

空と宙

2012 NOV/DEC
<http://www.ard.jaxa.jp/>

隔月刊発行 ISSN 1349-5577

研究開発

お手軽、使える、ひずみ計測システム開発中
「CMOS インバータ発振回路式ひずみ計測システム」の研究開発

水素燃料実現のカギとなるか
画像処理による複合材料積層板の損傷検知に関する研究

設備紹介

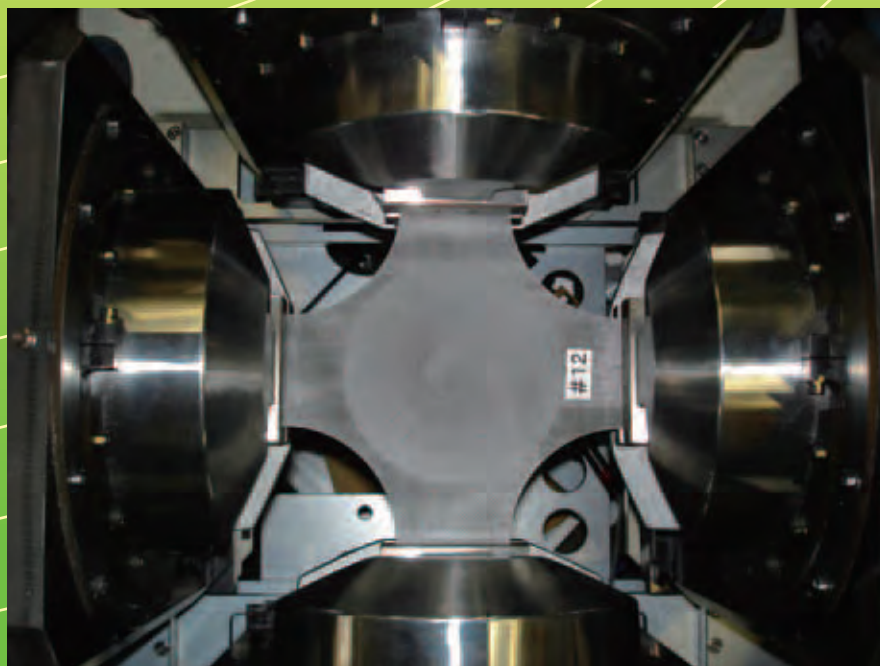
2軸疲労試験設備

横路散歩

ひずみ計測システム

空宙情報

「Hoshi」国際宇宙ステーションから
世界で初めて回収された新種の地球外物質
「平成24年度 JAXA 宇宙航空技術研究発表会」開催案内



CFRP に対する 2 軸疲労試験の様子 (P.06 参照)

No. **50**

研究開発本部
Aerospace Research and Development Directorate

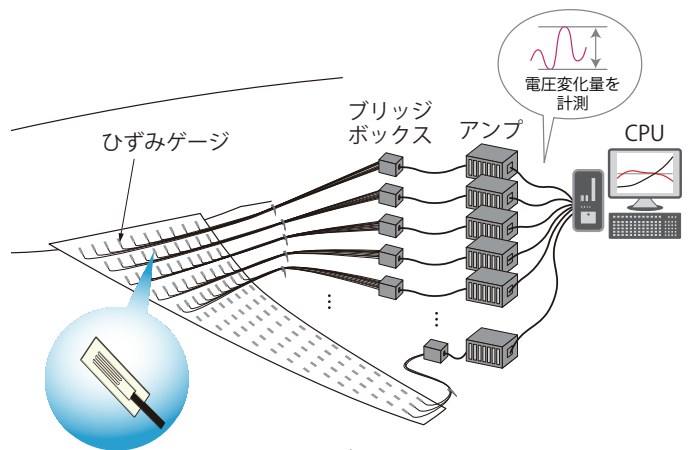
お手軽、使える、ひずみ計測システム開発中

手軽に使えるひずみ計測システムが欲しい

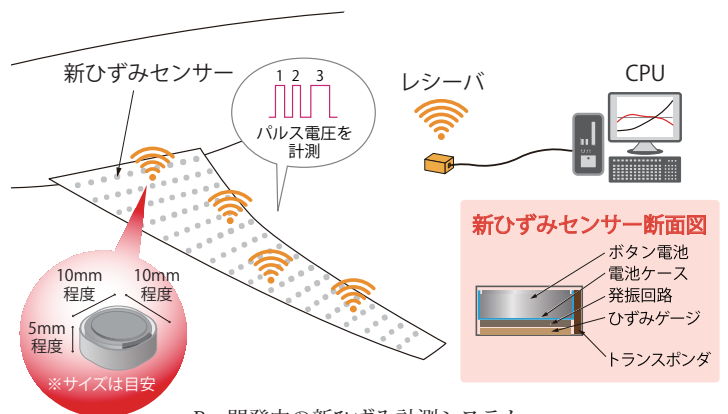
航空機の構造は、揚力や抗力といった空気力、推力、自重に加え、与圧荷重などの大きな力を受け持ちます。これらの力に耐えられる強度と剛性を確保しながら、一方で軽く造らなければなりません。このぎりぎりの設計を実現するために、どのくらいの力をかけるとどのくらい構造が変形するかを知ることが大変重要になってきます。この変形の割合を「ひずみ」と言います。ひずみは数値解析でも求めることが可能ですが、数値解析が正しいかどうかを試験で確かめることも必要なため、機体開発時にはひずみの計測が欠かせません。

ひずみ計測では、ひずみを電気抵抗の変化量に置き換えて計測する「ひずみセンサー (P.07参照)」を使った計測システムが一般的です (図1A)。この計測システムで計測できるのはひずみゲージを貼り付けた部分のひずみだけなので、機体全体はもとより翼だけでも、くまなく計測しようとするひずみゲージと回路をつなぐ膨大な数のリード線が必要となり、各種機器の量も増え取り扱いが大変です。準備作業だけで1週間近くかかることもあり、コストがかさむのも問題です。そのため、“もっと手軽に使えるひずみ計測システムを作りたい”と考えました。そこで、貼り付け面積の小ささと精度は保ちつつ無線でのデータ転送が可能な新たなひずみ計測システムの研究開発を芝浦工業大学と共同で進めています (図1B)。

従来のひずみ計測システムにはホイートストンブリッジ回路が使われており、計測した微小な電圧変化を増幅するためのアンプが欠かせませんでした。新システムでは、ひずみの計測にこれまで使われてこなかった「CMOSインバータ発振回路」を使います。この回路では、電圧変化の大きさではなく、ひずみによって変化するパルス電圧を数えればよいため、アンプは必要なくなり駆動電力を抑えることができます。電池で十分駆動できるため無線化が図れ、設備の簡便化も可能です。



A 従来のひずみ計測システム



B 開発中の新ひずみ計測システム

図1 ひずみ計測システム

従来システムに匹敵する高精度化を実現

計測装置に求められるのは“精度”です。いくらコンセプトが優れていても、これまでの装置と同等、もしくはそれ以上の計測精度が得られなければ“使える”とは言えません。図2は開発中のシステムによる計測結果です。実は、回路は至るところに抵抗を含んでいるため、適切な補正をかけなくてはひずみを精度よく計測することはできません (■)。それらの補正を行う方法を研究し、システムに適用することで、従来 (◆) に近い値を得られるようになりました (▲)。図2を良く見ると、新システムと従来システムとでは値に微妙な差があります。ここで考えなくてはいけないのは、従

「CMOS インバータ発振回路式ひずみ計測システム」の研究開発

来システムは精度や信頼性の高い優れた計測システムですが、常に正確な値が得られるわけではないという点です。完璧な試験のセットアップというのはなかなか難しい上に、試験環境にも影響を受けるため、計測誤差の問題は常に存在します。つまり、この程度の微妙な差になると、“高精度化を図るために正確な値とは何か？”ということを考えてながらシステムの開発を進めていく必要があるわけです。

また、ひずみ計測は温度の影響を強く受けます。電気回路を持った装置が必ず抱えているノイズ (S/N) の問題もあります。私たちの周りには電波を発する様々な電子機器が溢れており、それらが発する望まない電波であるノイズが計測されてしまうと正確な値を得られません。そこで、温度やノイズの補正技術についても研究を進めています。

スピノフを秘めた技術

補正手法を組み込んだ新ひずみ計測システムに関して特許を出願しており、現在、計測機器メーカーと共同でプロトタイプ開発を進めています。現在のシステムは研究開発用で小さいものでもコンパクトカメラくらいの大きさがあり、100Vの電源で駆動していますが、年内には、指先大で電池で駆動が可能なプロトタイプを披露できる予定です。さらに小型化を進め、高精度化や無線化などの技術を統合し、2018年度の製

品化を目指します。

新システムを使うと、これまでは計測が難しかったエンジンブレードやヘリコプタブレードなどの駆動部分のひずみ計測にも使用できるため、航空機開発の安全性により貢献できます。このシステムには、電池だけで長期間にわたるひずみ計測が行えるという利点もあります。ひずみの計測は航空宇宙分野だけでなく、新幹線や自動車などの他の乗り物や建造物など、様々な製造業の分野でも使われています。新ひずみ計測システムはその特徴を活かし、航空宇宙分野はもちろん様々な分野で活躍できると考えています。

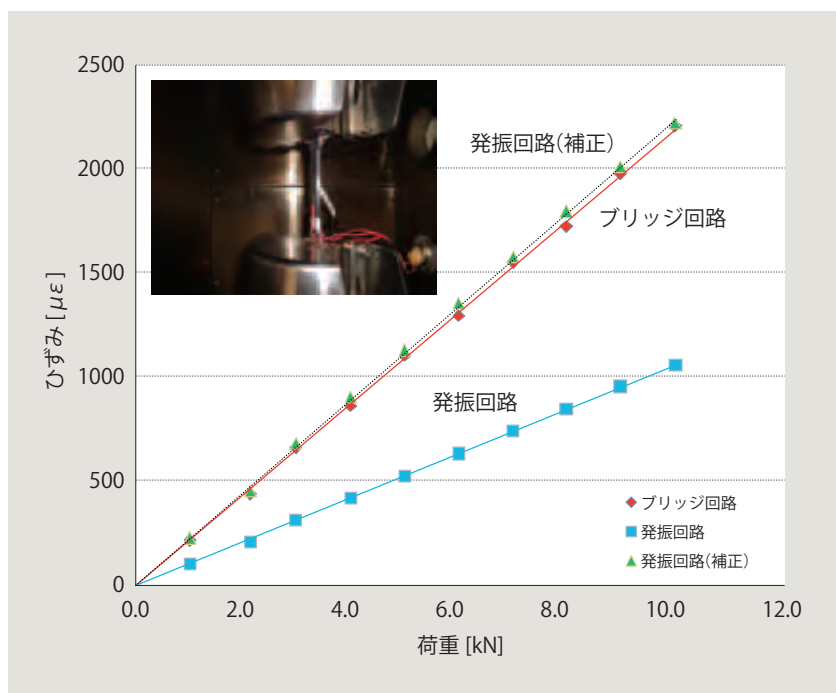


図2 アルミ合金の静的引張強度試験と計測結果の一例



【機体構造グループ】

神田 淳、宇都宮 登雄

水素燃料実現のカギとなるか

新型機体に欠かせない極低温 CFRP タンク

JAXA では現在、再使用型宇宙往還機や極超音速旅客機、水素航空機など、軽い割にエネルギーの大きい水素を燃料に使う機体について研究を進めています。軽量化を図るため、水素を入れるタンク壁に軽くて剛性の高い「炭素繊維強化プラスチック (CFRP)」を使うことを検討しています。CFRPは炭素繊維をプラスチック樹脂で固めたシートを何層にも重ねた構造をしており、荷重により層と層の間が剥がれる剥離や、樹脂部分に発生するクラック（亀裂）が起こることがあります。この剥離やクラックが進展し、壁面を貫通すると、タンク内の水素の漏えいが起こってしまいます。

水素は、常温下だと気体状態のため、かさばります。そ

こで、マイナス253℃以下の極低温まで冷やし、液体状態でタンク内に収めます。極低温下での剥離やクラック、それらがつながることによって起こる漏えいについて詳細に調べることが、漏れがない極低温CFRPタンクを実現するためには欠かせません。

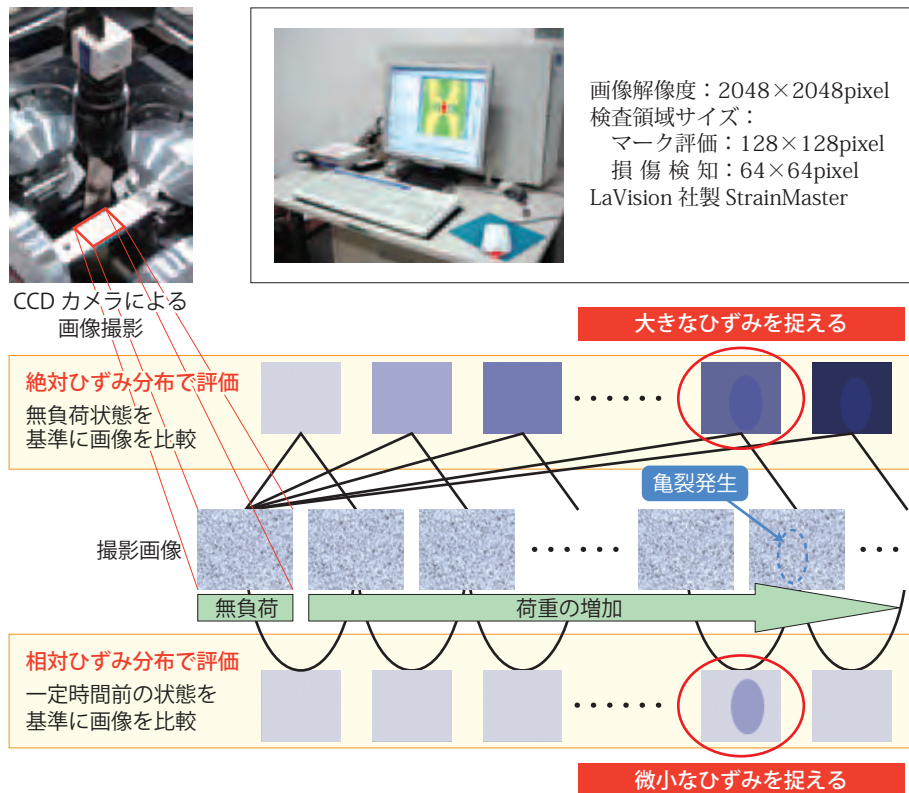
CFRPの損傷を捉えるひずみ計測法

荷重によるCFRPの損傷を調べるには「ひずみ」の計測が有効です。私たちは、ひずみゲージを使った従来からの計測方法ではなく、非接触で面計測が行える「デジタル画像処理システム」による損傷検知システムの研究を進めています（図1）。2軸疲労試験設備（P.06参照）を使い、自由端剥離およびクラックの検知検証試験を行いました。

図2は自由端剥離の試験結果です。荷重が増えるにつれ

て剥離が進行して行く様子が良く捉えられています。試験後の供試体を超音波探傷画像と比較したところ、剥離をきちんと検知できていることも分かりました。

図3Aはクラックの試験結果です。荷重の増加によりひずみが生じていることは検知できていますが、クラックの発生までは分かりません。実は、クラックが生じる時に表面に現れるひずみは大変微小なため、その直前と直後の画像とを比較する必要があります。そこで、ひとつ前に計測した画像と比較する相対的な方法に変更しました。その結果が図3Bです。①から④の亀裂に対して、生じた順番も含め、捉えることができました。特に②に関しては、亀裂が右から左へと発生したこともま



計測面全面に目印を付け、荷重を加えながら目印が変化の様子を撮影します。撮影した画像を比較することで変化量が分かるため、その変化量からひずみに換算します。

図1 損傷検知システムと検知方法

画像処理による複合材料積層板の損傷検知に関する研究

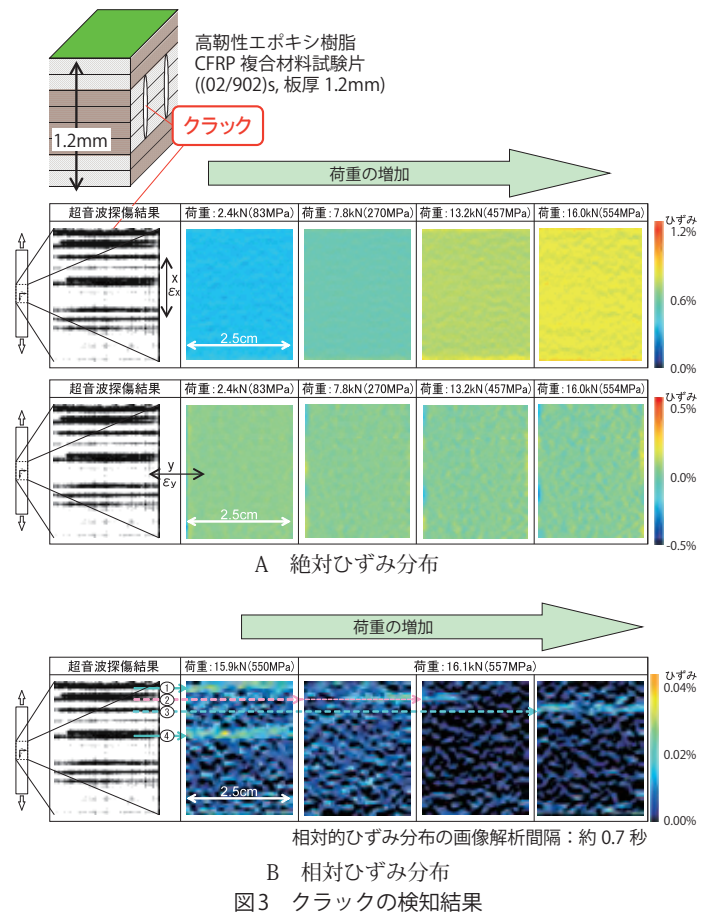
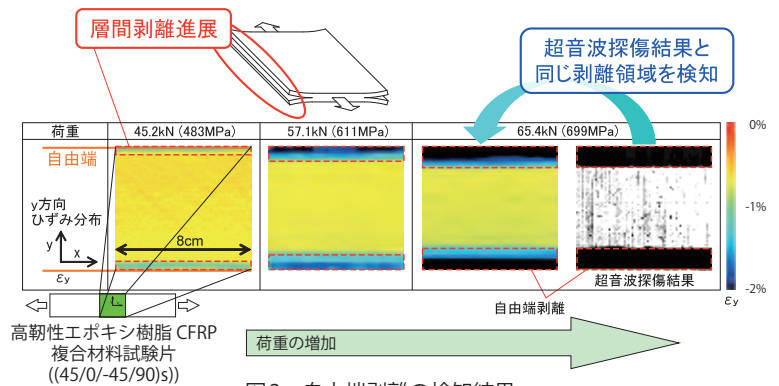
で計測できています。

今後は、カメラの解像度の向上や計測間隔の短縮を図り、損傷を更に詳しく計測できるように高性能化を目指します。

全ての研究を統合し、二軸疲労試験を目指す

損傷発生メカニズムを詳しく調べるのと並行して、漏えいのメカニズム解明についても研究を進めています。また、極低温環境下での漏えいに関しても、2軸試験機を使った試験方法の検討を進めており、まだ1軸ではありますが試験方法を確立しているところです。来年度からは、2軸での極低温疲労試験方法についても研究を進めていきます。

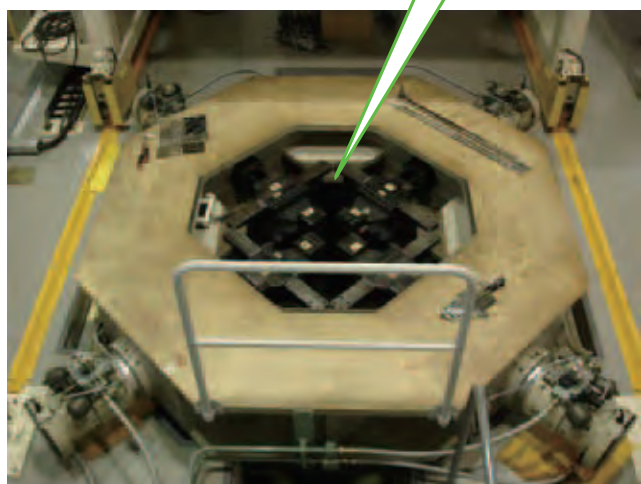
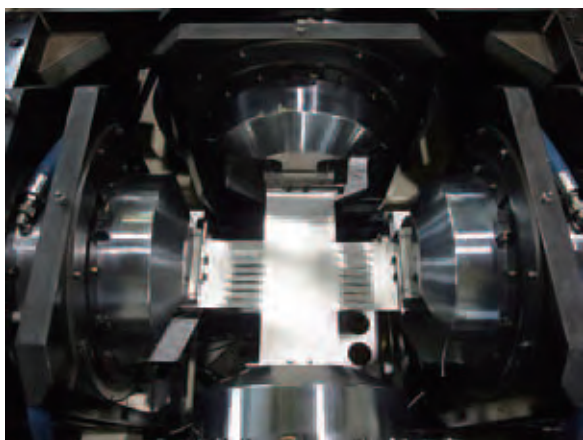
最終的には、2軸疲労試験設備を使って極低温環境下での損傷発生から燃料漏えいまでを模擬する試験を行い、メカニズム解明を目指します。その結果を、漏れがない極低温CFRPタンク実現へと活かすことができれば、再使用型宇宙往還機や極超音速旅客機の実現に一步近づくことができます。



【機体構造グループ】
高戸谷 健、熊澤 寿

2軸疲労試験設備

航空機の機体構造の安全性を確保するためには、材料の破損についての正確なデータ取得が必要です。材料が破損に至ってしまう重要な現象として、引張荷重や圧縮荷重が繰り返し加わることで生じる「疲労破壊」があります。2軸疲

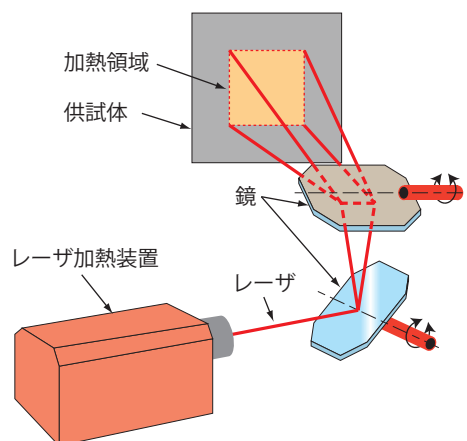


最大荷重 ±250kN
 最大変位 ±50mm
 繰返し速度範囲 0 ~ 10Hz

図1 2軸疲労試験設備

勞試験設備は、直交する2軸方向に対して同時に疲労破壊試験を行える設備です。十字型の試験片の各辺をしっかりと固定し、アクチュエータで駆動することで最大荷重250kNの引張荷重と圧縮荷重を、最大変位50ミリで繰り返し加えることができます。250kNの力で疲労試験が行える2軸試験機は日本ではこの1台のみです。400ミリ角のアルミ合金であれば2ミリ、炭素繊維強化プラスチック (CFRP) であれば1ミリの厚みの試験片に対して疲労試験が行えます。

また近年は、「レーザ加熱装置」を加え、高温・加熱環境下での試験手法の開発も進めています。レーザを2枚の鏡で反射させることで、任意の領域を加熱することができます(図2)。この試験手法により、固体ロケットエンジン燃焼時のノズル挙動を模擬した試験を行っており、ロケットエンジンの信頼性向上に貢献しています。



最大出力 5.2kW
 ピーク波長 940 ~ 980nm の混合
 矩形ビーム径 焦点距離 1000mm において約 8mm × 12mm

図2 レーザ加熱装置の加熱原理

ひずみ計測システム

■構造強度のパロメーター

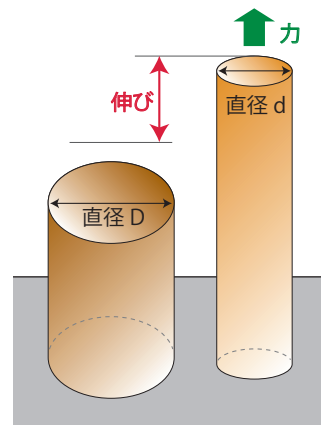
ここに円柱状のゴムがあります。円柱の底面を床に固定して上面を引っ張ると、縦に伸びると共に、柱の直径は縮んで細くなります(図1)。この様に、力を加えることで物が変化した時、その変化の割合を「ひずみ」と呼びます。ゴムは、加えた力を緩めると元の円柱に戻ります。しかし、ある程度強い力で引っ張ると、今度は力を緩めても元の状態にまでは戻りません。更に強い力でゴムを引っ張り続けると、最終的に、ゴムは切れてしまいます。次に、緩めると元の状態に戻る程度の力で、何度も繰り返しゴムを引っ張ってみましょう。すると、加えられる力によってゴムには疲労が蓄積され、最終的には切れてしまいます。

実は、この性質はゴムだけではなく、航空機の材料となるアルミ合金や炭素繊維強化プラスチック(CFRP)といった材料にもあてはまります。最適な強度を持つ航空機を造るためには、ひずみ計測は欠かせません。



計測したひずみから荷重を求めることができれば、飛行機の運用や設計へのフィードバックが可能になる。

図2 翼模型に対する光ファイバセンサーひずみ計測試験



ゴムを引張ると、伸びる。この伸びた割合を「ひずみ」と呼ぶ。反対に、引張る力と垂直方向には縮む。この縮んだ割合も「ひずみ」と呼ぶ。

図1 ひずみとは

■従来型ひずみ計測システム

ひずみを計測するシステムとして従来より使われているのは、ひずみゲージを組み込んだホイートストンブリッジ回路、増幅器(アンプ)、データを取り込むパソコンなどの機器から成る「ひずみセンサー(P.02 図1A)」です。回路には微弱な電流が流れており、計測物が変形するとそこに貼り付けたひずみゲージの抵抗値が変化し、回路の電圧も変わります。電圧の変化量とひずみ量の対比は事前に調べてあるため、電圧の変化量を計測することでひずみを求めることができます。回路の電圧変化量はとても微弱なため、その値を精度良く捉えるために、電圧を増幅する必要があります。そのためのアンプも必要となり、何ヶ所も同時にひずみを計測する場合には非常に煩雑になってしまいます。

■新計測システムたち

簡便に計測が行える、高精度なひずみ計測システムを確立できれば、航空機製造の迅速化や安全性の向上を図ることができると考えられます。そこで、様々な計測システムを考案し、研究を進めています。

今号の『空と宙』では、2種類のひずみ計測システムの研究を紹介しています(P.02、04参照)。また、光ファイバセンサーを用いたひずみ計測による損傷検知や、荷重同定に関する研究(図2)を進めています。

空 宙 情 報

「Hoshi」 国際宇宙ステーションから 世界で初めて回収された新種の地球外物質

電子部品・デバイス・材料グループ 木本 雄吾

JAXAが開発し国際宇宙ステーション (ISS) に搭載した「微小粒子捕獲実験及び材料曝露実験 (MPAC & SEED)」において、これまでにない鉱物学的特徴を持つ新種の地球外物質を回収したことが、茨城大学の野口高明教授との共同研究による分析の結果、判明しました。ロシアのサービスモジュール「Zvezda (ロシア語で“星”の意味)」で捕獲したため、「Hoshi」と命名しました。

惑星間塵^{※1}や微隕石^{※2}と成因的な関係があり、かつ、今までに見出されていない組織と鉱物組成を持つ微小粒子「Hoshi」の発見は、世界初の快挙です。このことは、まだ我々が手にしたことの無い鉱物学的特徴を持つ始原的な地球外物質が存在していることを示しており、太陽系誕生の初期の時代に何が起きたかを解明するための新たな手掛かりとなります。

分析結果については、地球惑星科学の専門誌『Earth and Planetary Science Letters 309(2011)』に掲載され、かつ、2012年9月に開催された日本鉱物科学会年会でも発表されました。またJAXAからのお知らせ文への反響も大きく、「テレビ朝日 モーニングバード!」や日本経済新聞朝刊などでも取り上げられました。

- ※1 成層圏を飛行する特殊な飛行機で回収される地球外微粒子で、彗星と小惑星起源の塵があるとされる。
- ※2 主に南極の氷あるいは雪を溶かし、ろ過することで回収される地球外微粒子で、多くは小惑星起源の塵と考えられている。

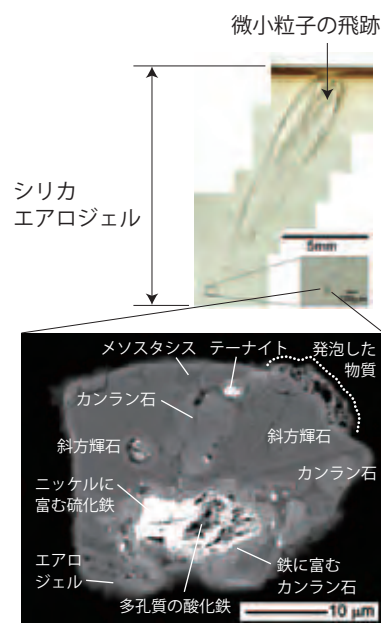


図 シリカエアロジェル内の光学顕微鏡写真(断面図)と捕獲された「Hoshi」の拡大写真

【開催案内】 平成24年度 JAXA宇宙航空技術研究発表会

私たちは、JAXAが取り組む宇宙航空技術の研究活動を広く一般の方にも知っていただくために「JAXA宇宙航空技術研究発表会」を開催しています。今年は、「宇宙・航空技術がエネルギー問題に対してできること」をテーマに講演を行うと共に、基礎的・先進的な研究を中心とした口頭発表およびポスター展示も行います。

また、特別講演として「ホロニック・パスへ向けて～エネルギーシステムの今後の方向～」という題目で公益財団法人地球環境産業技術研究機構 理事長 茅陽一氏にご講演いただきます(時間13:15～14:15、会場:サピアホール)。

日時: 12月12日(水) 10:00～16:45
会場: 東京ステーションコンファレンス
サピアホール・会議室
東京都千代田区丸の内1丁目7-12 サピアタワー5階

【お問合せ窓口】
JAXA 研究開発本部 研究推進部 広報
TEL 050-3362-8036
URL <http://www.ard.jaxa.jp>

※ 事前登録は必要ありません。直接会場までお越しください。 ※ 聴講は無料です。
※ プログラムなどの詳細は当本部のHPをご覧ください。 ※ 窓口へお問い合わせください。