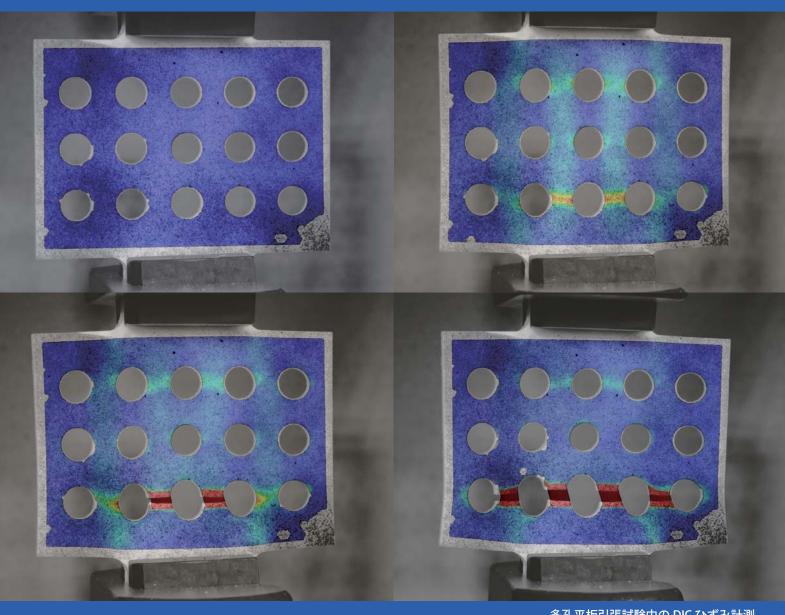
TECHNORIDGE

2017 316



多孔平板引張試験中の DIC ひずみ計測

特集

非破壊試験機器を活用した 安心・安全・低コストなものづくりを目指して

和歌山県工業技術センター http://www.wakayama-kg.jp/



TECHNORIDGE

2017 316



「きず」と「傷」の違い

非破壊試験で見つけ出すものをひらがなで「き ず」と表現します。これは、漢字の「傷」とい う言葉には、製品の中にあってはならないとい うニュアンスがありますが、非破壊試験で検出 するもの全てがあってはならない有害なものと は限らないためです。そこで、すこしソフトな 表現としてひらがなの「きず」を使います。

目次

巻頭言	•••••	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	•••••	2
産業用X	線 CT を	利用した	非破壊討			•••••	3
超音波探	陽を利用	用した非確	波壊試験	•••••		•••••	4
近赤外偏	光を利用	用した食品	品中の異物	物検出技術	うの開発	•••••	6
デジタル	画像相	関法を利用	用した変形	形計測 …		•••••	7
省エネケ	野におり	ナる熱画値	象計測装置	置の活用			8

センターの取組を紹介します

編集担当

上森 大誠

「非破壊試験」という試験をご存知でしょうか。非破壊試験は、地味で目立たないた め、今はじめてこのような試験があったことを知ったという人も多いのではないでしょう か。非破壊試験とは、素材や製品を破壊せずに、「きず」の有無・その存在位置・大き さ・形状・分布状態などを調べる試験のことをいい、表1に示すように大別されます。

非破壊試験は、安心・安全な社会の実現や確保に貢献しています。私達の身の回りに は、道路、鉄道、空港といった産業基盤となる社会インフラがあります。社会インフラに は、私達の暮らしを支え、地域の経済活動を活発にする役割があるため、適切な保全管理 を行うことで、可能な限り長期間に渡って安心・安全に使用することが求められます。そ こで、社会インフラでは、保守点検で非破壊試験を行い、外部からは見えない内部の「き ず」や腐食などを調べながら保守・補修を行うことで、長寿命化を図っています。また、 工業製品の加工工程や完成時の製品の検査、加えて食品内の異物混入検査にも非破壊試験 が利用されており、製品の信頼性向上や食品の品質管理にも役立っています。

以上の背景より、当センターでは、非破壊試験の重要性が今後ますます高まると考え、 近年、非破壊試験に関連した機器の更新や新規導入、技術開発を行っています。そこで、 本号では、「非破壊試験機器を活用した安心・安全・低コストなものづくりを目指して」 と題し、非破壊試験に関連した当センターの取組を紹介します。具体的には、まず、非破 壊試験が安心・安全なものづくりを支えるという観点から、産業用X線CT(P.3)、超音 波探傷(P.4、5)を用いた試料内部の「きず」検出技術について紹介します。また、当セ ンターで開発した技術である近赤外偏光を利用した異物検出技術 (P.6) について紹介し ます。続いて、非破壊試験機器を活用して低コストなものづくりを目指すという観点か ら、当センターで取り組んでいる技術開発の事例として、非接触三次元変位変形システム を用いてCAE(シミュレーション技術)の精度を高めることで開発コストの低減を目指し た取組(P.7)、熱画像計測装置を用いてエネルギー管理を行うことで工場設備の改善に よる製造原価の低減を目指した取組 (P.8) について紹介します。

表 1 代表的な非破壊試験(*赤色は、本号で取り上げる項目)

分類	試験方法·検出方法	利用する原理	当センターの対応機器	
	目視試験	光学、色彩学	顕微鏡	
試料表面、あるいは表	浸透探傷試験	元子、巴杉子	-	
面近傍の「きず」を検出	磁粉探傷試験	電磁気	-	
	渦電流探傷試験	电燃风	-	
試料内部の「きず」	放射線透過試験	放射線	産業用X線CT (TECHNORIDGE310号にて紹介)	
を検出	超音波探傷試験	音響	フェイズドアレイ超音波探傷装置 (TECHNORIDGE309号にて紹介)	
	近赤外	光学	近赤外異物検出装置 (特開2016-099227、特開2016-105084)	
その他	ひずみ測定	光学、電気·電子	非接触三次元変位変形計測システム (TECHNORIDGE313号にて紹介)	
	サーモグラフィ試験	熱学、光学	熱画像計測装置	

産業用×線CTを利用した非破壊試験

機械産業部 花坂 寿章

はじめに

産業用 X線 CT (以下、「X線 CT」と表記)は、物体に全周方向から X線を照射し、その投影データを収集、再構成処理することにより内部情報を画像化します。 X線が物体を透過することで画像を得るため、複雑な形状をした物体でも比較的容易に内部構造を観察することができます。特に、外観からは見ることができない内部の「きず」を可視化できるため、欠陥の大きさや形状などを調べるのに適しています。図1は、X線 CT を用いて内部構造を可視化した画像です。これは、石膏像を撮影したもので、内部には気泡(ボイド)があることが分かります。また、この画像より、ボイドの大きさや形状、位置関係なども確認することができます。本稿では、当センターにおける X線 CT の撮影事例や撮影データの活用例について紹介します。

X線CTの撮影事例

当センターが保有する X線 CT は、物体を切断したような断面画像が得られるのが特徴です。内部の状態が画像で写し出されるため、視覚的にイメージしやすく、効率よく検査、解析を行うことができます。また、図1のような断面画像を複数枚撮影し、再構成することで、図2(A)に示すような三次元画像を作製することもできます。作製した三次元画像は、いろいろな角度、方向から自由に観察できるため、検査者が一番観察したい断面を見ることができます。このことから、非破壊で内部を観察する手段としては、X線 CT による断面画像の観察が最も有効であると考えています。しかし、X線 CT には、材質、大きさの面で制約があるため、すべての物体を観察できるわけではありません。また、「きず」の内容によっても撮影手段の選択が必要となってきます。

撮影データの活用例

X線 CT で撮影した画像データは、検査用途だけでなく、解析用途にも活用することができます。図2は、アルミダイカスト製品を撮影して得られた複数の断面画像データから三次元画像化し、寸法測定と空洞の欠陥解析を行った事例です。(B)では、設計値どおりに製品が製作されているかどうかの検証のため、画像データをもとにして製品形状の寸法測定を行っています。また、(C)では、製品内の空洞の分布状況を把握するため、アルミダイカスト製品内の空洞の体積などを求め、その結果を表示しています。空洞の大きさや分布状況は製品強度に影響するため、このような画像は鋳造方案などの検討に役立てられています。さらに、画像データの活用用途には、3D プリンタなどへの展開があります。例えば、三次元画像データをもとに STL データ(三次元形状データ)

を出力すれば、3D プリンタで実体モデルを作製することが可能となります。X線 CT は外観形状のデータだけでなく、内部形状のデータも同時に得ることができるため、製品を破壊せずに三次元形状データを作製することができます。よって、工芸品や文化財などのレプリカの作製への利用が進んでいます。

おわりに

物体を破壊することなく内部の形状情報を得ることができるX線 CT は、安心・安全を確保するためのツールとして、今後ますます活用の場が広がると考えています。また、品質管理だけでなく、製品開発などにも活用することができることから、今後、様々な業界のものづくりに大きな効果をもたらすと考えています。

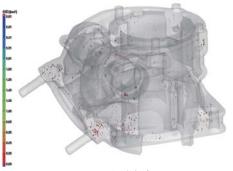


図1 石膏像の断面画像



(A) 三次元画像

(B) 寸法測定



(C)欠陥解析 図2 アルミダイカスト製品の解析

超音波探傷を利用した非破壊試験

電子・材料産業部 徳本 真一

はじめに

非破壊試験の中に超音波探傷というものがあります。 前頁で述べたX線 CT はX線を対象物内部に入射し内部 データを取得しますが、超音波探傷は名前の通り、超 音波を対象物内部に入射し内部データを取得します。X 線 CT はボイドのような球状欠陥の検出を得意とします が、超音波探傷は割れ(クラック)のような線状また は面状欠陥の検出を得意としています。

本稿では、非破壊検査の一つである超音波探傷についての解説と、医療用の超音波エコー診断装置のように、探傷結果を画像で評価することで、「きず」の位置や大きさ、形状の推定を容易とした当センター保有のフェイズドアレイ超音波探傷装置について紹介します。

超音波とは

一般的に、超音波とは、人間の耳には聞こえない程高い振動数(周波数)を持つ振動波を指します。この定義から言えば、20kHz 以上が超音波となるのですが、非破壊検査における超音波探傷はそれよりも高く、1 MHz ~ 10 数 MHz の振動数の音波を用います。医療用のエコー検査も超音波を用いており、同様の振動数帯域で検査を行っています。また、超音波顕微鏡と呼ばれる検査装置では、さらに高い振動数の超音波が用いられており、100MHz 以上となります。

超音波は、検査だけでなく、様々な用途で利用されています。例えば、超音波洗浄機は、非常に高い振動数で液体を揺らすことにより、ごみや汚れを剥離させることができます。また、卵などのフードパックを綴じる際にも、超音波による溶着が広く利用されています。これは、溶着する2枚のつばの部分に超音波の振動を与え、境界面に摩擦熱を発生させることで溶着を行っています。

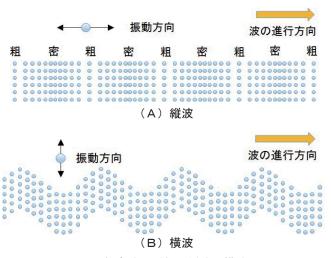


図1 超音波の種類(縦波、横波)

超音波の種類

図1に示すように、超音波探傷に用いる超音波の種類を大きく分けると、縦波と横波があります。波とはここでは音波を示します。図1(A)のように、媒質の振動が波の進行方向と同じ縦方向に起こる波のこと縦波といいます。一方、(B)のように媒質の振動が波の進行方向と直角の横方向に起こる波のこと横波と呼びます。固体中では縦波も横波も発生することができますが、液体中では横波は発生しません。超音波探傷では状況によって、それぞれの波を利用します。

超音波探傷装置による非破壊試験

超音波の反射エコーを利用した探傷の場合、図2に 示すように検査したい対象の物体に探触子から超音波 パルスを入射します。入射した超音波は、「きず」など において反射し、反射エコーとして探触子に返ってき ます。反射エコーが返ってくる時間によって、「きず」 までの距離がわかります。また、反射エコー高さによっ て「きず」の大きさや形状などがある程度確認できます。 超音波探触子から探傷面に垂直に超音波を入射して探 傷する場合は、超音波は縦波を利用する垂直探触子を 用います。また、探傷面に斜めに入射して探傷する場 合は、横波を利用する斜角探触子を用います。一般的 に垂直探触子で縦波を用いた探傷を行う場合、探傷装 置の画面は図2に示すAスコープと呼ばれる形で表示 されます。グラフにおいて、横軸は時間軸、縦軸は入 力した超音波パルスのエコー高さ(戻ってくる超音波 の強さ)を示しています。超音波探傷では、送信器と 受信器を別々の探触子で行う方法もありますが、本稿 では、一つの探触子で超音波の発信と受信を行う方法 について説明します。

例えば、垂直探触子で内部に割れのような「きず」を探傷する場合を図3に示します。(A)、(B) で比較すれば、「きず」の大きさが異なれば返ってくるエコー高さも異なることが分かります。また、(A)、(C) で

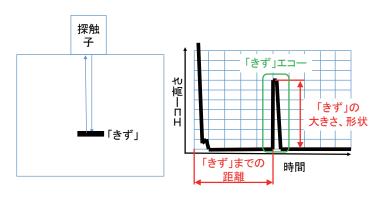


図2 垂直探傷の超音波探傷装置の画面(Aスコープ)

比較すれば、「きず」の角度によって反射して返ってく る超音波の角度も変わるため、角度の違いによってエ コー高さが大きく異なることも分かります。以上より、 垂直探傷の場合、「きず」に対して超音波を垂直に当て た場合に最もエコー高さが大きくなるため、探触子を 当てる方向が重要になります。

フェイズドアレイ超音波探傷装置

従来の超音波探傷装置では単一の振動子をもつ探触 子で探傷を行っていましたが、フェイズドアレイ探傷 装置では複数の振動子をもつ探触子を用いて探傷を行 います。これにより、それぞれの振動子を電子的に制 御することによって、超音波を任意の位置に収束させ たり、任意の方向に超音波を伝播させることが可能と なり、「きず」の位置や寸法精度の向上が期待できます。 (図4参照)

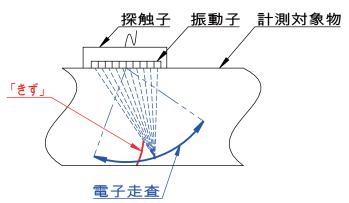
フェイズドアレイ超音波探傷装置による計測事例を 図5に示します。これは、(A) に示すような丸穴をあ けた鋼材に対して探傷計測を行った事例です。フェイ ズドアレイ超音波探傷装置では、(A) のように探触子 を固定しても、(B) に示すような広範囲にわたる画像 を一度に得ることができ、丸穴がどの位置にあるかを 直感的に確認することができます。(B)の画像をみて、 超音波エコー診断装置を思い出した方もいるかと思い ますが、フェイズドアレイ法は、そもそも医学の方面 で進歩した技術を工業面に応用した方法であるため、 類似した画像が得られます。

図5に示した探傷計測を従来までの単一素子を用い た探傷装置で行ったとすれば、図2、3のようにAス コープの波形しか得られない、すなわち(B)のよう な画像が得られないため、オペレータがAスコープの 波形から丸穴の位置を判断しなければなりません。さ らに、(B) に示したような広範囲な計測を行うために は、探触子を移動させながらそれぞれの位置における Aスコープの波形を取得しなければなりません。すな わち、フェイズドアレイ超音波探傷装置を用いて探傷

探触 探触 探触 (A) (B) (C)「きず」の向きや大きさによるエコー高さの違い を行うことにより、短時間で広範囲の探傷ができ、か つ試料の内部状態を画像化できることから、容易に「き ず」の判定をすることが可能になります。

おわりに

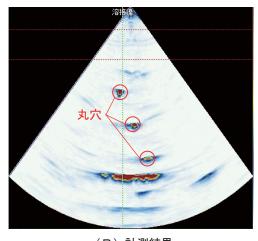
本稿では、超音波や従来の超音波探傷装置の解説、 当センターが保有するフェイズドアレイ超音波探傷装 置の計測事例の紹介により、超音波探傷を利用した非 破壊試験について述べました。本稿を読んでフェイズ ドアレイ超音波探傷装置を利用した非破壊試験に興味 をもたれた方は、ぜひ当センターまでご連絡ください。



フェイズドアレイ超音波探傷法



(A) 計測概要



(B) 計測結果 図5 フェイズドアレイ超音波探傷装置による計測

近赤外偏光を利用した食品中の異物検出技術の開発

電子・材料産業部 智博 森

はじめに

近年、食品中における異物混入は、業界の信頼を大 きく揺るがす問題として取り上げられており、その対 策としての異物検出技術へのニーズが高くなっていま す。混入異物の中で、毛髪、プラスチック片、昆虫な どの有機性異物は、混入頻度が高いにも関わらず、食 品との密度差が小さいために、従来の金属探知機やX 線による透過観察では検出が難しいと言われています。 このような食品中に混入した有機性異物を発見する手 段として、「近赤外光」の利用に注目が集まっています。 当センターでは、近赤外光を利用し、従来よりも高感 度な検出技術を開発しましたので、この技術について 紹介します。

近赤外偏光を利用した検出技術

近赤外光は、水分による吸収が少なく、食品に対す る透過性が良いことから、非破壊・非接触で検査対象 物内部の情報を得ることができます。当センターが開 発した近赤外光による検出技術は、図1に示すように、 検査対象物を挟んで上下に、発光部と受光部を配置し た透過型の光学系で構成されます。発光部には、波長 選択性があり、レーザー光源に比べ安価な発光ダイオー ド (LED) を採用し、受光部には、高感度 CMOS カメラ を用いています。本技術では、検査対象物内部の異物 のみを検出するために、偏光フィルターを2枚配置し ています。偏光フィルターの役割は、散乱によって偏 光解消された光を低減することにあります。検査対象 物と異物の偏光解消の違いを検出することで、両者の 差異が強調された画像を得ることができます。さらに 適切な画像処理を行うことで、検査対象物の形状や模 様などに由来する光学的に不均一な部分を取り除いて、 異物のみを鮮明に映し出すことが可能になります1),2)。

異物検出の例

例として、図2に果肉入りゼリーに混入した異物(ゴ ム手袋の破片)の検出結果を示します。目視では、異 物は見えませんが、上下の偏光フィルターの透過方向 が平行になるように配置(図2(B):平行画像)すると、 異物となるゴム手袋の破片やゼリーの表面凹凸や果肉 による光学的に不均一な部分が鮮明に撮像されている ことが分かります。一方で、上下の偏光フィルターの 透過方向が直交になるように配置にした場合(図2 (C): 直交画像)は、全体的に暗くなりますが、検査 対象物内の光学的に不均一な部分の情報を得ることが できます。最後に、得られた平行画像と直交画像を使っ て、差分処理やノイズ除去などの画像処理を施すこと で、図2(D)の処理画像のように、光学的に不均一な 部分を取り除いて、異物のみを検出することが可能に なります。本技術は、形状や模様が変わるような不均 一な部分を有する対象物に効果が見込め、従来技術よ り高感度な異物検出を実現できます。

おわりに

本技術は、果肉入りゼリーに限定されることなく、 様々な食品に応用展開することが可能です。また、印 字された容器包装など、一部の工業製品においても効 果を確認できています。一視野の測定を数秒で出来る ことから、現在は生産現場で使用する自動検出装置の 開発を県内企業、大学との産学官連携で進めています。

[参考文献]

- 1) 和歌山県他. 画像生成装置. 特開2016-099227.
- 2) 和歌山県他. 食品検査装置. 特開2016-105084.

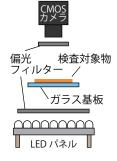
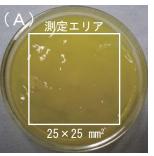
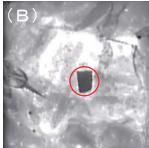


図1 光学系





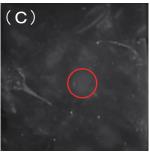




図2 果肉入りゼリー中の異物検出(赤丸内が異物のゴム片) (A) 生画像、(B) 平行画像、(C) 直交画像、(D) 処理画像

デジタル画像相関法を利用した変形計測

機械産業部 上森 大誠

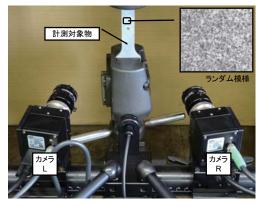
はじめに

橋梁やトンネルなど高度経済成長期に作られた多く の構造物が、今後 20 年以内に耐用年数を迎えることに なり、その健全性をどのように評価するかが問題になっ ています。構造物の健全性を評価するためには、構造 物の変形を調べる必要があり、代表的な方法として、 デジタル画像相関法 (Digital Imaging Correlation: DIC) を利用した方法があります。本稿では、DIC の概 要について述べるとともに DIC の計測事例について紹 介します。

DICを利用した変形計測

構造物に力を加えていくと変形が大きくなっていき、 やがて破壊に至ることから、構造物の破壊を予測する ために変形を調べます。変形を調べる方法には、力を 加えたときに物体の各点が動いた量(変位)を調べる 方法と元の長さに対してその物体が伸びた割合(ひず み)を調べる方法があります。また、一点の変形を調 べる一点計測法と、着目している範囲全体の分布を調 べる分布計測法があります。一点計測法は、最大変位 や最大ひずみが起こる場所のように計測したい場所が 事前に決まっている場合に有効であり、その場所の一 点だけをひずみゲージのような一点計測センサを利用 することで高速に計測することができます。しかし、 最大になる場所が分からない場合には、一点計測では 不十分であるため、DIC のように画像を用いた分布計測 法が有効になります。

DIC とは、計測対象物表面の模様のランダム性を基に して、変形前後の計測物表面をカメラで撮影したデジ タル画像を数値解析することにより、計測範囲全体の 変位・ひずみ分布を非接触かつ高精度で求める手法の ことをいいます(図1)。非接触のため、従来のひずみ ゲージでは計測することが難しかった三次元的な変位・ ひずみの分布の取得や、ひずみゲージでは計測できな かった回転体や移動を伴う対象の計測を行えます。



DICの計測事例

DIC の計測事例として、3D プリンタで製作した中 央切欠き円孔平板(図2)の引張試験を行ったときの 引張方向のひずみ分布の計測結果を示します(図3)。 図のように、計測結果をコンター図で表示できるのが DIC の一つの特徴です。コンター図とは、同じひずみの 結果を同色で表示させた図のことです。図3より、変 形前は丸孔であったものが、引張力Fを加えていくと 楕円孔に変形し、破壊に至っている様子が分かります。 また、変形により孔先端のひずみが大きく(赤く)なっ ていることが分かり、この部分を起点として破壊が起 こっていることも分かります。よって、孔を有する構 造物や部品を設計するときには、孔先端のひずみを正 確に評価する必要があります。

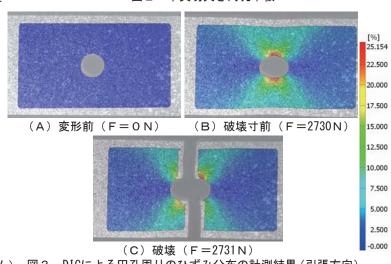
おわりに

本稿では、DIC の概要とその計測事例を紹介させてい ただきましたが、当センターでは、CAE*の活用により 高品質な製品を短期間かつ低コストで開発することを 目的とし、DICと CAE を融合させたものづくりに関する 研究を行っています。具体的には、DICで計測した変位・ ひずみの分布から CAE の境界条件を見極め、実験(計測) 結果と CAE の解析結果とを比較することで、CAE の妥当 性を検証し、解析精度の向上を目指しています。

*CAE (Computer Aided Engineering) …コンピュータ 上で仮想試験を行い、製品性能を評価するシミュレー ション技術 (TECHNORIDGE 307, 308, 313 号にて詳述)



図2 中央切欠き円孔平板



DICによる変形計測(非接触三次元変位変形計測システム) 図3 DICによる円孔周りのひずみ分布の計測結果(引張方向)

省エネ分野における熱画像計測装置の活用

生活・環境産業部 宮本 昌幸

はじめに

熱画像計測とは、物体が放出する赤外線を光学系で結像させたのち赤外線検出素子で検出し、温度分布を画像として表示させる計測方法です。その特長は、非接触の計測方式であり対象物から離れた遠隔からも計測可能であることです。計測結果は、リアルタイムかつ視覚的に確認することができます。

TECHNORIDGE299号の「温度分布を可視化する」では、熱画像計測装置の原理と材料試験及び電源回路動作時の熱画像計測例を紹介しました。本稿では、熱管理分野の省エネにおける熱画像計測の活用例について紹介します。

蒸気設備の表面温度計測

蒸気は、様々な製造現場にて最も多く利用されている熱源です。蒸気設備の表面温度計測は、設備の正常動作確認、装置から放出される熱損失計算など設備の省エネ対策を行っていくうえで有用です。熱画像計測では、温度計や熱電対を直接接触させることができない対象物(例えば、天井に設置している蒸気配管や常に回転している羽根車のような回転体)でも、表面温度を測定することができます。得られた計測結果は、装置全体の温度分布として確認できます。

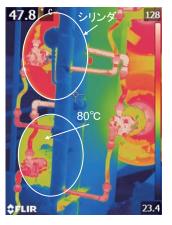
図1は、シリンダ乾燥機の熱画像です。シリンダ 乾燥機とは、金属製で円筒状のシリンダ内を蒸気で 満たして加熱させ、常時回転しているシリンダ表面 に湿潤した布帛などを密着させて乾燥させる装置で す。図1 (A) で矢印で示したシリンダの表面温度 は、他のシリンダよりも低い80℃を示しています。 温度が低いシリンダの内部を模式図で示します。シ リンダ内部の蒸気はシリンダ管壁を通じて外部に熱 を放出するとき、ドレンと呼ばれる凝縮水に変わり ます。系外に排出されず滞留したドレンは、シリン ダ内部の管壁側に液膜を形成してしまいます。液膜 は、シリンダ内部から表面への熱移動を阻害し、シ リンダの表面温度を下げています。この表面温度の 低下は、乾燥機の乾燥効率の低下につながり、ドレ ンを迅速に排出させることが必要となります。この ように、熱画像計測は、装置の異常を発見するツー ルとして活用できます。

熱画像計測を基にした省エネ効果の確認

蒸気配管を保温断熱することは、蒸気プロセスの 省エネに大きく寄与すると言われています。蒸気配 管の省エネ効果は、保温の有無による熱損失の差か ら確認できます。熱損失の計算には、配管及び保温 材のサイズ、熱伝導率などのカタログデータととも に、表面温度の測定データが必要となります。図2 は、室温10℃の工場内における鋼製蒸気配管とレ ギュレータ部分の熱画像です。図より、保温されて いない部分の表面温度は130℃、保温材にて保温され ている部分は35℃と読み取れます。これより、未保 温の配管の熱損失は約600W/m、保温した配管の熱 損失は約50W/mと計算することができます。熱損失 の差約550W/mは、エネルギー削減量つまり燃料削 減量に換算できます。これより、配管を1m保温し たとすれば、24時間運転したときの燃料(A重油) 削減量は約1.2Lとなります。

おわりに

製造現場での省エネによるコスト削減は、企業の 利益向上に直接つながります。工業技術センターで は、熱画像計測装置を活用した技術指導を通じて、 企業の省エネ対策を支援していますので、どうぞご 相談ください。



蒸気シリンダ管壁

(A)熱画像

(B) シリンダ内部の模式図

図1 シリンダー乾燥機

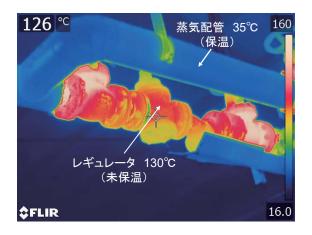


図2 蒸気配管およびレギュレータの熱画像

WINTEC TECHNORIDGE 316 (2017)