進める上で，設計で行われるのと同等な伝熱流動解析や構造解析を行っておくことには価値がある。電中研では，そのような観点から，初段動翼を対象として金属温度の履歴や応力状態を把握するための数値解析技術の高度化にも取組んできている。

一例として，1300℃級初段動翼の定格運転中温度分布の解析結果を，廃棄動翼の外観と比較して，図2に示す[6]。高温酸化による減肉を生じる位置と高温部とが整合しており，本解析結果を酸化減肉の検査記録と照合することにより，実際の使用環境中での減肉速度データを取得できる。

起動－停止の過程における温度分布の変化履歴が既知になれば，構造解析によって応力分布を評価することができる。図3に図2の温度分布を得た数値流体解析の結果に基づき行った弾性応力解析の結果（応力範囲の分布）を示す。応力範囲が高い部位と，実際にき裂状損傷を生じる位置とが整合しており，実機の損傷傾向を理解する上で有益な情報が本解析から得られることが示唆される。



(a) 表面温度分布の解析結果　(b) 廃棄動翼外観

図2　数値流体解析に基づく1300℃級初段動翼の温度解析結果（翼表面温度分布）と実廃棄動翼外観との比較

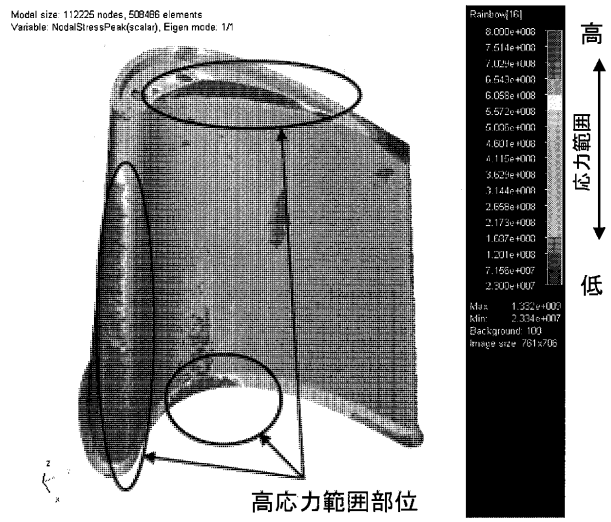


図3　構造解析に基づく1300℃級初段動翼における弾性応力範囲の表面分布

4．おわりに

本稿では電中研が取組むガスタービン関連研究のうち，部品ローテーション計画等の保守計画の能率的作成やコスト効果が高い合理化項目の抽出に使用可能な保守最適化支援システムの開発，および実機損傷の解釈に役立つ初段動翼の伝熱流動解析・構造解析を紹介した。

参考文献

(1) http://criepi.denken.or.jp/jp/intro/idea/index.html
(2) 電中研，電中研レビュー第44号（2001－11）
(3) 高橋毅，日本ガスタービン学会誌，29－5（2001－9），p. 338
(4) 緒方隆志，日本ガスタービン学会誌，29－5（2001－9），p. 345
(5) 藤井智晴ほか，電力中央研究所報告，研究報告：M06003（2007－3）
(6) 高橋俊彦ほか，電力中央研究所報告，研究報告：M04002（2005－7）

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

報　告

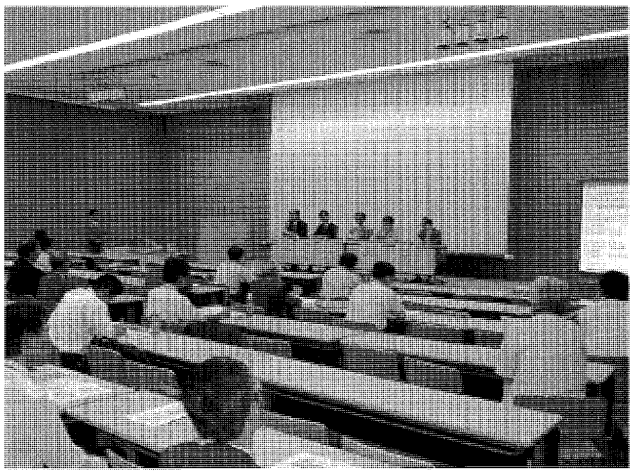
第35回ガスタービン定期講演会報告

佐伯　祐志*1
SAEKI Hiroshi

毎年恒例の定期講演会は，今年度は2007年９月19日㈬から20日㈭にかけて，岐阜県岐阜市での開催であった。参加者数は113名。会場は鵜飼で有名な長良川河畔の長良川国際会議場。参加者の方々の中には，鵜飼を見物された方も少なからずおられたようである。斯く申す当方も，その一人であるのだが。

さて，本題の講演会だが，一般講演42件，特別講演１件と例年と比較して多少少なめであるが，本年度のIGTC' 07 Tokyoの開催や，同日に岐阜大学で開催された金属学会・鉄鋼協会講演会を考慮すれば，まずまずの講演数であるといえるだろう。前記講演会のあおりで金属材料関係の発表が少なめであったことが，今年度の特徴である。ただし，少ないながらも４件の材料関係の発表があり，議論は活発であったと付け加えておきたい。その他伝熱・冷却関係4件，燃焼関係と空力関係は毎年恒例で多く，それぞれ11件と13件，新サイクル関係及びマイクロガスタービン関係がそれぞれ４件と３件，開発関係4件である。伝熱，空力関係の発表では，近年特に発達してきた大規模解析技術を用いた数値解析に関する発表が増えてきたように見受けられる。クラスタマシンの低価格化（パソコン汎用部品の使用による）や大容量メモリの価格低下により，今までは実施できなかった大規模解析が手軽に実施できるようになったためであろうか。また，解析ばかりでなく試験のほうでも，流れの可視化や画像処理による面分布の計測など，計測高度化が進んでいる。一昔前は，解析と試験結果は一致しないのは当たり前などと少々乱暴な意見も聞かれたように思うが，今回の発表では両者が良く一致している例が多く見受けられた。模型や試作機による実証試験まで進んでいる研究もあった。ガスタービンという実際の物の研究であるため企業の発表が多いと思われがちであるが，近年は学生や大学院生の発表も盛んになってきたように思われる。まだ発表には不慣れであるため，諸先生方に厳しい御指摘（御指導？）を頂く方も見受けられるが，研究発表の良き練習の場？として，どんどん利用されると良いと思う。斯く申す当方も，あまり偉そうなことは言えない身ではあるが。

また，特別企画としてパネルディスカッションが実施された。今年度はガスタービン・ジェットエンジン関連国家プロジェクトの最新事情と将来展望という題目で，まず最新国家プロジェクト御担当者より，1700℃級ガスタービン開発（三菱重工），AHAT：高湿分空気利用ガスタービンシステム開発（日立），小型エコエンジン開発（IHI）の各国プロに関する概要説明があり，続いて会長の吉識晴夫先生からのコメント，GTSJガスタービンを考える会からの活動報告，そして質疑応答と進んだ。時間の短さもあり活発な質疑応答とはいかなかったが，それでも重要な意見が述べられ，充実していたと思う。ガスタービン開発は決して一企業だけで進められるものではなく，今後も国の後押しが重要との意見が多くあった。それらの意見をまとめ，吉識先生より「今後も国に興味を持ってもらうためには，成果を強くアピールすることが重要。特に重要なのは，得られた成果に関する特許提案件数を増やすことと思う。」とのご意見があった。また，土木・建築学会のようにGTSJから国会議員を，との意見もあり，本気かどうかはともかく，充実した意



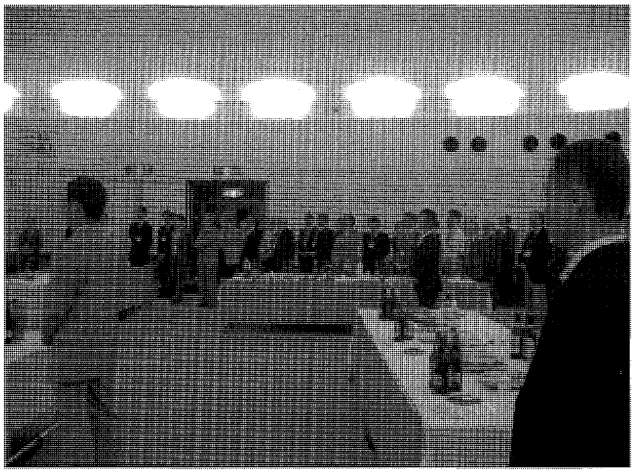
パネルディスカッションの様子

特別講演「道三と信長と岐阜」の会場

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

見交換の場となった。最後に，ガスタービンを考える会の今後の活動についての見通しが紹介され，盛況の内にディスカッションが終了した。

特別講演は第1日目の最後に実施され，今年は郷土歴史家の加納宏幸氏による，岐阜城にゆかりのある戦国武将の話であった。特に織田信長には大変詳しい御様子。なぜ信長は天下を取る寸前まで行けたのか？　その理由は「誰もやらないことをやった」からとのこと。実に，研究にも通じる話ではないか。加納氏が信長の話をされている時，実に楽しそうに話されていたのを強烈に覚えている。余程信長がお好きなのだな，と感じた。



懇親会会場（会議場最上階）

さて，懇親会は第1日目の特別講演終了後，同じ会場の最上階（国際会議場）にて，黄昏時の長良川を眺めながら行われた。前述したが，今年はIGTCが開かれるとあって，吉識先生のスピーチの後，IGTC' 07実行委員長の大田英輔先生より，大勢の参加を希望する旨，お話があった。また，学術講演会委員会より，来年の講演会開催地が日立市（日立シビックセンター）であること，見学先が勿来IGCC実証施設などであることが発表された。

次に，見学会について簡単に報告する。21日㈮朝8:00頃よりバスで出発，最初の訪問地は各務原市の川崎重工㈱岐阜工場である。同工場では航空機の設計，製造等が行われており，現在はP-X（防衛省次期主力哨戒機）及びC-X（同輸送機）開発の主担当として，同試作機の組立，強度試験，飛行試験準備等が実施されている。これらは純国産開発航空機で，特にP-Xはジェットエンジン，電子機器も含めて完全国産開発，C-Xはエンジン以外は全て国産とのこと。両機とも現在，試作１号機が飛行試験に向けての準備中で，製造中の２号機を真近で見ることが出来た。終戦後，日本では航空機の研究が禁止されたため，特に欧米と比べて遅れを取っていたが，ここまで漕ぎ着けたとの感がある。その後，隣にある，かかみがはら航空宇宙科学博物館でNAL（現JAXA）が開発したSTOL機飛鳥と，その国産エンジンFJR710等を見学した。日本のジェットエンジン開発の歴史を感じる見学会であった。その後，名古屋市内へ移動し，トヨタテクノミュージアム産業技術記念館で自動織機と自動車の歴史（自動車用ガスタービンの展示も目立たぬながら有り）を，ノリタケの森では骨董品の食器類（タービン冷却翼精密鋳造に使用するセラミック中子の展示もあったとのこと）を見学した。全体として，歴史を学ぶ見学会となった。

最後に，講演会・見学会開催に当りご協力いただいた岐阜観光コンベンション協会殿，川崎重工殿，及び講師の方々始め関係者各位殿に厚くお礼申し上げ，本報告を終了する。また，最後まで本報告にお付き合いいただいた方にも，お礼申し上げる次第である。

（学術講演会委員会委員）

訃　報

評議員・2007年国際会議副実行委員長　水木　新平　君　62才

平成19年８月22日逝去されました

ここに謹んで哀悼の意を表します

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

○本会共催・協賛・行事○

主催学協会	会合名	開催日・会場		詳細問合せ先
日本エネルギー学会	燃焼フォーラム22 －バイオマス燃料燃焼技術の最前線－	H19/11/30 東京電力㈱ 電気の史料館 ミュージアムホール	協賛	日本エネルギー学会 「燃焼フォーラム21」係 URL:http://www.jie.or.jp/2007/events/forum_071130.htm
日本コージェネレーションセンター	コージェネレーションシンポジウム2007（第23回）	H19/12/05-06 経団連会館14F 「経団連ホール」	協賛	日本コージェネレーションセンター TEL03-3433-5044 FAX03-3433-5673
日本マリンエンジニアリング学会	2007年度「先進コース」《電気・電子》講習会	H19/12/07-08 神戸大学 深江キャンパス	協賛	日本マリンエンジニアリング学会 http://www.jime.jp
日本機械学会 関西支部	第293回講習会「プロとして使う英語を磨く（Polishing Your Professional English)」	H19/12/10 大阪科学技術センター 8階　中ホール	協賛	日本機械学会関西支部 URL:http://www.kansai.jsme.or.jp/
日本マリンエンジニアリング学会	『超省エネ船シンポジウム』 －燃料5割削減は可能か？－	H19/12/17 建築会館ホール	協賛	日本マリンエンジニアリング学会 http://www.jime.jp
日本機械学会	第7回内燃機関のモデリングと診断に関する国際会議（COMODIA2008）	H20/07/28-31 北海道大学 学術交流会館	協賛	日本機械学会 URL:http://www.e-convention.org/comodia/

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

編集後記

今回は特集テーマとして，原動機・発電設備等で広く採用されている遠隔監視技術を取り上げました。遠隔監視については，従来，運転保守，制御技術等のテーマの中でたびたび触れられてきたものの，まとまった形では紹介されたことはありませんでした。学会誌の独立したテーマとして相応しいか，画一的になりはしないか，特集に耐え得るかどうか等，不安もありましたが，多くの関係諸氏よりご賛同を頂戴しましたので，今回，敢えて特集を組ませていただいた次第です。

最近の傾向として，ガスタービン，ガスエンジン等の分散型コージェネ設備は，産業市場より民生市場に多く設置されてきましたが，民生市場は産業市場と異なり，運転・保守管理技術を十分習得した専門技術者の常時配備が困難な市場です。このような中で，経済性・採算性を確保しつつ，設備の安全性および高稼働率を維持するツールのひとつとして遠隔監視技術が大きな役割を担ってきていることは見逃せない事実と思います。また，大型産業用，事業用発電設備および風力発電設備等においても広く採用され，運転管理，異常診断および予防保全等に大きな威力を発揮しております。

編集を終え，振り返ってみますと，各社様がそれぞれ特長を生かして執筆していただいており，当初の不安を払拭することができました。全体システムの紹介とは別に，発展の歴史，異常診断，予防保全の具体事例の紹介等々，バラエティーに富んだ内容になっており，大変おもしろく読んで頂けるのではないかと考えております。

遠隔監視技術は，IT技術の高度化と相まって今後もさらに発展を遂げ，原動機・発電設備のみならずあらゆる設備の監視技術として普及し，将来のユビキタス社会実現に向けその一翼を担うことができるよう期待しております。

今回，特集テーマについては，ガスタービンメーカ殿５社，ガスエンジンメーカ殿１社，風車メーカ殿１社および運用・ユーザ系会社殿２社に執筆をお願いし，研究だよりおよび喫茶室は，それぞれ研究機関と大学の先生方に執筆していただきました。

執筆者の方々には，ご多忙中にもかかわらず，急な原稿依頼を快くお引き受けいただきましたこと，編集委員一同，心より厚く御礼申し上げます。

本号の企画編集は，幡宮重雄委員（日立製作所），辻田星歩委員（法政大学），中村修三委員（荏原製作所）および小林利充（荏原製作所）が担当させていただきました。

(小林利充)

（表紙写真）

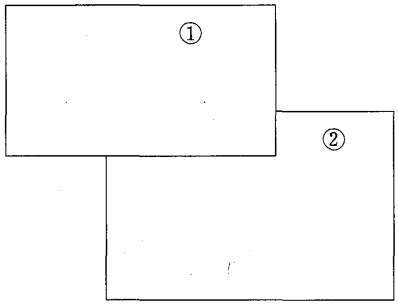
表紙図表構成

①論説・解説

本文409頁　図６　　リアルタイムモニタリング画面

②論説・解説

本文419頁　図１　　遠隔監視センター



☘事務局だより✉☘

みなさま，はじめまして。GTSJ事務局　中村と申します。前回９月号から，この事務局だよりのコーナーは，事務局３名のローテーションとなりました。どうぞよろしくお願い申し上げます。

会員のみなさまとは，お電話やE-MAIL，あるいは行事のご参加などでお会いする機会もございますが，多分，多くの方が事務局についてはあまりご存知ないかと思いますので，今回は，GTSJ事務局について少しご紹介させていただきます。

GTSJ事務局は，新宿西口から徒歩10分の所にひっそりとあります。（事務局が入っているビルが細い道のさらに奥まった場所にあるので，文字通り，ひっそりとしています。）周辺は，同じ新宿西口でも高層ビル群の立ち並ぶエリアとは違い，小さな雑居ビルの多い所で，有名ラーメン店が軒を並べていたり，少し足を延ばせば，大久保コリアンタウンで韓国料理が食べられたりと，割と飲食店の多い地域です。私は個人的には「讃岐うどん」のセルフサービスのお店が気に入っているのですが，このお店は，知る人ぞ知る（？）有名店で，セルフサービスということもあり，お値段はお手頃でとてもおいしいです。事務局にいらした方は是非お帰りにでも立ち寄ってみてください。・・・話がそれましたが，事務局には，常勤，非常勤合わせて３名が勤務しており，入会受付・住所変更などの会員管理や，行事等の参加受付，講演会の論文受付等の業務をこなしながら，理事会・各委員会の運営サポートをしております。現在は，12月開催の国際会議の準備に追われつつ，来年１月開催のガスタービンセミナーの準備も始めております。普段はなかなかお目にかかるチャンスはございませんが，このような行事で皆様とお話できることを楽しみにしております。　（中村）

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

編集後記

今回は特集テーマとして，原動機・発電設備等で広く採用されている遠隔監視技術を取り上げました。遠隔監視については，従来，運転保守，制御技術等のテーマの中でたびたび触れられてきたものの，まとまった形では紹介されたことはありませんでした。学会誌の独立したテーマとして相応しいか，画一的になりはしないか，特集に耐え得るかどうか等，不安もありましたが，多くの関係諸氏よりご賛同を頂戴しましたので，今回，敢えて特集を組ませていただいた次第です。

最近の傾向として，ガスタービン，ガスエンジン等の分散型コージェネ設備は，産業市場より民生市場に多く設置されてきましたが，民生市場は産業市場と異なり，運転・保守管理技術を十分習得した専門技術者の常時配備が困難な市場です。このような中で，経済性・採算性を確保しつつ，設備の安全性および高稼働率を維持するツールのひとつとして遠隔監視技術が大きな役割を担ってきていることは見逃せない事実と思います。また，大型産業用，事業用発電設備および風力発電設備等においても広く採用され，運転管理，異常診断および予防保全等に大きな威力を発揮しております。

編集を終え，振り返ってみますと，各社様がそれぞれ特長を生かして執筆していただいており，当初の不安を払拭することができました。全体システムの紹介とは別に，発展の歴史，異常診断，予防保全の具体事例の紹介等々，バラエティーに富んだ内容になっており，大変おもしろく読んで頂けるのではないかと考えております。

遠隔監視技術は，IT技術の高度化と相まって今後もさらに発展を遂げ，原動機・発電設備のみならずあらゆる設備の監視技術として普及し，将来のユビキタス社会実現に向けその一翼を担うことができるよう期待しております。

今回，特集テーマについては，ガスタービンメーカ殿５社，ガスエンジンメーカ殿１社，風車メーカ殿１社および運用・ユーザ系会社殿２社に執筆をお願いし，研究だよりおよび喫茶室は，それぞれ研究機関と大学の先生方に執筆していただきました。

執筆者の方々には，ご多忙中にもかかわらず，急な原稿依頼を快くお引き受けいただきましたこと，編集委員一同，心より厚く御礼申し上げます。

本号の企画編集は，幡宮重雄委員（日立製作所），辻田星歩委員（法政大学），中村修三委員（荏原製作所）および小林利充（荏原製作所）が担当させていただきました。

(小林利充)

（表紙写真）

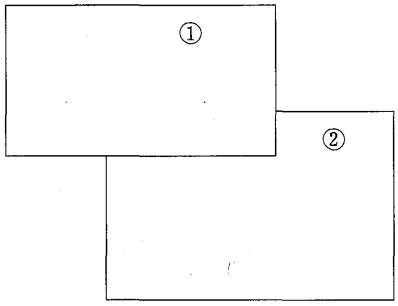
表紙図表構成

①論説・解説

本文409頁　図６　　リアルタイムモニタリング画面

②論説・解説

本文419頁　図１　　遠隔監視センター



☘事務局だより✉☘

みなさま，はじめまして。GTSJ事務局　中村と申します。前回９月号から，この事務局だよりのコーナーは，事務局３名のローテーションとなりました。どうぞよろしくお願い申し上げます。

会員のみなさまとは，お電話やE-MAIL，あるいは行事のご参加などでお会いする機会もございますが，多分，多くの方が事務局についてはあまりご存知ないかと思いますので，今回は，GTSJ事務局について少しご紹介させていただきます。

GTSJ事務局は，新宿西口から徒歩10分の所にひっそりとあります。（事務局が入っているビルが細い道のさらに奥まった場所にあるので，文字通り，ひっそりとしています。）周辺は，同じ新宿西口でも高層ビル群の立ち並ぶエリアとは違い，小さな雑居ビルの多い所で，有名ラーメン店が軒を並べていたり，少し足を延ばせば，大久保コリアンタウンで韓国料理が食べられたりと，割と飲食店の多い地域です。私は個人的には「讃岐うどん」のセルフサービスのお店が気に入っているのですが，このお店は，知る人ぞ知る（？）有名店で，セルフサービスということもあり，お値段はお手頃でとてもおいしいです。事務局にいらした方は是非お帰りにでも立ち寄ってみてください。・・・話がそれましたが，事務局には，常勤，非常勤合わせて３名が勤務しており，入会受付・住所変更などの会員管理や，行事等の参加受付，講演会の論文受付等の業務をこなしながら，理事会・各委員会の運営サポートをしております。現在は，12月開催の国際会議の準備に追われつつ，来年１月開催のガスタービンセミナーの準備も始めております。普段はなかなかお目にかかるチャンスはございませんが，このような行事で皆様とお話できることを楽しみにしております。　（中村）

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

編集後記

今回は特集テーマとして，原動機・発電設備等で広く採用されている遠隔監視技術を取り上げました。遠隔監視については，従来，運転保守，制御技術等のテーマの中でたびたび触れられてきたものの，まとまった形では紹介されたことはありませんでした。学会誌の独立したテーマとして相応しいか，画一的になりはしないか，特集に耐え得るかどうか等，不安もありましたが，多くの関係諸氏よりご賛同を頂戴しましたので，今回，敢えて特集を組ませていただいた次第です。

最近の傾向として，ガスタービン，ガスエンジン等の分散型コージェネ設備は，産業市場より民生市場に多く設置されてきましたが，民生市場は産業市場と異なり，運転・保守管理技術を十分習得した専門技術者の常時配備が困難な市場です。このような中で，経済性・採算性を確保しつつ，設備の安全性および高稼働率を維持するツールのひとつとして遠隔監視技術が大きな役割を担ってきていることは見逃せない事実と思います。また，大型産業用，事業用発電設備および風力発電設備等においても広く採用され，運転管理，異常診断および予防保全等に大きな威力を発揮しております。

編集を終え，振り返ってみますと，各社様がそれぞれ特長を生かして執筆していただいており，当初の不安を払拭することができました。全体システムの紹介とは別に，発展の歴史，異常診断，予防保全の具体事例の紹介等々，バラエティーに富んだ内容になっており，大変おもしろく読んで頂けるのではないかと考えております。

遠隔監視技術は，IT技術の高度化と相まって今後もさらに発展を遂げ，原動機・発電設備のみならずあらゆる設備の監視技術として普及し，将来のユビキタス社会実現に向けその一翼を担うことができるよう期待しております。

今回，特集テーマについては，ガスタービンメーカ殿５社，ガスエンジンメーカ殿１社，風車メーカ殿１社および運用・ユーザ系会社殿２社に執筆をお願いし，研究だよりおよび喫茶室は，それぞれ研究機関と大学の先生方に執筆していただきました。

執筆者の方々には，ご多忙中にもかかわらず，急な原稿依頼を快くお引き受けいただきましたこと，編集委員一同，心より厚く御礼申し上げます。

本号の企画編集は，幡宮重雄委員（日立製作所），辻田星歩委員（法政大学），中村修三委員（荏原製作所）および小林利充（荏原製作所）が担当させていただきました。

(小林利充)

（表紙写真）

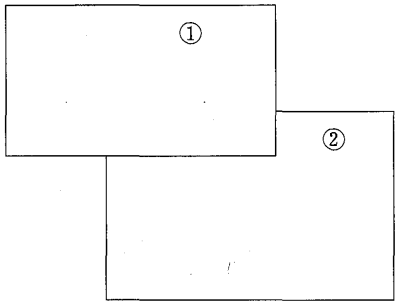
表紙図表構成

①論説・解説

本文409頁　図６　　リアルタイムモニタリング画面

②論説・解説

本文419頁　図１　　遠隔監視センター



☘事務局だより✉☘

みなさま，はじめまして。GTSJ事務局　中村と申します。前回９月号から，この事務局だよりのコーナーは，事務局３名のローテーションとなりました。どうぞよろしくお願い申し上げます。

会員のみなさまとは，お電話やE-MAIL，あるいは行事のご参加などでお会いする機会もございますが，多分，多くの方が事務局についてはあまりご存知ないかと思いますので，今回は，GTSJ事務局について少しご紹介させていただきます。

GTSJ事務局は，新宿西口から徒歩10分の所にひっそりとあります。（事務局が入っているビルが細い道のさらに奥まった場所にあるので，文字通り，ひっそりとしています。）周辺は，同じ新宿西口でも高層ビル群の立ち並ぶエリアとは違い，小さな雑居ビルの多い所で，有名ラーメン店が軒を並べていたり，少し足を延ばせば，大久保コリアンタウンで韓国料理が食べられたりと，割と飲食店の多い地域です。私は個人的には「讃岐うどん」のセルフサービスのお店が気に入っているのですが，このお店は，知る人ぞ知る（？）有名店で，セルフサービスということもあり，お値段はお手頃でとてもおいしいです。事務局にいらした方は是非お帰りにでも立ち寄ってみてください。・・・話がそれましたが，事務局には，常勤，非常勤合わせて３名が勤務しており，入会受付・住所変更などの会員管理や，行事等の参加受付，講演会の論文受付等の業務をこなしながら，理事会・各委員会の運営サポートをしております。現在は，12月開催の国際会議の準備に追われつつ，来年１月開催のガスタービンセミナーの準備も始めております。普段はなかなかお目にかかるチャンスはございませんが，このような行事で皆様とお話できることを楽しみにしております。　（中村）

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

学会誌編集規定

2003.8.29改訂

1．本学会誌の原稿はつぎの3区分とする。

A．投稿原稿会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。

B．依頼原稿本学会編集委員会がテーマを定めて特定の人に執筆を依頼する原稿。執筆者は会員外でもよい。

C．学会原稿学会の運営・活動に関する記事（報告，会告等）および学会による調査・研究活動の成果等の報告。

2．依頼原稿および投稿原稿は，ガスタービン及び過給機に関連のある論説・解説，講義，技術論文，速報（研究速報，技術速報），寄書（研究だより，見聞記，新製品・新設備紹介），随筆，書評，情報欄記事，その他とする。刷り上がりページ数は原則として，1編につき次のページ数以内とする。

論説・解説，講義	6ページ
技術論文	6ページ
速報	4ページ
寄書，随筆	2ページ
書評	1ページ
情報欄記事	1/2ページ

3．執筆者は編集委員会が定める原稿執筆要領に従って原稿を執筆し，編集委員会事務局まで原稿を送付する。事務局の所在は付記1に示す。

4．会員は本学会誌に投稿することができる。投稿された原稿は，編集委員会が定める方法により審査され，編集委員会の承認を得て，学会誌に掲載される。技術論文の投稿に関しては，別に技術論文投稿規定を定める。

5．依頼原稿および学会原稿についても，編集委員会は委員会の定める方法により原稿の査読を行う。編集委員会は，査読の結果に基づいて執筆者に原稿の修正を依頼する場合がある。

6．依頼原稿には定められた原稿料を支払う。投稿原稿および学会原稿には原則として原稿料は支払わないものとする。原稿料の単価は理事会の承認を受けて定める。

7．学会誌に掲載された著作物の著作権は原則として学会に帰属する。

但し，著作者自身または著作者が帰属する法人等が，自ら書いた記事・論文等の全文または一部を転載，翻訳・翻案などの形で利用する場合，本会は原則としてこれを妨げない。ただし，著作者本人であっても学会誌を複製の形で全文を他の著作物に利用する場合は，文書で本会に許諾を求めなければならない。

8．著作者は，学会または学会からの使用許諾を受けた者に対し著作者人格権を行使しない。

9．本会発行の著作物に掲載された記事，論文などの著作物について，著作権侵害者，名誉毀損，またはその他の紛争が生じた場合，当該著作者の著作者自身又は著作者の帰属する法人等を当事者とする。

付記1．原稿送付先および原稿執筆要領請求先
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel．03-5733-5157　Fax．03-5733-5167
ニッセイエブロ㈱ 制作部 編集制作課
E-mail：eblo_h3@eblo.co.jp
学会誌担当　佐藤孝憲

技術論文投稿規定

2005.12.8改訂

1．本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。

1）主たる著者は本学会会員であること。

2）投稿原稿は著者の原著で，ガスタービンおよび過給機の技術に関連するものであること。

3）投稿原稿は，一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし，要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。

2．使用言語は原則として日本語とする。ただし，第一著者が日本語による論文執筆が困難な場合，および本学会主催の国際会議で発表した論文は英語による投稿を認める。なお，原稿執筆は日本語の場合に準拠するものとする。

3．投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてA4版刷り上がり6ページ以内とする。ただし，1ページにつき16,000円の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。

4．図・写真等について，著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。

5．投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し，正原稿1部副原稿（コピー）2部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。

6．原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。

7．投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し，編集委員会で採否を決定する。

8．論文内容についての責任は，すべて著者が負う。

9．本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては，学会誌編集規定7．および8．を適用する。

日本ガスタービン学会誌
Vol.35　No.6　2007.11

発行日　2007年9月20日
発行所　社団法人日本ガスタービン学会
編集者　山本　誠
発行者　吉識晴夫
〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13
第3工新ビル402
Tel．03-3365-0095　Fax．03-3365-0387
郵便振替 00170-9-179578
銀行振込 みずほ銀行 新宿西口支店
㈱1703707
印刷所　ニッセイエブロ㈱
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel．03-5733-5157　Fax．03-5733-5168

©2007，㈳日本ガスタービン学会

複写される方へ

本会は下記協会に複写に関する権利委託をしていますので，本誌に掲載された著作物を複写したい方は，同協会より許諾を受けて複写して下さい。但し㈳日本複写権センター（同協会より権利を再委託）と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません。（社外頒布用の複写は許諾が必要です。）

権利委託先：（中法）学術著作権協会
〒107-0052　東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル
電話(03)3475-5618　FAX(03)3475-5619
E-mail：info@jaacc.jp

なお，著作物の転載・翻訳のような，複写以外の許諾は，学術著作権協会では扱っていませんので，直接日本ガスタービン学会へご連絡下さい。

また，アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は，次の団体に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA01923 USA
Phone 1-978-750-8400　FAX 1-978-646-8600

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

学会誌編集規定

2003.8.29改訂

1．本学会誌の原稿はつぎの3区分とする。

A．投稿原稿会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。

B．依頼原稿本学会編集委員会がテーマを定めて特定の人に執筆を依頼する原稿。執筆者は会員外でもよい。

C．学会原稿学会の運営・活動に関する記事（報告，会告等）および学会による調査・研究活動の成果等の報告。

2．依頼原稿および投稿原稿は，ガスタービン及び過給機に関連のある論説・解説，講義，技術論文，速報（研究速報，技術速報），寄書（研究だより，見聞記，新製品・新設備紹介），随筆，書評，情報欄記事，その他とする。刷り上がりページ数は原則として，1編につき次のページ数以内とする。

論説・解説，講義	6ページ
技術論文	6ページ
速報	4ページ
寄書，随筆	2ページ
書評	1ページ
情報欄記事	1/2ページ

3．執筆者は編集委員会が定める原稿執筆要領に従って原稿を執筆し，編集委員会事務局まで原稿を送付する。事務局の所在は付記1に示す。

4．会員は本学会誌に投稿することができる。投稿された原稿は，編集委員会が定める方法により審査され，編集委員会の承認を得て，学会誌に掲載される。技術論文の投稿に関しては，別に技術論文投稿規定を定める。

5．依頼原稿および学会原稿についても，編集委員会は委員会の定める方法により原稿の査読を行う。編集委員会は，査読の結果に基づいて執筆者に原稿の修正を依頼する場合がある。

6．依頼原稿には定められた原稿料を支払う。投稿原稿および学会原稿には原則として原稿料は支払わないものとする。原稿料の単価は理事会の承認を受けて定める。

7．学会誌に掲載された著作物の著作権は原則として学会に帰属する。

但し，著作者自身または著作者が帰属する法人等が，自ら書いた記事・論文等の全文または一部を転載，翻訳・翻案などの形で利用する場合，本会は原則としてこれを妨げない。ただし，著作者本人であっても学会誌を複製の形で全文を他の著作物に利用する場合は，文書で本会に許諾を求めなければならない。

8．著作者は，学会または学会からの使用許諾を受けた者に対し著作者人格権を行使しない。

9．本会発行の著作物に掲載された記事，論文などの著作物について，著作権侵害者，名誉毀損，またはその他の紛争が生じた場合，当該著作者の著作者自身又は著作者の帰属する法人等を当事者とする。

付記1．原稿送付先および原稿執筆要領請求先
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel．03-5733-5157　Fax．03-5733-5167
ニッセイエブロ㈱ 制作部 編集制作課
E-mail：eblo_h3@eblo.co.jp
学会誌担当　佐藤孝憲

技術論文投稿規定

2005.12.8改訂

1．本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。

1）主たる著者は本学会会員であること。

2）投稿原稿は著者の原著で，ガスタービンおよび過給機の技術に関連するものであること。

3）投稿原稿は，一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし，要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。

2．使用言語は原則として日本語とする。ただし，第一著者が日本語による論文執筆が困難な場合，および本学会主催の国際会議で発表した論文は英語による投稿を認める。なお，原稿執筆は日本語の場合に準拠するものとする。

3．投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてA4版刷り上がり6ページ以内とする。ただし，1ページにつき16,000円の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。

4．図・写真等について，著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。

5．投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し，正原稿1部副原稿（コピー）2部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。

6．原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。

7．投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し，編集委員会で採否を決定する。

8．論文内容についての責任は，すべて著者が負う。

9．本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては，学会誌編集規定7．および8．を適用する。

日本ガスタービン学会誌
Vol.35　No.6　2007.11

発行日　2007年9月20日
発行所　社団法人日本ガスタービン学会
編集者　山本　誠
発行者　吉識晴夫
〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13
第3工新ビル402
Tel．03-3365-0095　Fax．03-3365-0387
郵便振替 00170-9-179578
銀行振込 みずほ銀行 新宿西口支店
㈱1703707
印刷所　ニッセイエブロ㈱
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel．03-5733-5157　Fax．03-5733-5168

©2007，㈳日本ガスタービン学会

複写される方へ

本会は下記協会に複写に関する権利委託をしていますので，本誌に掲載された著作物を複写したい方は，同協会より許諾を受けて複写して下さい。但し㈳日本複写権センター（同協会より権利を再委託）と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません。（社外頒布用の複写は許諾が必要です。）

権利委託先：（中法）学術著作権協会
〒107-0052　東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル
電話(03)3475-5618　FAX(03)3475-5619
E-mail：info@jaacc.jp

なお，著作物の転載・翻訳のような，複写以外の許諾は，学術著作権協会では扱っていませんので，直接日本ガスタービン学会へご連絡下さい。

また，アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は，次の団体に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA01923 USA
Phone 1-978-750-8400　FAX 1-978-646-8600

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

学会誌編集規定

2003.8.29改訂

1．本学会誌の原稿はつぎの3区分とする。

A．投稿原稿会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。

B．依頼原稿本学会編集委員会がテーマを定めて特定の人に執筆を依頼する原稿。執筆者は会員外でもよい。

C．学会原稿学会の運営・活動に関する記事（報告，会告等）および学会による調査・研究活動の成果等の報告。

2．依頼原稿および投稿原稿は，ガスタービン及び過給機に関連のある論説・解説，講義，技術論文，速報（研究速報，技術速報），寄書（研究だより，見聞記，新製品・新設備紹介），随筆，書評，情報欄記事，その他とする。刷り上がりページ数は原則として，1編につき次のページ数以内とする。

論説・解説，講義	6ページ
技術論文	6ページ
速報	4ページ
寄書，随筆	2ページ
書評	1ページ
情報欄記事	1/2ページ

3．執筆者は編集委員会が定める原稿執筆要領に従って原稿を執筆し，編集委員会事務局まで原稿を送付する。事務局の所在は付記1に示す。

4．会員は本学会誌に投稿することができる。投稿された原稿は，編集委員会が定める方法により審査され，編集委員会の承認を得て，学会誌に掲載される。技術論文の投稿に関しては，別に技術論文投稿規定を定める。

5．依頼原稿および学会原稿についても，編集委員会は委員会の定める方法により原稿の査読を行う。編集委員会は，査読の結果に基づいて執筆者に原稿の修正を依頼する場合がある。

6．依頼原稿には定められた原稿料を支払う。投稿原稿および学会原稿には原則として原稿料は支払わないものとする。原稿料の単価は理事会の承認を受けて定める。

7．学会誌に掲載された著作物の著作権は原則として学会に帰属する。

但し，著作者自身または著作者が帰属する法人等が，自ら書いた記事・論文等の全文または一部を転載，翻訳・翻案などの形で利用する場合，本会は原則としてこれを妨げない。ただし，著作者本人であっても学会誌を複製の形で全文を他の著作物に利用する場合は，文書で本会に許諾を求めなければならない。

8．著作者は，学会または学会からの使用許諾を受けた者に対し著作者人格権を行使しない。

9．本会発行の著作物に掲載された記事，論文などの著作物について，著作権侵害者，名誉毀損，またはその他の紛争が生じた場合，当該著作者の著作者自身又は著作者の帰属する法人等を当事者とする。

付記1．原稿送付先および原稿執筆要領請求先
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel．03-5733-5157　Fax．03-5733-5167
ニッセイエブロ㈱ 制作部 編集制作課
E-mail：eblo_h3@eblo.co.jp
学会誌担当　佐藤孝憲

技術論文投稿規定

2005.12.8改訂

1．本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。

1）主たる著者は本学会会員であること。

2）投稿原稿は著者の原著で，ガスタービンおよび過給機の技術に関連するものであること。

3）投稿原稿は，一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし，要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。

2．使用言語は原則として日本語とする。ただし，第一著者が日本語による論文執筆が困難な場合，および本学会主催の国際会議で発表した論文は英語による投稿を認める。なお，原稿執筆は日本語の場合に準拠するものとする。

3．投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてA4版刷り上がり6ページ以内とする。ただし，1ページにつき16,000円の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。

4．図・写真等について，著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。

5．投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し，正原稿1部副原稿（コピー）2部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。

6．原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。

7．投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し，編集委員会で採否を決定する。

8．論文内容についての責任は，すべて著者が負う。

9．本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては，学会誌編集規定7．および8．を適用する。

日本ガスタービン学会誌
Vol.35　No.6　2007.11

発行日　2007年9月20日
発行所　社団法人日本ガスタービン学会
編集者　山本　誠
発行者　吉識晴夫
〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13
第3工新ビル402
Tel．03-3365-0095　Fax．03-3365-0387
郵便振替 00170-9-179578
銀行振込 みずほ銀行 新宿西口支店
㈱1703707
印刷所　ニッセイエブロ㈱
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel．03-5733-5157　Fax．03-5733-5168

©2007，㈳日本ガスタービン学会

複写される方へ

本会は下記協会に複写に関する権利委託をしていますので，本誌に掲載された著作物を複写したい方は，同協会より許諾を受けて複写して下さい。但し㈳日本複写権センター（同協会より権利を再委託）と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません。（社外頒布用の複写は許諾が必要です。）

権利委託先：（中法）学術著作権協会
〒107-0052　東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル
電話(03)3475-5618　FAX(03)3475-5619
E-mail：info@jaacc.jp

なお，著作物の転載・翻訳のような，複写以外の許諾は，学術著作権協会では扱っていませんので，直接日本ガスタービン学会へご連絡下さい。

また，アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は，次の団体に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA01923 USA
Phone 1-978-750-8400　FAX 1-978-646-8600

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

学会誌編集規定

2003.8.29改訂

1．本学会誌の原稿はつぎの3区分とする。

A．投稿原稿会員から自由に随時投稿される原稿。執筆者は会員に限る。

B．依頼原稿本学会編集委員会がテーマを定めて特定の人に執筆を依頼する原稿。執筆者は会員外でもよい。

C．学会原稿学会の運営・活動に関する記事（報告，会告等）および学会による調査・研究活動の成果等の報告。

2．依頼原稿および投稿原稿は，ガスタービン及び過給機に関連のある論説・解説，講義，技術論文，速報（研究速報，技術速報），寄書（研究だより，見聞記，新製品・新設備紹介），随筆，書評，情報欄記事，その他とする。刷り上がりページ数は原則として，1編につき次のページ数以内とする。

論説・解説，講義	6ページ
技術論文	6ページ
速報	4ページ
寄書，随筆	2ページ
書評	1ページ
情報欄記事	1/2ページ

3．執筆者は編集委員会が定める原稿執筆要領に従って原稿を執筆し，編集委員会事務局まで原稿を送付する。事務局の所在は付記1に示す。

4．会員は本学会誌に投稿することができる。投稿された原稿は，編集委員会が定める方法により審査され，編集委員会の承認を得て，学会誌に掲載される。技術論文の投稿に関しては，別に技術論文投稿規定を定める。

5．依頼原稿および学会原稿についても，編集委員会は委員会の定める方法により原稿の査読を行う。編集委員会は，査読の結果に基づいて執筆者に原稿の修正を依頼する場合がある。

6．依頼原稿には定められた原稿料を支払う。投稿原稿および学会原稿には原則として原稿料は支払わないものとする。原稿料の単価は理事会の承認を受けて定める。

7．学会誌に掲載された著作物の著作権は原則として学会に帰属する。

但し，著作者自身または著作者が帰属する法人等が，自ら書いた記事・論文等の全文または一部を転載，翻訳・翻案などの形で利用する場合，本会は原則としてこれを妨げない。ただし，著作者本人であっても学会誌を複製の形で全文を他の著作物に利用する場合は，文書で本会に許諾を求めなければならない。

8．著作者は，学会または学会からの使用許諾を受けた者に対し著作者人格権を行使しない。

9．本会発行の著作物に掲載された記事，論文などの著作物について，著作権侵害者，名誉毀損，またはその他の紛争が生じた場合，当該著作者の著作者自身又は著作者の帰属する法人等を当事者とする。

付記1．原稿送付先および原稿執筆要領請求先
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel．03-5733-5157　Fax．03-5733-5167
ニッセイエブロ㈱ 制作部 編集制作課
E-mail：eblo_h3@eblo.co.jp
学会誌担当　佐藤孝憲

技術論文投稿規定

2005.12.8改訂

1．本学会誌に技術論文として投稿する原稿は次の条件を満たすものであること。

1）主たる著者は本学会会員であること。

2）投稿原稿は著者の原著で，ガスタービンおよび過給機の技術に関連するものであること。

3）投稿原稿は，一般に公表されている刊行物に未投稿のものであること。ただし，要旨または抄録として発表されたものは差し支えない。

2．使用言語は原則として日本語とする。ただし，第一著者が日本語による論文執筆が困難な場合，および本学会主催の国際会議で発表した論文は英語による投稿を認める。なお，原稿執筆は日本語の場合に準拠するものとする。

3．投稿原稿の規定ページ数は原則として図表を含めてA4版刷り上がり6ページ以内とする。ただし，1ページにつき16,000円の著者負担で4ページ以内の増ページをすることができる。

4．図・写真等について，著者が実費差額を負担する場合にはカラー印刷とすることができる。

5．投稿者は原稿執筆要領に従い執筆し，正原稿1部副原稿（コピー）2部を学会編集委員会に提出する。原稿には英文アブストラクトおよび所定の論文表紙を添付する。

6．原稿受付日は原稿が事務局で受理された日とする。

7．投稿原稿は技術論文校閲基準に基づいて校閲し，編集委員会で採否を決定する。

8．論文内容についての責任は，すべて著者が負う。

9．本学会誌に掲載される技術論文の著作権に関しては，学会誌編集規定7．および8．を適用する。

日本ガスタービン学会誌
Vol.35　No.6　2007.11

発行日　2007年9月20日
発行所　社団法人日本ガスタービン学会
編集者　山本　誠
発行者　吉識晴夫
〒160-0023 東京都新宿区西新宿7-5-13
第3工新ビル402
Tel．03-3365-0095　Fax．03-3365-0387
郵便振替 00170-9-179578
銀行振込 みずほ銀行 新宿西口支店
㈱1703707
印刷所　ニッセイエブロ㈱
〒105-0004 東京都港区新橋5-20-4
Tel．03-5733-5157　Fax．03-5733-5168

©2007，㈳日本ガスタービン学会

複写される方へ

本会は下記協会に複写に関する権利委託をしていますので，本誌に掲載された著作物を複写したい方は，同協会より許諾を受けて複写して下さい。但し㈳日本複写権センター（同協会より権利を再委託）と包括複写許諾契約を締結されている企業の社員による社内利用目的の複写はその必要はありません。（社外頒布用の複写は許諾が必要です。）

権利委託先：（中法）学術著作権協会
〒107-0052　東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル
電話(03)3475-5618　FAX(03)3475-5619
E-mail：info@jaacc.jp

なお，著作物の転載・翻訳のような，複写以外の許諾は，学術著作権協会では扱っていませんので，直接日本ガスタービン学会へご連絡下さい。

また，アメリカ合衆国において本書を複写したい場合は，次の団体に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA01923 USA
Phone 1-978-750-8400　FAX 1-978-646-8600

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

ＧＴＳＪガスタービンセミナー（第３６回）のお知らせ

「ガスタービンおよび航空エンジンの最新技術動向」をテーマに、第３６回ガスタービンセミナーを下記の通り開催いたしますので、奮ってご参加ください。

１．日　時　：　平成２０年１月２４日（木）　９：３０～１７：２０（受付開始９：００）
　　１月２５日（金）　９：３０～１７：００

２．場　所　：　東京ガス（株）本社２階大会議室（地図参照）
　　港区海岸１－５－２０　Tel.０３－３４３３－２１１１（ＪＲ浜松町駅徒歩３分）

３．主　催　：　(社) 日本ガスタービン学会

４．協　賛　：　エネルギー・資源学会，火力原子力発電技術協会，計測自動制御学会，高温学会，自動車技術会，ターボ機械協会，電気学会，日本エネルギー学会，日本ガス協会，日本機械学会，日本金属学会，日本コージェネレーションセンター，日本航空宇宙学会，日本航空技術協会，日本材料学会，日本セラミックス協会，日本鉄鋼協会，日本伝熱学会，日本内燃機関連合会，日本内燃力発電設備協会，日本燃焼学会，日本マリンエンジニアリング学会，日本非破壊検査協会，日本品質管理学会，腐食防食協会，溶接学会

５．セミナープログラム　　テーマ：「ガスタービンおよび航空エンジンの最新技術動向」

第１日目〔１月２４日（木）〕　　※講演時間には質疑応答の時間を含む。

「セッションⅠ：最新技術動向（１）」			
１	燃料多様化対応燃焼技術	９：３０－１０：３０	(株) 日立製作所　笹尾俊文氏
２	燃料ガス発熱量変動及び多種燃料に対応する燃焼技術	１０：３０－１１：３０	三菱重工業(株)　田中克則氏
３	航空機用ガスタービンの燃焼技術	１３：００－１４：００	(株) ＩＨＩ　細井　潤氏
４	DLE 燃焼器の開発動向	１４：００－１５：００	川崎重工業(株)　緒方正裕氏
「セッションⅡ：最新ガスタービンの事例」			
５	Ｈシステムについて	１５：２０－１６：２０	(株) 東芝　鳥飼高行氏
６	飛行実証用アフターバーナ付ターボファンエンジン（ＸＦ５）の概要	１６：２０－１７：２０	防衛省　檀原伸補氏

第２日目〔１月２５日（金）〕

「セッションⅢ：最新技術動向（２）」			
７	高バイパス比ファンの空力設計技術	９：３０－１０：３０	(株) ＩＨＩ　室岡　武氏
８	1700℃級高負荷高性能ガスタービンの空力設計技術	１０：３０－１１：３０	三菱重工業(株)　伊藤栄作氏
９	ガスタービンにおける冷却技術の最新動向	１３：００－１４：００	大阪大学　武石賢一郎氏
１０	1700℃級ガスタービン用TBCの開発状況	１４：００－１５：００	三菱重工業(株)　鳥越泰治氏
「特別講演」			
１１	エネルギー資源の動向と火力発電の将来展望	１５：２０－１７：００	(財) 電力中央研究所　佐藤幹夫氏

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

６．　セミナーの内容

（１）「燃料多様化対応燃焼技術」

（(株)日立製作所　　笹尾　俊文 氏）

産業用ガスタービンにおいては、環境負荷への低減対応に加えて、エネルギーの有効利用の観点からオフガス、コークスガス、また随伴油、残渣油等の多種多様な燃料の適用が望まれている。天然ガス及び軽油等の良質な燃料に比べ、これら低質燃料の適用においては、燃焼性能や高温部品の信頼性及び燃料供給系統に関して技術課題が多い。本講演では、産業用ガスタービンでの各種燃料適用時における課題とその対応技術に関して概説する。

（２）「燃料ガス発熱量変動及び多種燃料に対応する燃焼技術」

（三菱重工業(株)　　田中　克則 氏）

最近、海外及び国内のガスタービンコンバインドユニットにて幅広い天然ガスカロリーに対応できる高温低NOｘ燃焼器が要求されている。更に、エネルギーセキュリティーの観点から天然ガスに代わる代替燃料を柔軟に対応できる燃焼器が必要な時代となってきた。種々の燃料に対応できるガスタービン燃焼器のラインアップ及び天然ガスカロリーの変化に対応できる高温低NOｘ燃焼器について紹介するとともに、燃焼振動の制御技術について紹介する。

（３）「航空機用ガスタービンの燃焼技術」

（(株)ＩＨＩ　　細井　潤 氏）

環境問題への関心の高まりから、航空機用ガスタービンでも、国際民間航空機関（ＩＣＡＯ）の排ガス規制のうち、ＮＯｘの排出規制が強化されてきている。こうした背景の中、エンジンメーカー各社もＮＯｘ排出規制強化へ対応するため、ＮＯｘ低減を目指した燃焼器の開発を行っている。ここでは、最近のＮＯｘ規制動向を紹介するとともに、代表的なＮＯｘ低減方法、航空機用低ＮＯｘ燃焼器開発動向などを紹介する。

（４）「DLE燃焼器の開発動向」

（川崎重工業(株)　　緒方　正裕 氏）

ガスタービン燃焼器として、その環境性・保守性の高さから希薄予混合燃焼方式を採用した、いわゆるDLE燃焼器は、すでに一般的なものになっているが、現在も各社において更なる低ＮＯｘ化や燃料の多様化対応などを目指した改良が継続されているほか、新たな概念で飛躍的な低ＮＯｘ化を狙った開発もなされている。本講演では近年の関係各社の取り組み、並びに川崎重工業での開発状況等を紹介する。

（５）「Ｈシステムについて」

（(株)東芝　　鳥飼　高行 氏）

Ｈシステムの初号機である英国バグランベイは、２万５千時間の運転時間を達成。また、米国インランドエンパイア、東京電力殿富津４号が建設中であり、いずれも２００８年に運転開始予定となっている。地球温暖化問題が国際的な課題となっている今、Ｈシステムは、CO2排出量を最大限削減する次期火力発電所として期待されるものである。Ｈシステムの最新状況につき紹介する。

（６）「飛行実証用アフターバーナ付ターボファンエンジン（ＸＦ５）の概要」

（防衛省　　檀原　伸補 氏）

防衛省技術研究本部（技本）が試作したＸＦ５は、超音速機の推進装置として必要不可欠なアフターバーナ付ターボファンエンジンの国産技術を獲得することを目的としており、推力約５トン、推力重量比が８レベルの小型高性能なエンジンである。技本では、ＸＦ５が試験用航空機に搭載可能であることを確認するために各種試験を精力的に実施し、現在はその最終段階である。本セミナーにおいては、ＸＦ５の概要ならびにこれまで実施してきた試験について紹介する。

（７）「高バイパス比ファンの空力設計技術」

（(株)ＩＨＩ　　室岡　武 氏）

民間航空機用エンジンでは排気ジェット速度を低下させ、燃費とジェット騒音を大幅に改善できる高バイパス比ファンが広く採用されている。ファンはエンジン推力の大半を発生させることから高効率が求められ、高流量化によるファン径低減、軽量化が必須である。一方で高バイパス比ファンは離着陸時に鳥を吸い込んでファンを損傷する危険性を有しており、ファン動翼の耐性を高める必要がある。本発表では高バイパス比ファンの空力ー構造インテグレーション設計の最新技術を紹介する。

（８）「1700℃級高負荷高性能ガスタービンの空力設計技術」

（三菱重工業(株)　　伊藤　栄作 氏）

現行コンバインドサイクルプラント向けガスタービンを更に高効率化し、地球温暖化防止に貢献するために、熱効率62%以上(LHV)を可能とする1700℃級ガスタービンの要素技術の開発が国家プロジェクトとして実施されている。1700℃級の高負荷条件でタービン高効率を可能とする空力設計技術について、現状までの開発状況と成果について述べる。

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

（9）「ガスタービンにおける冷却技術の最新動向」

（大阪大学　　武石　賢一郎 氏）

大型コンバインド発電プラントの主機としての産業用ガスタービン、また最新の大型航空用ジェットエンジンでは、地球環境問題に対処して、開発ではガスタービンの熱効率および信頼性の向上に最大限の努力がなされてきた。タービン入口温度の上昇は、熱効率の改善および比出力の増大に対する最も効果的な手段の一つである。現在、1500℃級の産業用ガスタービンが、また1600℃級の航空用ジェットエンジンが実用化されるに至っていて、さらに高温化される傾向にある。この高温化を可能にしている技術として冷却技術があるが、本講演では、ガスタービンに用いられる最新の冷却技術を紹介するとともに、その技術動向について展望する。

（１０）「1700℃級ガスタービン用TBCの開発状況」

（三菱重工業(株)　　鳥越　泰治 氏）

遮熱コーティング(TBC)は、近年の高温ガスタービンでは必須である。現在1700℃級ガスタービンの要素技術開発が進められているが、TBCの作動環境は従来よりも厳しくなる。そこで、従来よりも高温安定性に優れ低熱伝導なトップコート材料の開発及び耐酸化性に優れるボンドコート材料の開発を進めている。今回のセミナーでは産業用ガスタービンのTBCの研究開発動向を概説すると共に、1700℃級ガスタービン用TBCの開発状況を述べる。

（１１）特別講演「エネルギー資源の動向と火力発電の将来展望」

（(財)電力中央研究所　　佐藤　幹夫 氏）

原油価格の高騰や経済成長が著しい中国をはじめとするアジア地域でのエネルギー需要の急増など、エネルギー資源を取り巻く国際情勢はますます不透明感を増している。また、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第4次報告書が、2007年2月～5月にかけて発表されるとともに、2007年6月にドイツで開催された主要国首脳会議（ハイリゲンダム・サミット）では地球環境問題が主要な議題に取り上げられるなど、温暖化をめぐる国際的な議論が高まっている。このような状況に鑑み、本講演では最近のエネルギー資源を取り巻く動向と、エネルギーセキュリティの確保と地球環境化防止に向けた火力発電技術の将来展望を概観する。

７．　参加要領

１）参　加　費　：

◆主催および協賛団体会員	２日間　２５，０００円	１日のみ　１８，０００円
◆学　生　会　員	５，０００円	
◆会　　員　　外	２日間　３５，０００円	１日のみ　２５，０００円
◆会員外（学生）	８，０００円	
◆資　料　の　み	１冊　５，０００円（残部ある場合）	

２）申 込 方 法：　申込書に所属、氏名、加入学協会名、ＧＴＳＪ会員は会員番号等必要事項を明記の上、
下記事務局宛 平成２０年１月１５日（火）までにお送り下さい。
（ホームページからも申込ができます）
また、参加費につきましては平成２０年１月２１日（月）までに以下の方法にてお支払い下さい。
支払い期日に間に合わない場合には　事務局までご連絡ください。

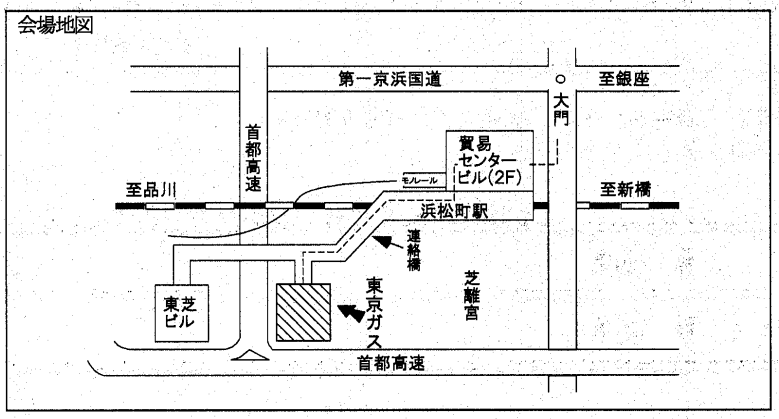
・郵便振替　　００１７０－９－１７９５７８（日本ガスタービン学会）
・銀行振込　　みずほ銀行　新宿西口支店　（普）１７０３７０７（日本ガスタービン学会）
・現金書留

３）事　務　局　：　(社)日本ガスタービン学会

〒１６０－００２３　東京都新宿区西新宿７－５－１３－４０２
Tel.０３－３３６５－００９５　　Fax.０３－３３６５－０３８７
URL.　http://wwwsoc.nii.ac.jp/gtsj/　E-Mail　gtsj@pluto.dti.ne.jp

資料集・ネームカードは当日受付にてお渡しします。

会場地図



Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.

第３６回ガスタービンセミナー

（平成２０年１月２４，２５日）

申　込　書

(社) 日本ガスタービン学会　行　　FAX 03-3365-0387　TEL 03-3365-0095

会社名	
所在地	〒
ＴＥＬ	
ＦＡＸ	

参加者名（所在地・連絡先が所属により異なる場合には、本用紙をコピーして別シートにご記入下さい。）

フリガナ 氏　名	所　　属	TEL FAX E-MAIL	所属学協会 GTSJの方は会員No.をご記入下さい	参加日 ○印をつけて下さい
				24・25
				24・25
				24・25
				24・25

【事務局への連絡事項】

	２日間	人数	１日のみ	人数	合計金額
正 会 員	２５，０００円		１８，０００円		円
学生会員	５，０００円		５，０００円		円
会 員 外	３５，０００円		２５，０００円		円
会員外（学生）	８，０００円		８，０００円		円
支払予定日：　　月　　日				支払金額	円

払込方法　：（ ○をつけてください。）

１．　銀行振込（みずほ銀行　新宿西口支店　普通　１７０３７０７）

２．　郵便振替（００１７０－９－１７９５７８）

３．　現金書留

＊口座名はいずれも「(社)日本ガスタービン学会」です。

請求書の発行：　　要　（宛名：　　）・不要

領収証の発行（当日お渡しします）：　要　（宛名：　　）・不要

Download service for the GTSJ member of ID , via 13.59.167.83, 2024/10/12.