

研究開発支援のための技術

1. はじめに

検査・計測技術は、稼働中の機械や構造物を安心かつ安全に運用するための保守、健全性や余寿命評価、環境保全には必要不可欠の技術であることは既に述べてきたとおりである。しかし、これら検査・計測技術も各種の評価技術や生産技術などと連携して総合力を発揮することが求められてきている。例えば、水車延命プロジェクトにおいては、フェーズドアラレー探傷を用いた鋳物の高精度探傷技術と、より精度高い評価技術及び鋳物の補修技術を組合せた技術を提供してきている。

当社計測技術部門の前身は(株)IHI 技術研究所の分析・計測技術部門が分離独立した旧石川島計測サービス(株)であり、さらに、平成13年4月にIHI技術開発本部・実験技術部門の111名を当社に移籍し、関連技術の拡充を図っている。

これら技術を構造物の保守、健全性評価や環境保全に役立てるよう努力すると共に、重工業として培ってきた技術を研究開発支援技術として活用いただくよう活動を進めている。製品の機能や性能の改善・改良あるいは新たに製品を開発する場合において、改善性の評価や改良の指針を得て効率的に推進すると共に、目的を達成するためには特殊な検査・計測技術も活用することが求められる。研究・開発支援に求められる業務としては、高精度・精密なデータの提供にとどまらず、客観的に現状を観察して現象を認識し、問題点を指摘すると共に原因を分析し、対策案を提示するコンサルティング機能を提供できるように研鑽を重ねている。

本章では、当社の中核業務の一つである研究支援技術についてその特徴あるものの概要を紹介する。

2. 金属材料技術と接合加工技術

2.1 CMC 技術

材料技術はあらゆる産業の基盤となる技術であり装置の高性能化・信頼性向上に貢献している。当社では幾つかの材料試作技術を保有しているがここではジェットエンジン開発の一環として実施しているセラミックス基複合材料(Ceramic Matrix Composites: CMC)の製造プロセス開発について紹介する。

(1) CMC の特性

セラミックスは金属材料に勝る耐熱性や耐摩耗性、耐薬品性を持つことから産業用機械部品として広く使用されている。しかしながらセラミックスはじん性が乏しく、ぜい性破壊を起こしやすいことから、じん性を高めることが、高度な信頼性が要求される部品に適用するための技術課題であった。このような背景から長繊維などと複合化することでじん性を向上させたCMCが開発されてきた。例えば、高弾性であるSiC(炭化ケイ素)繊維を主体として、マトリックスとなるSiCセラミックスを繊維表面および空孔等に含浸することにより、セラミックスの耐熱性、耐摩耗性、耐腐食性などの特長を生かしながら、弱点である耐破壊特性を高めることができる。CMCと焼結セラミックスとの強度特性を図1に、CMCの構造模式図を図2に示す。CMCはモノリシック(通常の焼結セラミッ

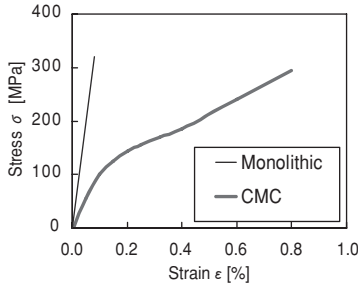


図1 強度特性

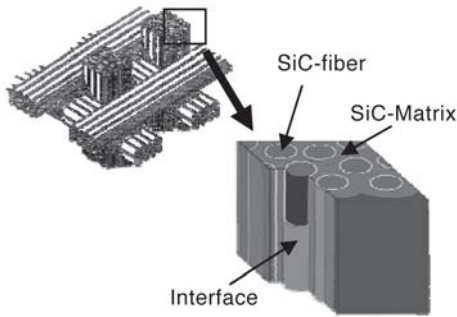


図2 CMCの構造模式図

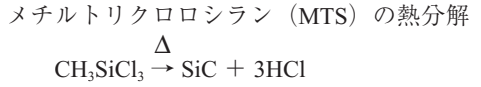
クス) に比べて格段にじん性が改善される。

(2) 製造方法

通常、焼結セラミックスは微粉末を焼成して成形するが、CMCは長繊維で織り込まれているため、微粉末を用いた焼成法では繊維束内部まで粉末が入り込まない。そのためCMCの製造には以下に示す3種のプロセス(含浸法)が適用されている。

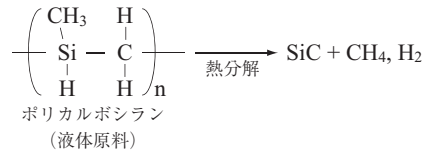
ア. CVI (Chemical Vapor Infiltration, 化学気相含浸)

原料ガスであるメチルトリクロロシランを熱分解してSiC膜を成形する。気相含浸(蒸着)なので繊維内部まで浸透成形することができる。ただし、SiCの成長速度が小さいため成形に時間を要し、また反応排気ガスにHCl(塩化水素)を含むため装置の腐食による老朽化およびメンテナンス等が必要であり、高コストである。



イ. PIP (Polymer Infiltration and Pyrolysis, ポリマー含浸焼成)

セラミックス前駆体ポリマーであるポリカルボシランを溶融含浸および熱分解しSiCを成形することができ、繊維の大きな空隙を埋めることが可能である。ただし焼成時にポリマーの収縮が生じるため、割れや気孔が発生しやすい。



ウ. MI (Melt Infiltration, 溶融含浸)

あらかじめカーボンを繊維束内に析出させ、溶融シリコンを含浸し、反応焼結することでSiCを成形する。短時間成形が可能であるが、シリコンが残留する。この残留シリコンはSiCに比べ融点が低い(1410℃)ため、超高温状態での使用が困難である。MIにおける製造プロセスを図3に示す。

エ. 複合プロセス

上述のCVIとPIPとを複合化した製造方法であり、製造の初期段階にCVIで繊維束内にSiCをコーティング成形し、その後PIPで大きな空隙内を埋める。これにより製造工程時

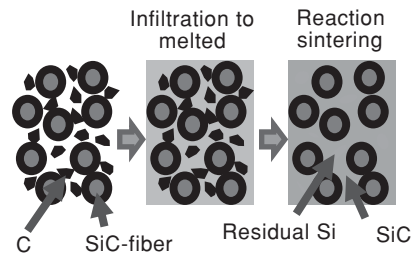


図3 MI法による製造プロセス

間を短縮することができ、CVIのみで成形したCMCよりじん性を向上させることができる。複合プロセスで成形した微構造例を図4に示す。

(3) CMCの適用例

近年、航空機用ジェットエンジンの出力向上のために材料の耐熱性、軽量化が必要とされてきている。ジェットエンジンの耐熱材料としてNi基合金があるが、融点は1400℃程度であり、すでに使用限界温度域であるため、これ以上の耐熱性向上は期待できない。CMCはこのような超高温環境に使用される先進材料として期待されている。図5はジェットエンジンのテールコーンに適用した例である。

CMCは超高温環境における使用部材として、その製造プロセスが確立しつつある。今後、低コスト化を進めるとともに品質保証システムを確立し適用分野の拡大を図る。CMC部品の普及が環境問題、社会資本の信頼性、機器・装置

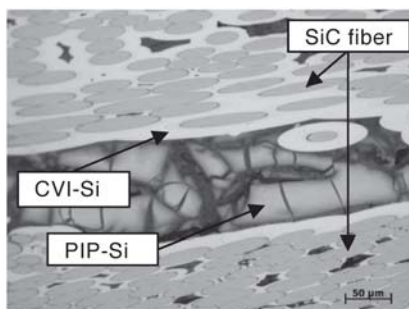


図4 複合プロセスで成形したCMC微構造例

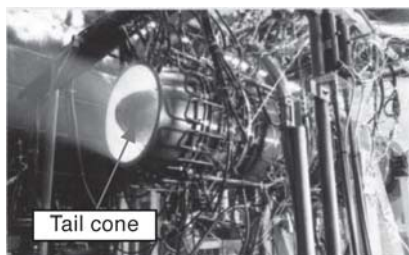


図5 ジェットエンジンへの適用例

の性能向上に貢献すると期待される。

2.2 レーザ溶接技術

レーザー溶接は、レーザー光を熱源とした低入熱・高精度・高速加工技術の一つである。溶接に用いるエネルギーの伝送には光ファイバーが用いられるため、周囲の機器へのノイズの影響が少なく、遠隔操作が有利になる等の点も特徴として挙げられる。レーザー溶接は、原子力、航空機、自動車産業分野などで実用化されてきた。

近年、レーザー発振器の高出力化、ビーム品質の高品位化に伴い、以下に示す新たなレーザー溶接技術が開発されている。

(1) レーザ・アークハイブリッド溶接

レーザー・アークハイブリッド溶接は、レーザー溶接とアーク溶接を組み合わせた溶接方法である。レーザー溶接は深溶け込み・高速溶接の特長を有するが、開先裕度が狭い・ブローホール等の溶接欠陥が発生し易いという問題があった。レーザー・アークハイブリッド溶接はアーク溶接と複合させることにより、これらの問題を解消し厚板を対象とした造船・橋梁分野における大型構造物への適用が進められている。

(2) リモートレーザー溶接

リモートレーザー溶接は、高品位レーザービームの伝送にミラーを用い高速でスキャニングして溶接する方法である。遠距離から広いエリアを1台のレーザー溶接機で高速溶接（ビームスキャナーとワークとの距離：1～2m、溶接速度：3～5m/min程度）することが可能である。

近年、自動車分野の車体製造において抵抗スポット溶接の代替溶接方法として注目されつつある。リモートレーザー溶接の適用により、大幅な溶接時間の短縮を図ることができるため、溶接ロボットの数を劇的に減少させることができる。また、従来の抵抗スポット溶接のように電

極で挟み込む必要がないため、継手形状の制限（重ね継手）がなく、更なる車体構造の改善や軽量化への道が開かれる。リモートレーザー溶接工法に併せて、溶接部の良否判定を非破壊的に行うことが可能な高速移動するリモートレーザービームに同期した熔融池の観察システムの開発が求められている。

2.3 溶接部可視化技術

近年の溶接施工の進歩は急速であり、高速化、高品質化の進展は著しい。それに伴い、溶接現象の解明に対する要求と、施工管理の高度化への要求が非常に高まっている。IHIグループにおいてはそのニーズに応えるべく溶接部可視化装置「iL-Viewer」を開発し当社が製造・販売している。

(1) iL-Viewerの原理と特徴

溶接部可視化装置は、溶接アーク（あるいはレーザー溶接時のレーザー光）と熔融池からの強烈な放射光を抑えて溶接部と溶接部周辺を観察するため、高いピークエネルギーを持つパルス動作の可視光レーザーを照明光として使用し、レーザーの単色性を利用した光スペクトルフィルタリングと、CCD等の半導体撮像素子の高速電子シャッターとレーザーパルスを同期させることによる時間的フィルタリングを行うことを特徴とする画像観察装置である。これらのフィルタ効果によって、溶接部からの発光をほぼ完全に抑えた画像を取得することが可能である。熔融現象を鮮明に観測することが可能であるため、溶接現象の研究、良否判定、仮い制御等に应用することが可能である。また溶接以外の高輝度発光体の観察にも応用可能であり、ロケットエンジンノズルの観察や炉内熱間観察へも応用されている。

(2) iL-Viewer

最近の溶接施工の高度化は単に鮮明に見る

だけでなくより高い付加価値のある可視化技術を求めているのも事実であり、われわれはそのニーズに応えるため、次の改良開発を実施している。

ア. フレームレートの改良

従来の25コマ/秒の観察では現象把握が追いつかなくなりつつある。そこでより高速なCMOSセンサーを使用したカメラを採用して1000コマ/秒以上のフレームレートを実現する。

イ. 照明技術の簡素化

前述したように可視光レーザーを照明光として使用しているためレーザー管理区域を設定しなければならないが、これが可視化装置の適用範囲拡大に当たっての問題になっていた。また、レーザー装置が高価であるためコスト面で導入が促進されない面もあった。そこでCMOSセンサーの高度な画像制御技術と、各溶接に最適化したフィルタリング技術を駆使することにより、無照明あるいはそれに近い簡素な照明（LEDなど）のみで観察可能とする。

ウ. リモートレーザー溶接への適用

最新のリモートレーザー溶接技術に適用する照明・観察システムを開発する。

エ. 判定・制御システムの構築

ライン導入のための良否判定、制御技術を開発する。

今後、TIG溶接、プラズマ溶接、レーザー溶接への適用を主要なターゲットと定めて、フィルタリング技術、画像処理技術などについて実案件に対応しつつデータを積み上げながら高度化を図っていく。

2.4 アルミ溶接

アルミニウムおよびその合金は、軽くて耐食性、加工性、低温特性などに優れていることから、家

庭用器物に多く用いられているほか、一般工業用材料として航空宇宙、車両、船舶、化学および食品、電気や原子力など多くの工業分野に広く用いられている。アルミ溶接装置の例を図6に示す。

(1) アルミ溶接の特徴

一般的にアルミニウムの溶接は鉄鋼の溶接に比べて難しいとされている。その理由を以下に示す。

ア. 加熱中、酸化し易いので不活性ガス雰囲気中で溶接する必要がある。

イ. 鉄の約3倍も熱伝導度が大きいため、局部加熱が難しい。さらに、溶融温度が低いので溶け落ちし易い。

ウ. 線膨張係数が鉄の約2倍、凝固収縮率は約1.5倍あるので、溶接による歪が大きい。凝固時に割れが発生しやすい合金系もある。

エ. 溶融中水素等のガスを吸収し易く、これがポロシティー（気孔）の原因となり、溶接部の強さを低下させる場合がある。

オ. 合金によっては、加熱によって母材が弱く、脆く、割れ易くなることがある。

さらに、アルミニウムの溶接では、板厚8mm以下および35mm以上で難しくなるとされている。その理由として、この板厚範囲では溶着金属の微小割れ、ポロシティー、融合不良、溶接変形などが生じやすいためである。

(2) アルミ溶接技術開発への取り組み

IHIおよび当社ではこれらの特性を理解したうえで、これまでにLNG船や低温貯槽などに適用するため、数多くの試験、研究を行い、アルミ溶接技術を確立してきた。

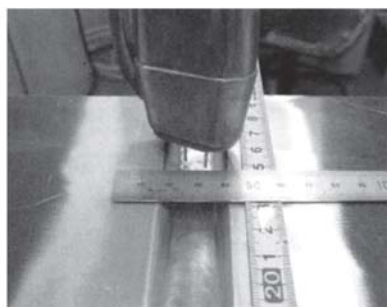
近年、アルミニウムは軽量であることが注目され、CO₂排出量低減のため自動車や車両などの軽量化、クリーンガスエネルギーのためのタンクや船舶、さらに橋梁では軽量であることに加え耐食性に優れていることから塗装が不要となるなど、環境に配慮した材料として見直されている。

アルミニウム溶接の需要も高まりつつあるが、構造物の大型化による板厚の厚肉化に伴い溶接時の大入熱による溶着量の増大が顕著となり、溶接費のコストダウンが求められており、溶接電源もデジタル化されるなど目覚ましい進歩が見られる。

現在、これまで蓄積してきたアルミニウム溶接の技術、ノウハウ、溶接施工条件、溶接施工管理基準などが、新しいデジタル溶接電源に適用できるかどうかの研究を進めている。板厚や開先形状など多くの試験を実施し、さらに溶着量をかせぐタンデム溶接（2電極溶接）、ロボットによる溶接やレーザー溶接など、コストダウンや品質向上に向けた開発も行っている。



ロボット溶接（タンデムMIG）



タンデム溶接

図6 アルミ溶接装置の例

2.5 特殊加工技術

当社では各種の特殊加工技術を有しているが、マイクロアクタの材料候補である SUS304、および純アルミを加工する際に生じるバリを最小限にする取り組み例を紹介する。

(1) バリ抑制加工

評価した切削条件は①切削方向（アップカット、ダウンカット）②テーブル送り速度（4種類）③径方向切込み量（3種類）④面取りの4種であり試切削後、表面形状・粗さ測定機で表面形状を測定しバリ高さを測定しそれぞれの影響を評価した。

切削方向とバリ高さの関係を図7に示す。ダウンカットではバリ高さが増加する傾向が見られる。これはダウンカットでは切削工具は被削

材に食い込む時の衝撃力が大きいため、塑性変形領域が増え、その結果バリ高さが増加したと考えられる。このような基礎データ取得・評価を残りの3パラメータについても実施し、マイクロチャンネルの試作プロセス確立を図った。

(2) マイクロチャンネルの試作

試加工により最適と評価された切削条件域で1.0mm（幅）×0.5mm（深さ）×45mm（長さ）の流路を持つマイクロチャンネルを試作した。マイクロチャンネルの材質は純アルミおよびSUS304の2種類である。いずれの材質条件でも発生するバリの高さは1μmオーダーであり、切削後のバリ取りを実施することなく実用に耐え得る加工精度を実現できた。（図8）

今後、欠けやバリをさらに小さくすること、

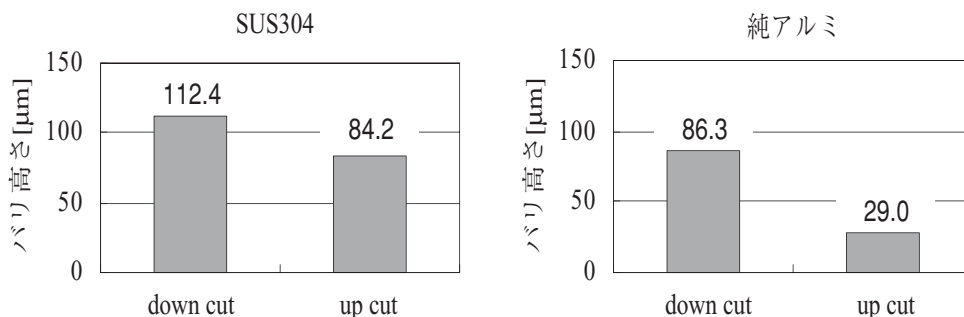


図7 切削方向とバリ高さの関係（左図：SUS304、右図：純アルミ）

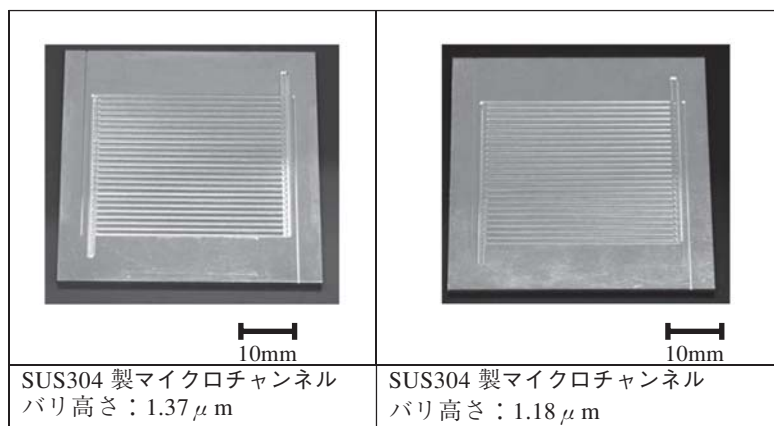


図8 マイクロチャンネル試作品の外観

表面粗さおよび加工精度の評価方法のマニュアル化が課題である。微細加工等の特殊加工では案件毎に加工条件の選定が必要となる場合が多く、今後とも、ノウハウの蓄積につとめ技術の向上に努めたい。

3. 研究支援のための計測技術

当社は自ら検査・計測技術の研究開発に日夜取り組むと共に、社内外の様々な研究機関や開発機関の支援業務を行っており、長年培った計測技術による高い精度の計測データならびに計測技術そのものを提供してきた。本節では特に研究支援を目的とした計測技術に焦点を絞り、その実例を紹介する。

3.1 特殊計測

(1) 高温環境下の応力（ひずみ）計測

機械装置の研究開発段階においては、信頼性評価のために応力（ひずみ）測定や振動測定がしばしば実施される。低温環境（350℃未満）の場合には一般的な箔ひずみゲージをセンサとして使用するが、高温環境（350℃以上）では特殊なセンサが必要であり、高温ではカプセル型高温ひずみゲージや溶射型ひずみゲージを適用する。

カプセル型高温ひずみゲージはゲージ素子に高温での安定性に優れた耐熱特殊合金線を使用し、リード線は550℃～950℃の領域にも対応できるMIケーブル（Mineral Insulated cable）を使用している。

図9にK社の750℃対応のカプセル型高温ひずみゲージを示す。センシング部の幅は3mm、長さは20mmである。また、MIケーブルの直径は1.6mmである。センシング部の被測定物への取付けは小型スポット溶接機により行う。したがって、接着剤やコーティング処理が不要である。ボイラ伝熱管に設置した例を図10に

示す。

溶射型ひずみゲージは主にジェットエンジンの開発において高温に晒される部品の健全性を実証するためのセンサとして適用されている。「溶射」とは、コーティング材料を加熱により溶融もしくは軟化させ、微粒子状にして加速し被覆対象物表面に衝突させて、扁平に潰れた粒子を凝固・堆積させることにより皮膜を形成するコーティング技術の一種である。当社はローカイド溶射装置とサーモスプレー溶射装置を用いてジェットエンジンやターボチャージャの高温部品にひずみゲージを溶射する役務を提供している。（図11、図12）

(2) PIV（粒子画像流速測定法）による流れ計測

目に見えない流れにトレーサ粒子（アルミ粉末、ポリスチレン等）を投入することで、目

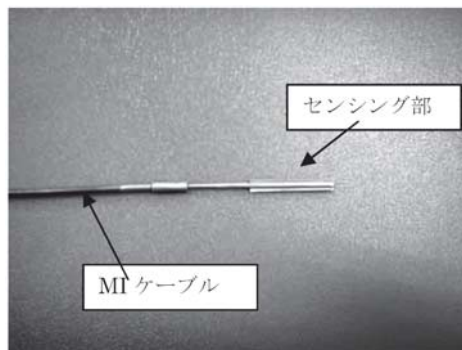


図9 カプセル型高温ひずみゲージ



図10 設置例（ボイラ伝熱管）

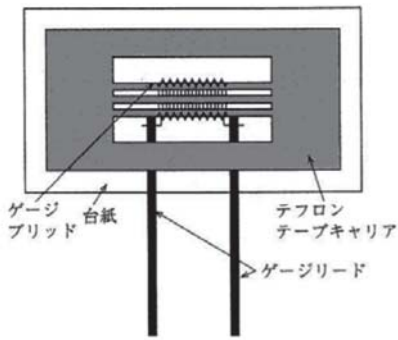


図11 溶射型高温ひずみゲージ

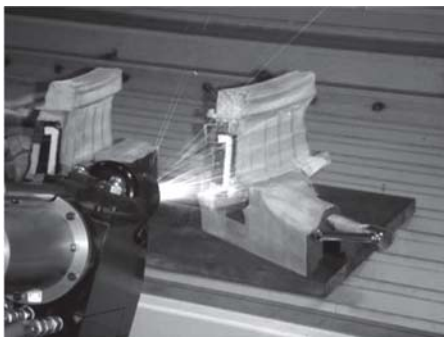


図12 溶射作業状況

に見えるようにする技術が流れの可視化 (flow visualization) である。この流れの可視化技術にデジタル画像処理技術を加え、流れ場の瞬時・多点の速度情報を抽出する方法がPIV (Particle Image Velocimetry: 粒子画像流速測定法) である。流れの可視化技術としては既に一般的となったCFD (Computer Fluid Dynamics) と呼ばれるコンピュータ・シミュレーションによる流れ解析技術がある。

一方で、産業の発展は予測・制御すべき現象を、より高度に解析する必要に迫られている。

そのためには、模型を用いた物理実験や、コンピュータによる数値解析のどちらか一方だけで対応していくことは困難であり、両者の技術の融合により流体解析技術の高信頼性が実現される。

図13にPIVシステムの基本構成を示す。図

14にU字形の配管内を流れる水のPIVによる計測例を示す。コーナー部や水平管上面にできるよどみの様子が明瞭に捉えられている。

このようにPIVによる計測は、流れ場の状態を速度ベクトルと色彩表現により直観的に理解できるところに大きな特長がある。また、PIVによる計測結果と最近の研究開発で多用されるCFDで得られた結果は同様の表示形態なので、試験結果と計算結果との比較が容易にできるというメリットもある。

(3) 極低温領域における精密温度計測

液化窒素雰囲気等の極低温領域において、1/100℃分解能の温度測定を行うことは困難を要する。

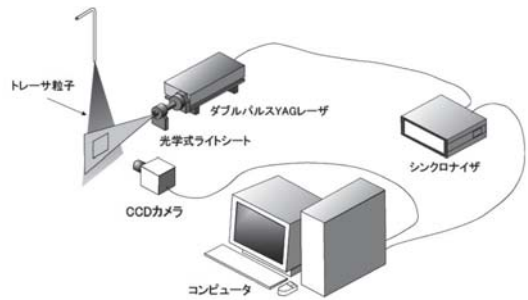


図13 PIVシステムの基本構成

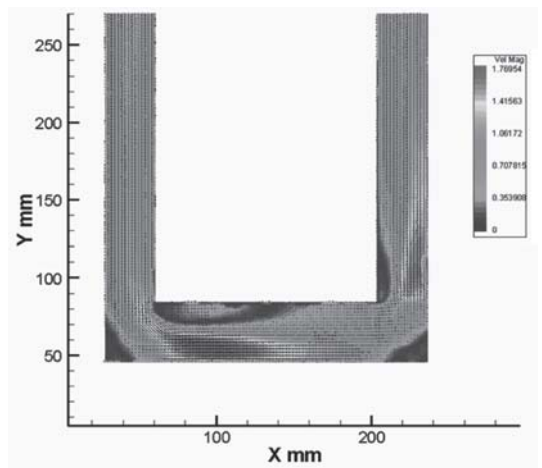


図14 PIVによる計測例 (U字管内の水の流れ)

表1 Pt100測温抵抗体の抵抗変化

(単位：mΩ)

	73 K	抵抗値差	74 K	抵抗値差	75 K
標準抵抗値	18520	430 (4.3/0.01K)	18950	430 (4.3/0.01K)	19380

<JIS C 1604-1997>

温度を精度よく計測するには温度差に対するセンサの出力差が大きいことが必要となるが、測温抵抗体の抵抗値が温度変化に対応して精度よく追従することに着目し、極低温領域の精密温度測定が可能な計測方法を実現した。この方法の応用例として超電導モーターの冷却窒素の温度変化計測の例を紹介する。

ア. 計測方法

超電導モータは固定部分の電機子コイルユニットを超電導転移させるため、同ユニットを格納するクライオスタット内に過冷却液体窒素を循環させている。過冷却液体窒素はクライオスタットへの侵入熱によりわずかに上昇する。この侵入熱量を把握するために微小な温度変化を正確に計測する方法が必要となる。この極低温領域における温度変化を Pt100 測温抵抗体およびミリオーム計を使用した微小温度差計測方法を実計測に適用した。

微小な温度変化を精度よく計測する場合、温度差によるセンサーの出力差が大きいことが望ましい。表 1 に示すように、Pt100 測温抵抗体は温度差による抵抗変化が大きく、0.01K 分解能として 4mΩ 以上の出力が得られる。この抵抗変化をミリオーム計（微小電気抵抗計測器）で高精度に計測し、温度換算する方法を適用した。

図 15 にミリオーム計およびデータ収録用 PC を示す。Pt100 測温抵抗体の抵抗値はミリオーム計で計測され、データは専用計測ソフトウェアをインストールした PC に収録される。

ミリオーム計の計測において 4mΩ / 0.01K の分解能に対応する計測レンジを 200Ω とした場合、計測分解能は 1mΩ で、読値に対する精度は ± 0.008 %、フルスケールに対する精度は ± 0.0015 % である。ただし JIS における Pt100 測温抵抗体の 73K における許容差*は ± 0.55K で、また、標準抵抗値表には 73K までの記載しかないため、73K 以下の温度を計測するためには Pt100 測温抵抗体の計測温度付近における器差の把握、補正係数を求めるなどして標準抵抗値表から外挿する必要がある。

* Pt100 測温抵抗体の示す抵抗値を標準抵抗値表により換算して求めた温度から実際の温度を引いた値の許容される最大限度。

イ. 適用結果

図 16 に超電導モータ開発機を示す。同モータのクライオスタット内部に設置されたそれぞれの Pt100 測温抵抗体の抵抗値の変化を温度換算した。表 2 に超電動モータクライオス



図15 計測装置

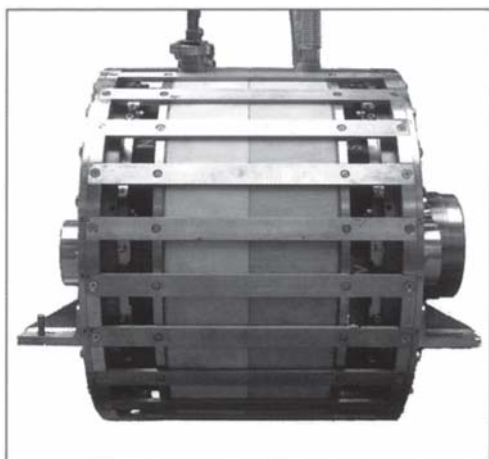


図16 超電導モータ開発機

タット内の温度計測結果の一例を示す。連続計測において微妙な温度変化を捉えることができた。

3.2 三次元画像計測

構造物・機器の形状測定方法には、プローブ接触式、測角式、測距測角式、レーザーレーダー式およびデジタルカメラ式がある。これらの方式の中で、デジタルカメラ方式は構造物・機器の変形計測にも適用できるので、研究開発支援のための計測技術として紹介する。

当社は3次元画像計測システム（V-Stars）を保有している。図17にシステムの主要構成部品を示す。測定対象物を高精度デジタルカメラで多方向から撮影し、測定ポイント（ポイントターゲット

トを貼り付けた場所）の3次元座標をソフトウェアで高精度に解析する。写真の中に長さが既知のスケールバーを写しこむことにより、10mの物体で50 μ mの計測精度が得られる。ハンディなデジタルカメラを使用しているので、狭い場所や障害物がある場所でも計測ができる。このシステムは物体の形状を精密に計測できるので、構造物の静荷重試験に適用した場合、静荷重負荷前後に計測してその形状変化から変形を計測することができる。図18に宇宙関連構造物の変形測定の様子を示す。

3.3 翼振動計測

翼振動はターボ機械に特有な振動問題である。翼は高速で回転しており、翼振動によりクラックが発生すると翼が飛散するような大事故発生のおそれがある。そのため、一般に、ターボ機械の開発段階で翼振動の解析と計測を実施して安全性の確認を行う。本項では、翼振動を計測する技術について紹介する。

翼振動を計測するためのセンサとしてはひずみゲージが一般的に使用されている。

高速で回転しているターボ機械の翼からひずみ信号を取り出すためには、回転系から静止系にひずみ信号を伝達する手段が必要である。このため、スリップリングやテレメータを使用する。

一方、ケーシングに取り付けた翼センサで非接

表2 超電導モータクライオスタット内部冷却LN2計測結果の例

時間	Aポイント		Bポイント	
	℃	K	℃	K
0	-198.655	74.495	-199.944	73.206
10	-198.694	74.456	-199.955	73.195
20	-198.713	74.437	-199.957	73.193
30	-198.741	74.409	-199.963	73.187
40	-198.771	74.379	-199.957	73.193
50	-198.803	74.347	-199.955	73.195
60	-198.818	74.332	-199.948	73.206
70	-198.846	74.304	-199.944	73.206
80	-198.878	74.272	-199.942	73.208

触で翼振動を計測する方法も近年、よく使用されている。

(1) ひずみゲージによる翼振動計測

FEM 解析などにより計測位置を決め、低温環境（圧縮機、ファンなど）では前項で述べた箔ひずみゲージを接着剤で貼り付け、高温環境（ガスタービン、ジェットエンジンなど）では溶射型ひずみゲージを適用する。

スリップリングにはドラム型（リング外周にブラシが接触）、フェース型（円盤の側面にブラシが接触）、特殊型（水銀の流体接触を利用）などがあるが、翼振動計測の場合はドラム型を使用することが多い。

ひずみゲージからの信号は、回転側に設置した小型の送信器（テレメータ）で電波に変調されて静止系に伝送される。

それを受信機で復調し、さらに電気信号に変換するので回転側と静止側にアンテナが必要である。この方式は非接触式のため、ノイズやドリフトはあまり問題にならない。電源はバッテリーと誘導電源の2種類がある。前者は回転側に取付けられ、試験時間が制限される欠点があるが、システムが単純で安価なため広く用いられ

ている。後者は信号受信のアンテナを介して静止側から回転側に誘導電源を供給するもので、計測時間の制限がないが、システムが複雑で高価となる。

(2) 非接触翼振動計測

この方法はひずみゲージを使用しないで翼の振動状況を把握する技術である。静止部に設置した翼センサーで翼端部の1回転毎の通過を検知し、軸パルス（回転センサーが軸の1回転を検知する毎に発生するパルス）に対する時間差を翼タイミングパルス（TOA: Time of Arrival）と定義し、TOA から翼の円周方向位置を計算して翼振動振幅を解析するシステムである。図19

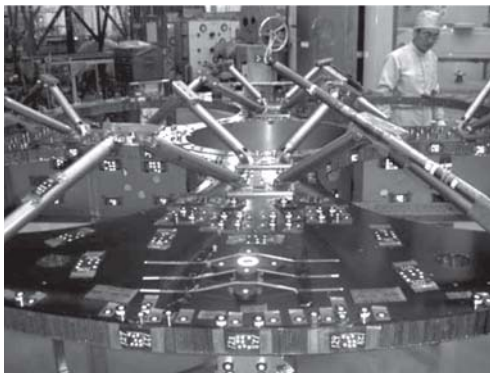


図18 V-Starsによる宇宙関連構造物の変形測定



デジタルカメラと記録媒

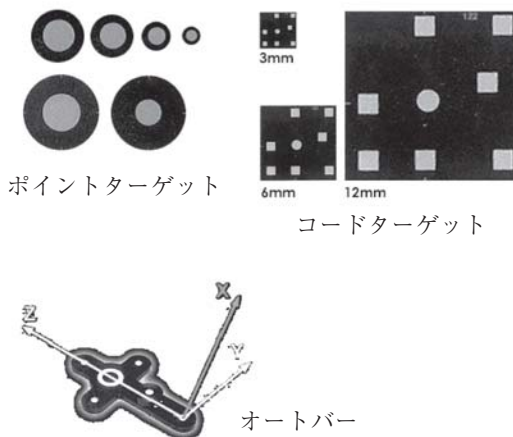


図17 V-Starsの主要構成部品

に TOA による翼振動計測システムの概要を示す。

同図は翼枚数が N_r のロータの翼振動を軸パルスを基準として静止部に設置した 1 個の翼センサで計測する場合について示している。軸パルスに対する各翼の TOA からそれぞれの翼の円周方向位置を計算することができる。この方式はひずみゲージによる計測方法に比べて安価な上に全翼（翼間バラツキ）の計測が可能である。

翼センサは光学式、容量型、渦電流型の 3 種類があるが、光学式センサは高温（約 650°C ）に耐えるため、ジェットエンジンやガスタービンの計測によく用いられている。

3.4 分光分析技術とその応用

計測対象が発する光もしくは光を当てた際の反射光を分析することにより、対象の状態を把握することが可能となるが、このような分析技術は「分光分析」と呼ばれる。

たとえば、食べ物が腐ってくると色が変り、人間は目で見て頭（脳）で食べられるか判断する。このとき目はセンサー部分で頭はコンピュータ部

分である。

人の目は 3 種類の色（赤・緑・青）に分光して検知して、頭の中で色に合成し、経験的に蓄えられた脳のデータベースから食べられるかどうかの判断を下す。見て、判断するのは、その場であり、判断を下すのも殆どの場合その場で行われる。分光分析においても、人間の目と脳のシステムと同じように、その場で計測して判断できる簡易型分光システムが期待されている。

(1) 分光分析の概要

分光分析は図 20 に示すように、次の流れで実施する。

①照明する、②対象物で反射または透過（この際、物質固有の光が吸収される）、③戻った光を波長で分光、④ 検知器で検知（吸収スペクトルを作成）、⑤解析・判断（通常、吸収した波長から物質種類、吸収の大きさから濃度を求める）

従来、分光器は、振動に弱く、ある程度の大きさが必要であるため、実験室で使用するものであったが、近年小型の分光器が多く出回るようになり、状況が変わってきた。

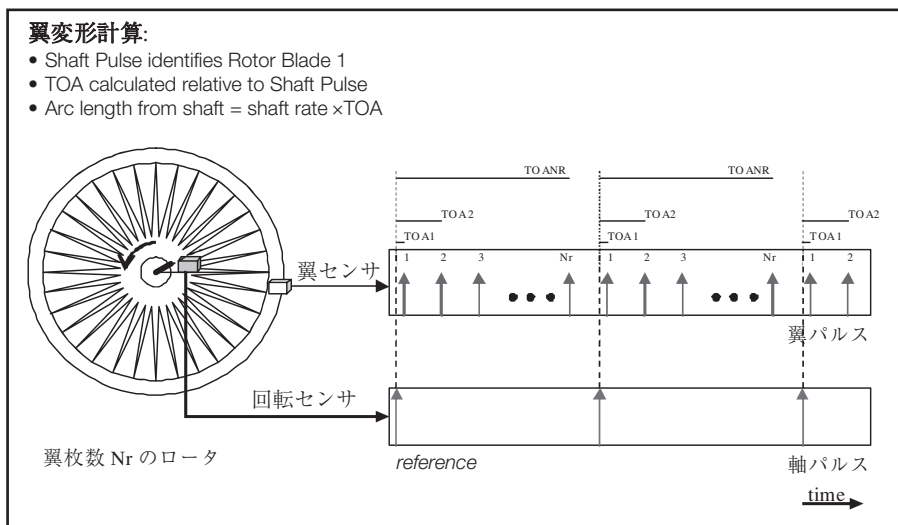


図19 翼タイミングパルス (TOA) による翼振動計測システム

コンピュータおよび解析手法の発達もあり、判断の部分についても進歩している。

人の見るシステムは非常に良くできており、人が作り出した機械やシステムよりも優れた部分が多い。しかし機械は、3波長以上に分光し、人が感知できない波長(近赤外線や紫外線など)も捉え、測定器としての定量性や再現性があり、個人差がない。

(2) 分光分析技術の応用例

本技術の適用例としては、プラスチックの判別や果物の糖度計などがある。一例として、プラスチックの吸収スペクトルを図21に示す。

プラスチックの種類によるスペクトル形状の違いから、種別を判定することができる。

当社においては、コンクリート劣化診断装置についての応用開発を進めている。波長1257nm付近に塩化物イオン濃度の吸収がある

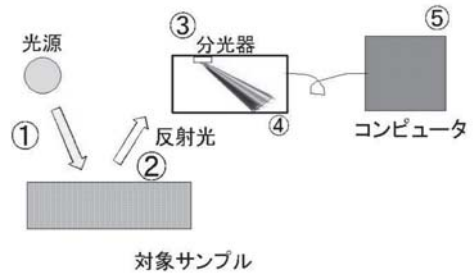


図20 分光分析の流れ

ことを利用したものである。図22にコンクリートの反射スペクトルを示す。塩化物イオン濃度の増加はコンクリートの劣化の指標として判断に使えることがわかる。この計測は、聴診器のようにコンクリートに光を当てて反射光を測定するだけであり、数秒で塩化物イオン濃度が得られる。現状はコンクリートをドリル等で砕いてサンプルを採取して持ち帰り計測するしかない。

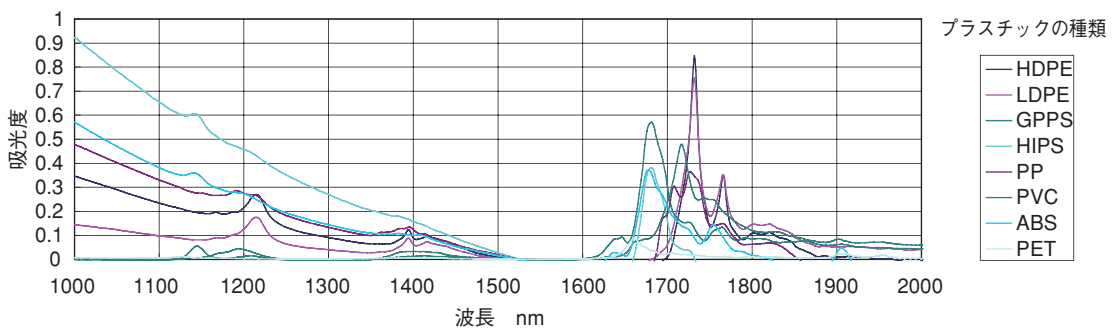


図21 プラスチックの吸収スペクトル

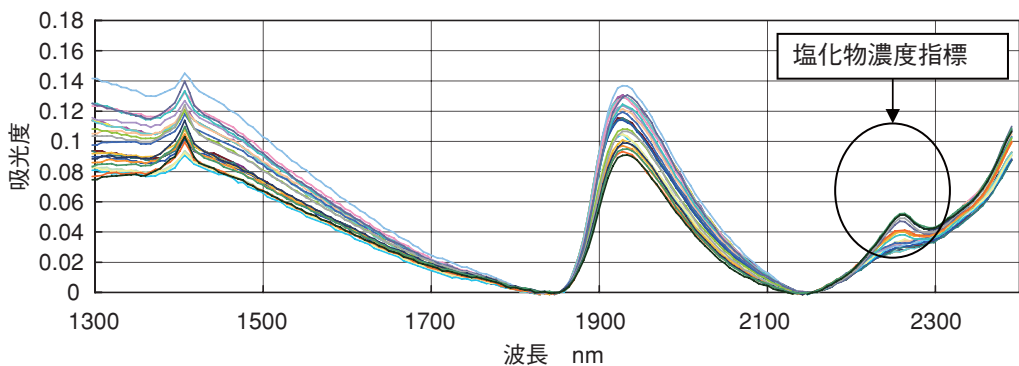


図22 コンクリートの反射スペクトル

コンクリートについては、塩化物イオン濃度だけではなく、中性化の指標となる水酸化カルシウム濃度や硫酸塩濃度も計測可能である。

分光分析の大きな利点は、分光器は光のスペクトル分析を行うが、装置自体から出力されるのは対象の状態判断や濃度といった結果であり、ユーザが分光分析自体を知っている必要がないことである。本項では分光分析技術の原理的な概要と、この利点を生かした応用例を示した。当社の今後の取り組みとしては分光分析技術の適用範囲を広げつつ、簡易型の分光分析システムを開発し、「その場で」、「簡単に」、「判断できる」装置の提供に取り組んでいく。

3.5 触媒評価技術

当社は、ここまで述べてきたような物理現象の計測技術のみならず、「触媒劣化」、「ヒドラジン分析」といった化学分野での計測技術でも社内外の機関の研究活動を支援している。

本項では、液体の炭化水素燃料の水蒸気改質触媒の寿命予測、および排煙脱硝触媒の被毒による劣化要因の特定を行った研究の概略について紹介する。

(1) 触媒の劣化研究例

触媒は、化学品、石油化学製品の製造、石油精製などのいわゆる工業利用分野および排煙脱硝や自動車排ガス処理などの環境保全分野を中心に、多岐にわたる分野で利用されている。

工業プロセスの使用エネルギー量の低減や環境規制の強化、社会的な環境意識の向上と共に、今後も利用分野の拡大や触媒の高性能化、高機能化が期待されている。

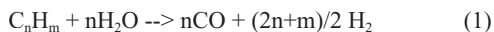
触媒の劣化は、プロセスの寿命、コストなどを決定する重要な因子であり、使用する条件や環境によって、様々な因子により決定される。

表3に触媒劣化を決める代表的な因子を示す。実際のプロセスでは、複数の因子による複

合的な劣化が進行することも多く、劣化要因の特定や寿命の推定は、プロセスの設計、改良を行う上で重要である。

(2) 炭化水素燃料の水蒸気改質触媒の寿命評価

石油蒸分やタールなどの液体の炭化水素を水蒸気改質することによって水素リッチの合成ガスを製造することができる。反応は一般に式(1)で表すことができる。



この反応の過程で、一部の炭化水素は、触媒上に固体炭素として析出し、触媒性能を低下させる。炭素析出は、主反応である水蒸気改質反応と比較すると、比較的遅い反応であるため、炭素析出による触媒性能の低下を定量的に評価するためには、長時間の性能評価の実験が必要となる。

当社では、触媒の劣化を、反応の初期から観察できる Multi-gas sampling port を備えた流通式の反応器(図23)を用いて、触媒の寿命評価

表3 触媒の劣化因子

劣化因子	現象
熱劣化	活性金属のシタリング
被毒	反応生成物による被毒
	不純物等による被毒
	反応の副生成物による被毒(炭素析出など)

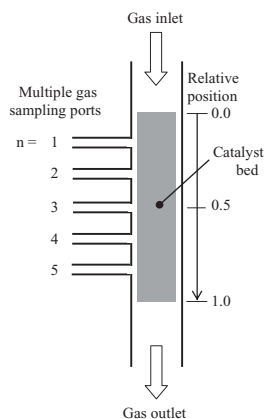


図23 Multiple gas sampling portを備えた触媒評価用反応器

を行った。

触媒層の各位置における性能と経過時間の関係を図24に示す。

この結果より、用いた改質触媒は、反応器の入口付近から劣化し、数1,000hrを経て徐々に触媒出口側に向かって劣化が進行していくことがわかる。このような手法を用いることで、性能低下の現象を比較的短期間で評価することが可能である。

(3) 脱硝触媒のアルカリ被毒による劣化要因の特定²⁾

ボイラなどから発生する排煙中の窒素酸化物(NO_x)は、アンモニア(NH_3)を還元剤として脱硝触媒により窒素と水に還元される。



脱硝触媒の活性種は、酸化バナジウム(V_2O_5)であるが、排ガス中にカリウム(K)などのアルカリ金属が含まれていた場合、被毒されて性能が低下する。

図25に示す通り、微量のKを触媒に担持することで、脱硝性能が著しく低下する。これは、Kが、脱硝反応の進行に必要な NH_3 の触媒表面への吸着を阻害するためである。図26に示すように、赤外分光法(FT-IR)を用いて触媒

表面の吸着 NH_3 の安定性を直接観察することが可能である。このような分光法による表面観察と触媒活性の相関を調べることで、触媒の劣化要因の特定が可能である。

3.6 ヒドラジン水分分析方法の高精度化

ヒドラジン(N_2H_4)のうち高純度のもの(99%以上)は、国産ロケットおよび人工衛星の推進剤として使用されており、この水分が変化すると、推進剤の燃焼効率(出力)が大きく変動するため、推進剤の品質管理においては水分を一定に管理することが重要である。

推進剤の純度は99.00%以上、水分1.00%以下、水分分析の要求精度は $\pm 0.02\%$ であり、当社はこの要求に対応しているが後述する問題もあり、今

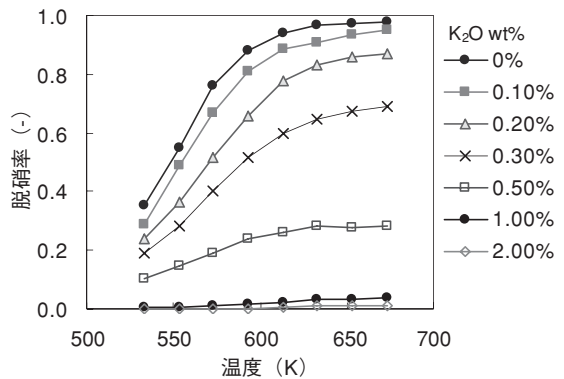


図25 カリウム担持量と脱硝性能の関係

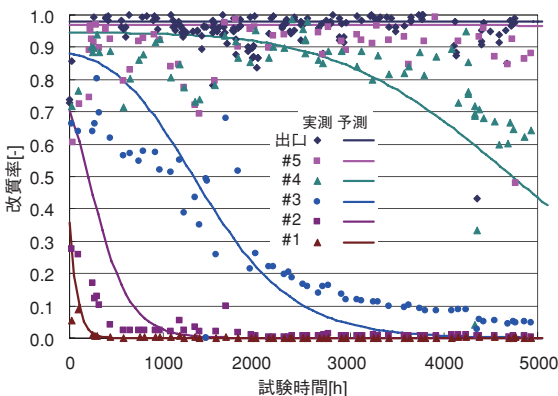


図24 触媒層各位置における触媒性能と経過時間の関係

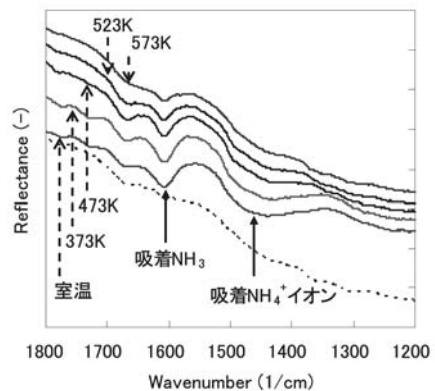


図26 赤外分光法による吸着 NH_3 の観察

回、濃度既知の高純度ヒドラジンの数値を参照することにより、一層の精度向上を図ることができた。

(1) 現状法の問題点

ヒドラジンの水分分析は、試料（高純度ヒドラジン）をガスクロマトグラフ（以下 GC）にそのまま注入して、クロマトグラム（図 27）に得られた 2 つのピーク（水とヒドラジン）の面積値の合計から各ピークの百分率を算出する。この手順を 4 回行い、最小値と最大値を削除し、中央値の 2 回の平均をその試料の水分値としている。

この方法は簡便であるが、カラムの不安定さまたは劣化により、水ピークの割合が変化し、クロマトグラムの数値（見かけ水分値）と真の水分値が離反する（カラムが劣化するほど見かけ水分値が減少するのが、経験上明らかである）可能性が避けられなかった。

今回新たな方策として、純度の安定したヒドラジンを標準試料としてモニタリングすることを考えた。

(2) 標準試料モニタリング法

標準試料は、経年変化試料（不純物の濃度がどう変動するか計測するため、長期保管している）に使用している高純度ヒドラジンで、純度と水分が安定していることが確認されており、標準試料を 2 回以上分析することにより、カラムの状態を把握することを試みた。

標準試料は、保管倉庫内のドラム缶よりホールピペットで採取し、専用の金属保管容器（図 28）に保管する。なお、容器内部は、高純度の窒素ガスを封入して空気と遮断し、水分の混入を避ける。

試験は、標準試料を 2 回分析して、その後試料を 4 回（規定回数）分析した。カラムが良好な場合とカラムが不良の場合の代表例を表 4 に示した。

「カラム良好な場合」は、標準試料 2 回の平均値は 0.52 で、日常得ている数値とほぼ一致している。試料 4 回の数値もばらつきが少なく、カラムの状態は良好であることがわかる。これに対し、「カラム不良の場合」は、標準試料の

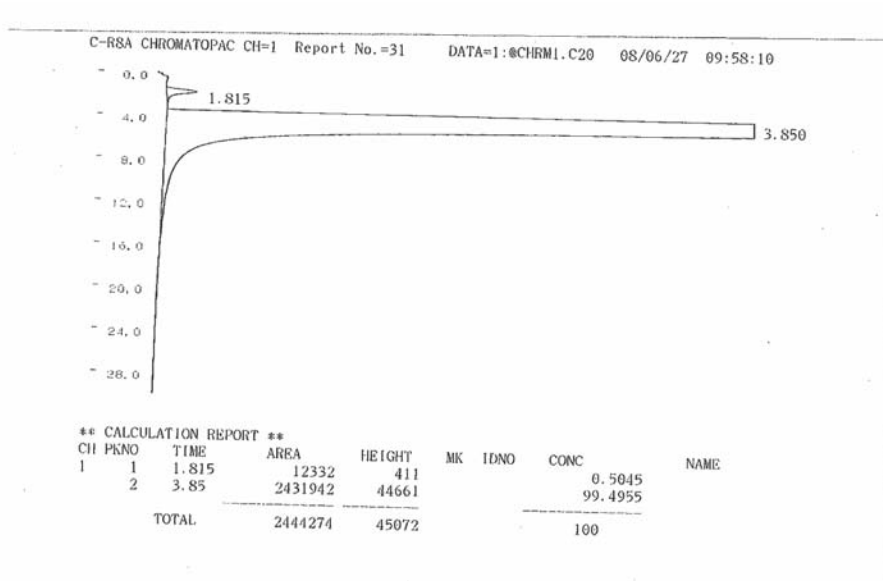


図27 ヒドラジン水分分析のクロマトグラム

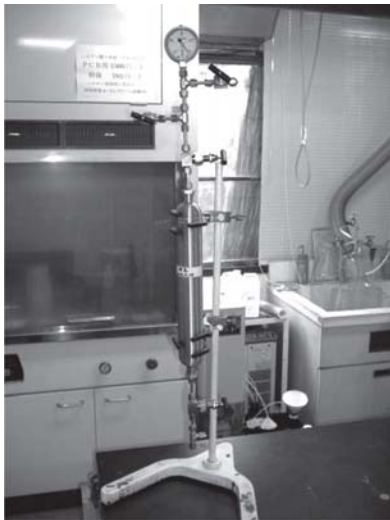


図28 標準試料保管容器（金属製）

表4 高純度ヒドラジン中水分値の実測データ

カラム良好な場合

試料の種類	水分 (%)
標準試料①	0.5297
標準試料②	0.5248

カラム不良の場合

試料の種類	水分 (%)
標準試料①	0.5426
標準試料②	0.6036
標準試料③	0.7218

数値が段階的に上昇しており、数値も 0.54 ~ 0.72%で、通常値の 0.52%と異なっている。

以上の試験を繰り返すことにより、カラムの状態を把握できるようになり、試料についても安定した分析結果を残せるようになった。

上記の試験結果から標準試料によるモニタリングで、以下の手段が実用できることを確認した。

- ①標準試料の水分が今までのデータ（通常値）より大きく変動しているときは、カラムが不安定または劣化していることを示しているので、時間を置いて分析を最初からやり直す。
- ②①はクリアしているものの標準試料のばらつ

きが大きい（± 0.02%以上）場合は、カラムが安定するまで放置し、再びこの手順を行う。

3.7 三次元測定技術（プローブ接触式）

当社では三次元測定機を使用し、多種多様な各種部品の計測を行っている。ここでは保有している三次元測定機の概要と部品の測定例を紹介する。

(1) 三次元測定機の概要

当社はライツ社製（ドイツ）とミットヨ社製の三次元測定機を保有している。これらの外観を図 29、図 30 に、装置の概略仕様を以下に示す。

ア. ライツ社製精密三次元測定機

形式： PMM 12106

測定範囲：1200 × 1000 × 600mm (X, Y, Z)

最大指示誤差：1.0 + L / 400μm

(L は測定長 (mm))



図29 ライツ製三次元測定機



図30 ミットヨ製三次元測定機

主な用途：複雑な形状を有する部品の寸法・
形状計測

イ．ミットヨ社製三次元測定機（図 30）

形 式：FALCIO-Apex 7106

測定範囲：705 × 1005 × 605mm (X, Y, Z)

最大指示誤差：1.3 + 3L / 1000μm

(L は測定長 (mm))

主な用途：各種寸法計測及び形状計測

(2) 三次元測定機による測定例

計測部品はジェットエンジン用部品、ターボチャージャー用部品から各種の検査治具まで多種多様で、それぞれの要求に沿った計測を行っている。特に、ジェットエンジン用部品のブレード、ペーン等の翼の形状測定データは設計値との誤差の評価に適用されている。また、各種インペラおよび船用プロペラの計測実績もあり、その他特殊形状の計測にも対応している。

図 31 ～ 図 34 に計測した部品の一例を示す。

社内、社外からの三次元計測データ取得ニーズに対応しており、今後は、CAD 技術との組み合わせにより三次元測定のみならず、形状計測から三次元モデル作成までの技術を実用化したい。

4. 数値解析

当社では検査・計測といったアプローチに加え、発展目覚ましい計算機環境と解析ソフトウェアの充実を背景に、各種の数値解析による研究 / 開発支援も行っている。以下にそれら数値解析業務の概要を紹介する。

4.1 数値解析のメリット

まず数値解析の実例による技術紹介の前に、構造解析や流体解析に代表される数値解析の主な利点を挙げる。

(1) 費用が実験的手法よりも安価

従来、数値解析を行う上で、計算格子生成の

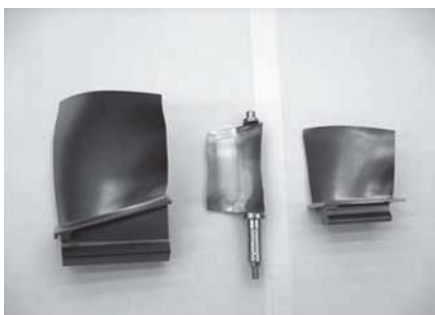


図31 ジェットエンジン用部品



図32 ターボチャージャー用部品



図33 検査治具

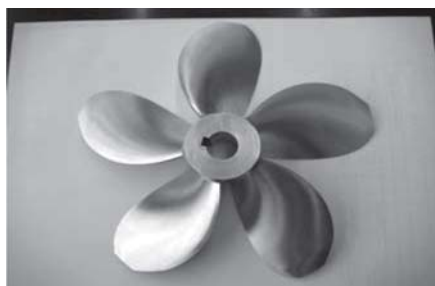


図34 船用プロペラ

ために多大な時間と費用を必要としていたが、昨今の三次元 CAD の浸透に伴って形状データ

の受け渡しが可能になり、また自動格子生成プログラムも整備されてきたことから計算コストが大幅に削減されつつある。一方、実験的なアプローチは専用設備を要するなど、解析的なアプローチに比べ低価格化が図り難いため、数値解析が種々の検討に採用される場面が増えつつある。

(2) 検討スピードが速い

開発・設計スパイラル（各段階の繰り返し）に対応するために類似の対象や条件を多種、検討しなければならない場面も少なくない。このような場合でも数値解析は計算パラメータ変更や解析対象の形状変更で対応できるため、スパイラルの速度を上げることができる。

実験や計測では難しい検討条件にも対応：ジェットエンジン燃焼器内の流れや、原子力容器内の流れといった、実験による再現が不可能な場合や人が近寄れないような対象の検討も可能である。

4.2 構造・振動解析

現在も日進月歩の数値解析技術において構造・振動解析の分野は、その黎明から取り組まれた最古参的分野の一つである。そのため構造・振動解析の汎用ソフトは種々の検証を経て、実用性のあるツールとして他の分野より熟成度は高い。当社でも構造・振動解析を数値解析業務の主力として位置づけ取り組んでいるが、以下に構造・振動解析の一端を三例ほど紹介する。

(1) 船舶の二重底に作用する応力解析

船舶の船底は構造強度を得ることや座礁対策として二重構造をとるものが多い。この二重底が水圧を受けて撓んだ際の部材応力の分布を構造解析で求めた例を図35、36に示す。

(2) 圧延塑性加工における残留応力解析

圧延プレス加工によってタービン翼を塑性成形した際に部材内に残留する応力（残留応力）

を数値解析した例を示す。前例は部材に外力（荷重）を与え、部材がどのように変形し内部応力がどのようになるかを検討した例であるが、本例は部材に所定の変形を与えた場合の応力場を、局所的な塑性歪みを考慮しつつ求めた非線形構造解析の例である。このような検討により部材内に残留し、疲労寿命等に影響を及ぼす残留応力の評価が可能となる。

(3) 過給器ハウジングの振動モードと固有値解析（振動解析）

過給器のような回転機構を伴う製品の設計に際しては、回転機構を起振源とした共振を起こすことがあるため、部材の共振点を把握する必要がある。振動解析は部材形状ならびに寸法と部材物性定数をあたえることでこの固有値や振動モードの机上検討を可能とする技術である。

4.3. 流体解析

主に航空・宇宙分野が牽引車となり70年代以

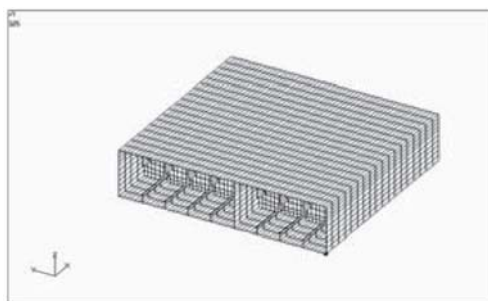


図35 解析格子モデル図（無負荷状態）

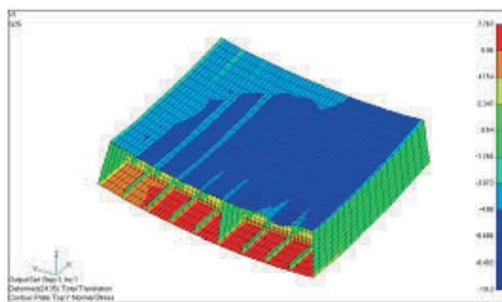


図36 応力分布図（青→赤：応力が高くなる）

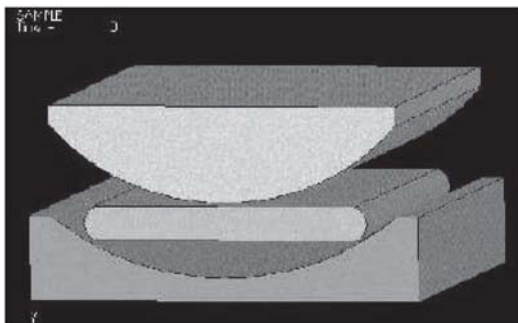


図37 金型に挟まれたタービン素材模式図

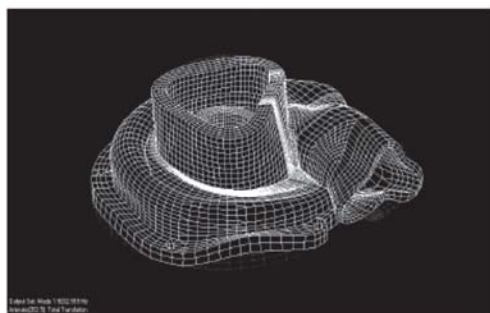


図39 振動モード解析（振動変位を実際より拡大）

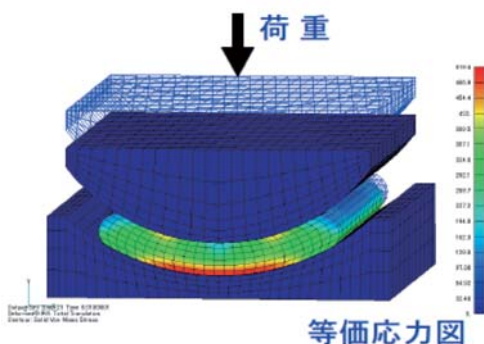


図38 加工部材内の応力分布図

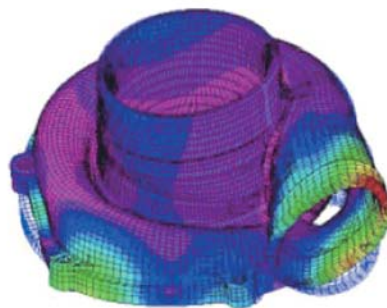


図40 固有値解析（各部の固有値を色分け）

降、急速に研究が進んだ数値流体力学（CFD：Computational Fluid Dynamics）は、同時に汎用の流体解析コードの発展と普及をもたらした。現在では歴史のある風洞・水槽試験といった実験的な流体力学（EFD：Experimental F. D.）に劣らず、むしろ流体現象を解明する上でより身近な手段として流体解析が位置付けられつつある。当社でも汎用ソフトウェアを用い、各種の解析委託業務を請負っているが、ここでは以下の二例を紹介する。

(1) フローパターン・シミュレーション

本例は航空機エンジンを地上テストするための施設の防音壁がエンジンに流れ込む気流に悪影響を及ぼさないかを解析した例である。この例では実機の防音壁に対する流速・流向計測も行われており、計測結果は図41中に赤色の矢印で示してある（黒色は計算結果である）。こ

れらを見ると両者は良く一致している。この検討は様々な風が設備に吹き込む場合の検討といった、実機計測では条件を設定し難い場合に対しても、容易に机上検討を可能としている例である。

(2) 拡散現象解析

図43、44の例は高層ビル群の上流側に排煙設備を設けた場合、周囲の温度変化ならびに排煙の挙動がどのようになるか、といった大気拡散問題を解析した例である。技術的には前例の「フローパターン・シミュレーション」の技術に加え、排煙の温度変化に応じた拡散範囲の膨張速度変化や、排煙が伝える熱変化までもが検討されている例である。このような場合、実物の計測は非常に大掛かりなものとなり、実物ができてしまったあとでは不具合に対する対策が大がかりとなったり困難な場合も少なくない。

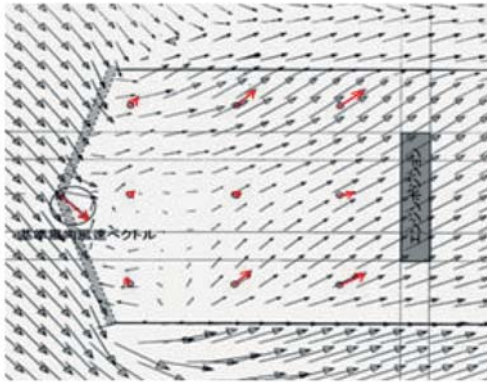


図41 計算結果と計測結果の比較
(黒矢印：計算、赤矢印：計測結果)



図42 実機フィールドテストの様子

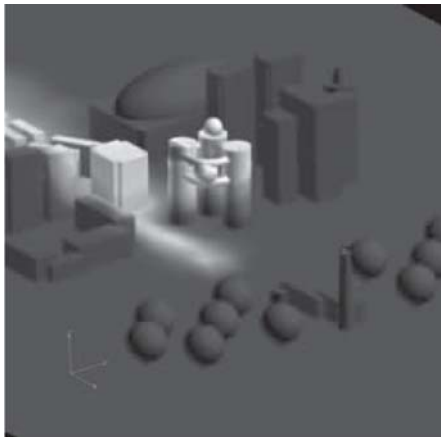


図43 排煙解析 (温度分布)

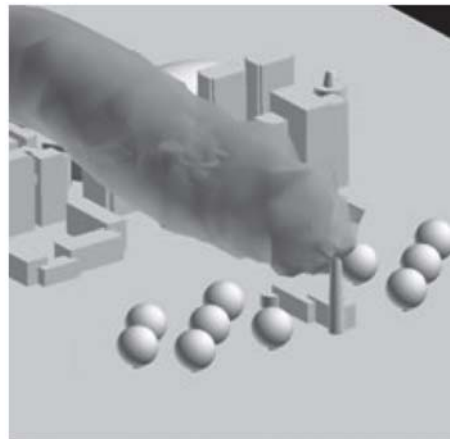


図44 排煙解析 (煙拡散状況)

よって、そのような事態を未然に防ぐ上で、次に述べる大型試験設備を用いた実験と共に、数値シミュレーションは増々、有用な手段となっていく。

以上、当社で行っている数値解析技術の一端を紹介した。当社では、この他にもここでは紹介しきれなかった「熱解析」や「音場解析」にも同様に取り組んでいる。また最近では最新の破壊力学の知見を取り入れた「部材および構造物の健全性解析・評価」にも力を入れており、長年培ってきた検査・計測技術により得られる高精度な「実現象の把握」のみならず、「評価」を提供している。今後は、数値解析技術の付加

価値創生を目指し、診断コンサル業務の益々の強化に努めていく。

5. 大型試験設備紹介

IHIおよび当社は試験風洞、耐震実験場、試験水槽などの大型試験設備を保有し、各種の試験サービスを提供している。これらの大型試験設備ではそのスケールの利点を生かし、実機と同スケールあるいはより実機に近いスケールでの実験を可能としている。当社はこれらの設備を用いた高精度な試験サービスを通し、様々な研究/開発の支援業務を行っているが、以下にこれらの設備の概要を紹介する。

5.1 試験風洞

風洞試験は大型ファンにより風を発生させ、風の流れの中に構造物の模型を置いて模型周りの流れや模型に働く力の状況を調べるものである。大型大気乱流風洞、構造物安定性風洞、温度成層風洞の3種類がある。

(1) 大型大気乱流風洞

発電プラントや化学プラント、LNG貯蔵基地などの建設では、排ガスの大気拡散が周囲の環境にどのような影響を与えるかを事前に予測する環境アセスメントが重要となる。

大型大気乱流風洞では自然風を模擬した流れを再現し、プラント周辺へのガスの大気拡散状況、地形の変化や建物によって生じる大気流れのメカニズム予測に役立てることができる。

(2) 大型温度成層風洞

環境アセスメントを行う上で更に詳細な大気流れのメカニズムを予測する場合、地形や風だけではなく、地面や水面の温度、上空に向かっての大気の温度分布が大きなファクターになる場合がある。図46に示す大型温度成層風洞は、地形の変化や建物によって生じる複雑な大気の流れを模擬するだけでなく、地面や大気の温度分布を模擬した模型実験を行うことのできる国

内で数少ない大型温度成層風洞実験設備である。

(3) 構造物安定性風洞

橋梁・高層ビルをはじめとする土木・建築構造物は、軽量化・長大化の傾向が著しく、このため風の作用に対する安定性が問題なる。耐風工学で問題となる現象には、風圧力による変形・座屈や、風の動的作用によって起きる渦励振動・自励振動、および自然風の乱れ、後流渦に起因する不規則振動などがある。図47に示す構造物安定性風洞は高い風速による風洞実験によりこれらの現象のデータを採取し、空力振動発生メカニズム、構造物断面の空力特性についての詳細な解析を行うことができる。

5.2 耐震実験場

耐震実験場は35トン3次元6自由度大型振動台と反力壁・反力床の2つの大型設備で構成されている。振動台は、高精度に効率的に大規模加振試験を行うことができ、過去に起こった地震データをもとに地震を再現し、大型の構造物や機械の耐震性実証実験を行うこともできる。また反力壁・反力床は油圧ジャッキなどを用いて構造物に静的荷重を加える試験を実施する場合などに有効な設備である。

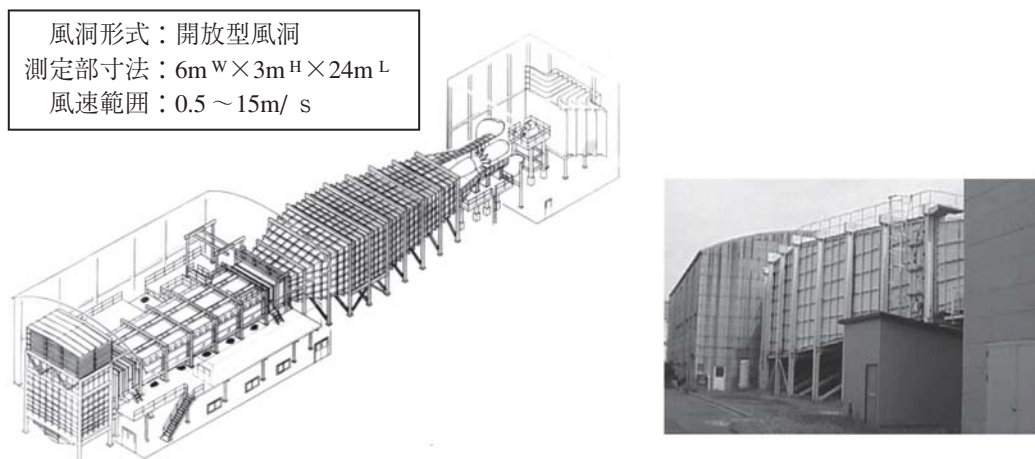
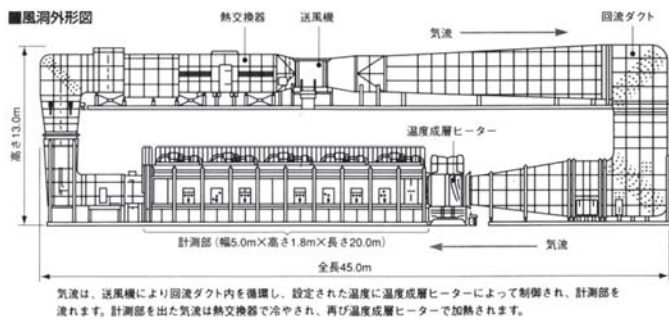


図45 大型大気乱流風洞



風洞形式：回流型風洞
 測定部寸法：1.8m^W×5m^H×20m^L
 風速範囲：0.2～3.0m/s（加熱時）
 0.2～8.0m/s（非加熱時）

図46 大型温度成層風洞

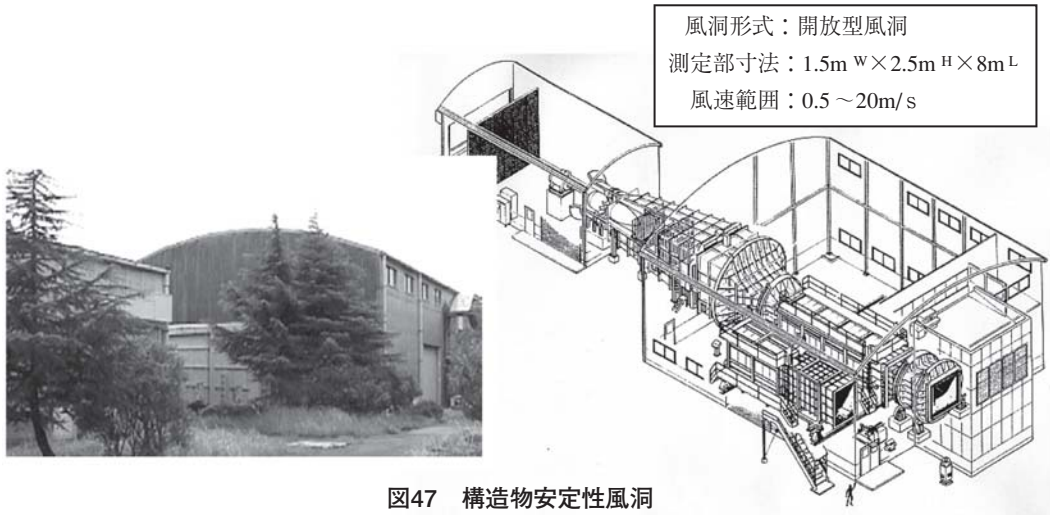


図47 構造物安定性風洞

(1) 35 トン 3 次元 6 自由度大型振動台

表 5 に振動台性能を示す。図 48 に振動台試験実施フローを、図 49 に振動台試験の実施例を示す。振動台は、地震の再現、クレーンなどの産業機械やボイラ、タンクのようなエネルギープラントなどの地震時挙動の把握試験などを実施できる。振動台本体は 4.5m×4.5m の正方形をしており、3 次元（水平 2 方向+上下 1 方向）6 自由度（各方向の並進と回転）の加振が実施可能である。これにより台上に載せた試験体に対して、地震をはじめとする様々な振動環境の模擬が可能となっている。

計測についての設備は、128ch、つまり 128 個のセンサーについて計測し、FFT を主としたデータの処理が行えるシステムを備えている。

(2) 反力壁・反力床

表 6 に反力壁・反力床性能を示す。図 50 に静荷重試験の実施例を示す。反力壁・反力床は頑丈なコンクリートで構成されており、油圧ジャッキ等で構造物に大きな外力を加える場合に、同じ大きさの反力を受け止めることができる。地震時に構造物に作用する慣性力を静的荷重に置き換えて作用させ、構造物の最終強度を確認する試験を行う場合に使用する。

表5 振動台性能

仕様	35ton 3次元6自由度
最大積載質量	35ton
振動台寸法	4.5m × 4.5m
加振方向	3軸同時加振 3軸回り回転加振
最大変位	水平方向：H=±100mm 鉛直方向：V=±67mm
最大速度	水平方向：H=±75cm/s 鉛直方向：V=±67cm/s
最大加速度 (最大積載時)	水平方向：H=±14.7m/s ² (1.5G) 鉛直方向：V=±9.8m/s ² (1.0G)
加振振動数範囲	DC～50Hz
最大転倒モーメント	2.207kN・m (225tonf・m)
最大偏揺モーメント	294kN・m (30tonf・m)
駆動方式	電動-油圧サーボ方式
制御方式	アナログ・デジタル制御



図49 電流遮断器振動試験

表6 反力壁・反力床性能

反力壁寸法 (L字壁)	8m × 8m 8m × 10m
反力床寸法	8m × 10m
許容最大曲げモーメント	3,920 (kN・m/m) 400 (ton・m/m)

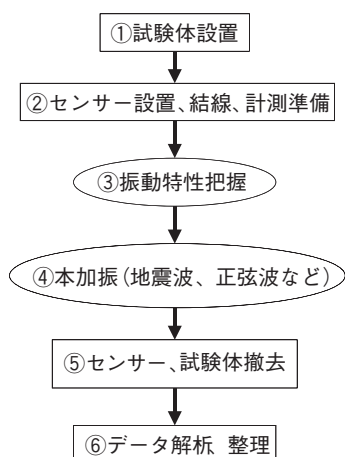


図48 振動台試験の流れ

5.3 試験水槽

(1) 船型試験水槽

船舶の最も重要な性能の一つである、推進性能に関する実験データの取得を目的とした水槽である。図51に水槽ならびに曳引車の概観を、表7に船型試験水槽の寸法/仕様を示す。船舶の推進性能を評価するためには、船体に作用する水の抵抗やプロペラ等の推進器の性能、ならびに両者の流体力学的な干渉による効率変化を

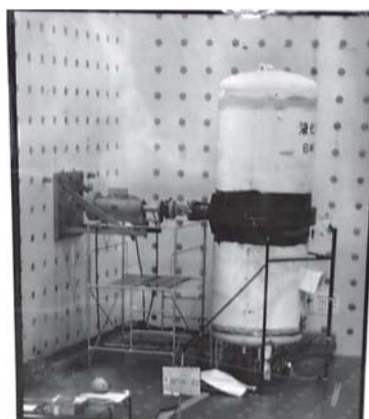


図50 LNGタンク静荷重試験

把握する必要がある。船型試験水槽はこれらの諸量を、船体やプロペラの相似模型を用いて水槽内で曳引車で牽引したり自走させたりして、



図51 船型試験水槽と曳引車

表7 船型試験水槽と曳引車の寸法/仕様

水槽寸法 長さ	長さ210m × 幅10m × 高さ5m
造波性能	最大波高50cm、最大波長12m
曳引車速度	0.2～12m/s (乗車運転のみならず 制御室より遠隔操作可能)

実験的に計測するための水槽である。図52には造波装置の概観を示すが、水槽の端に設置されたこの造波装置により実海域を模擬した波を発生させ、平水中のみならず波浪中の性能計測も可能としている。

(2) 運動性能水槽

船舶の運動性能を実験的に測るための水槽である。船舶は運搬機器として停止、転針するといった操縦性能、乗り心地や荷崩れを左右する

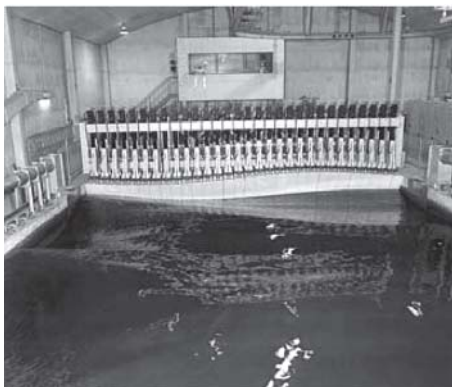


図52 造波装置

動揺性能も大切であって、運動性能水槽はこれらの性能を相似模型を用いて計測できる設備である。船型試験水槽が専ら推進性能を計測するために非常に長い水槽になっているのに対し、模型に平面運動をさせる必要から運動性能水槽は水泳用プールのような広い水槽となっている。図53に運動性能水槽の概観を、図54に波浪中で動揺している船体模型の状況を、そして表8に寸法等の仕様を示す。

(3) キャビテーション水槽

船舶や海洋構造物の推進機となるプロペラ等のキャビテーション発生状況を水槽内に再現

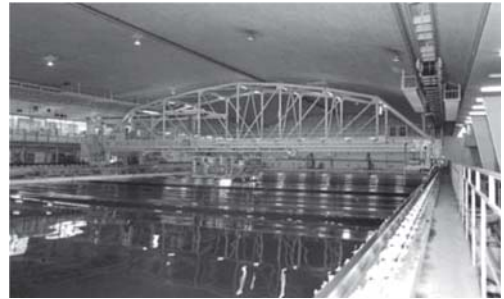


図53 運動性能水槽概観

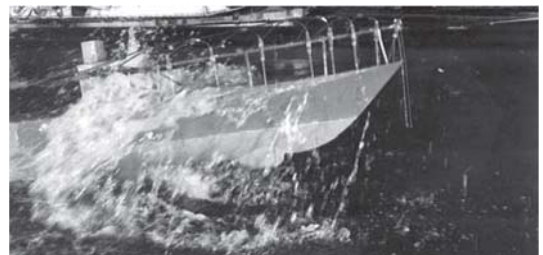


図54 波浪中で動揺する船体模型

表8 運動性能水槽の仕様/寸法

水槽寸法	長さ70m × 幅30m × 水深3m
主曳引車と副曳引車の組合せによりあらゆる平面運動に対応	
造波装置	水槽2辺に装備



図55 キャビテーション水槽（観測胴部）

し、キャビテーション性能を検討するための水槽である。密閉されたリング状の回流型水槽で、水槽内の水圧と流速ならびに模型プロペラ駆動回転数を制御することにより、実機プロペラの作動状況を流体力学的に一致させることが可能な仕様となっている。図55にキャビテーション観測胴部のみ概観を示す。この観測胴は試験場建屋の二階に位置するがこの水路は建屋地下まで伸び、水を循環できるよう閉じたリング状になっている。また水槽内の減圧が可能なように密閉構造となっている。

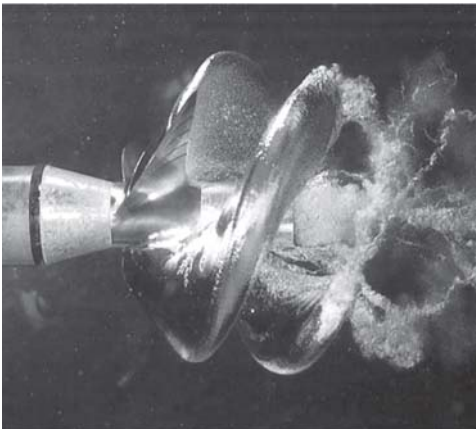


図56 キャビテーション発生例

6. まとめ

当社が保有し、研究・開発過程で活用できる高温環境下での応力計測、分光分析技術、三次元測定等の計測技術、各種大型試験設備を紹介すると共に金属材料や接合技術に関する当社の技術動向についても紹介した。

当社の研究開発支援部門は、IHIの技術開発研究組織の一部を母体として発足した組織であり、広汎な理論的バックグラウンドにサポートされる頭脳を持った部門である。

また、設備面でも各種の試験風洞、耐震実験場、各種試験水槽等の充実した大型試験設備を保有し、これらを活用して研究・開発活動を支援している。

今後とも検査・計測技術、各種解析技術の研鑽を怠ることなく、より高度な技術を迅速に適用し、各分野の研究支援活動のニーズに対応していく所存である。

文責

研究開発事業部 試験・解析技術部 部長
三船 正純
計測事業部 技師長 技術士（機械部門）
三上 隆男
西日本事業部 相生事業所
試験分析グループ 掘永 和男

参考文献

- 1) 村田, 中村, 田中 IHI 技報 Vol46No.3 (2006-9 P101 ~ P108)
- 2) 満岡, 小林, 小見 IHI 技報 Vol44No.4 (2004-7 P251 ~ P253)
- 3) 三上, 松田, “センサ溶射技術”, IIC REVIEW/2004/10. No.32, p40 ~ p44
- 4) 軽部, 長坂, “デジタルカメラによる三次元形

- 状計測技術”, IIC REVIEW/2003/10. No.30, p24 ~ p28
- 5) 山崎, 杉本, 遠山 “PIV (粒子画像流速測定法による流れ計測”, IIC REVIEW/2004/4. No.31, p40 ~ p46
 - 6) 三上, “ターボ機械の翼振動 (その1: 翼振動のメカニズム)”, IIC REVIEW/2005/4. No.33, p12 ~ p18
 - 7) 三上, “ターボ機械の翼振動 (その2: 翼振動計測)”, IIC REVIEW/2005/10. No.34, p19 ~ p25
 - 8) 三上, “ターボ機械の翼振動 (その3: 非接触翼振動計測システム)”, IIC REVIEW/2006/4. No.35, p22 ~ p27
 - 9) 倉田, 戸田, “ケモメトリックス手法を用いた近赤外線小型分光器によるコンクリート診断装置開発”, IIC REVIEW/2008/4. No.39, p36 ~ p42
 - 10) 村本, 成相, 大原, 鎌田, 化学工学会 第38回秋季大会, P318, 福岡, 2006
 - 11) H. Kamata et al., J. Mol. Catal. 189, 139 (1999).
 - 12) 堀永和男: 「ヒドラジン純度分析の精度アップのためのカラム劣化調査の検討」 IIC REVIEW/2000/4. No.23, p30 ~ p35
 - 13) 山崎, 菅原, “風環境風洞試験”, IIC REVIEW / 2002/4. No.27, p48 ~ 53
 - 14) 中村, “橋梁主塔の風洞試験~空力的制振対策の検討”, IIC REVIEW / 2002/10. No.28, p39 ~ 42