

MEL 機械研NEWS

工業技術院 機械技術研究所

2000 No. 12

CONTENTS

- 1人工心臓の血液凝固を可視化で防ぐ
 3低温生成技術の高性能化 - Super-Cryocooler の開発を目指して -
 7衝撃と応力波の干渉と破壊
 10.....機械技術研究所発表会
 14.....機械研ニュース目次

人工心臓の血液凝固を可視化で防ぐ

基礎技術部 バイオミメティクス研究室 山根 隆志

TEL : 0298 - 61 - 7057

1. はじめに

基礎技術部バイオミメティクス研究室では、体内埋込み型人工心臓をめざして、図1のような羽根車の一端を磁気軸受で、他端をピボット軸受で支持する機構（モノピボット磁気支持機構）の、遠心血液ポンプの開発を行っている。可動部分のないダイレクトドライブ機構の採用により、外形体積160mL というサイズを達成しており、総合効率は13%で発熱も少なく、3カ月の耐久試験も実施済みである。牛血を用いた溶血試験（血球破壊試験）では市販遠心血液ポンプと同等以上の低溶血性を確認している。埋込み型人工心臓の開発課題は、血栓形成（血液凝固）および溶血（血球破壊）の防止、システムの小型化および耐久性・安全性の確立である。最近、抗血栓性を評価するため、流れの可視化実験とヒツジによる動物実験を行った。

2. 可視化実験

血栓や溶血の原因は、その多くが流れの改善で除去できると予想されるので、動物実験を補って血栓・溶血を防止する可視化解析が、有用な研究開発ツールとなってきた。可視化模型を3倍で製作すると、レイノルズの相似則に基づいて回転数を1/9以下に落とすことができる。今回の可視化モデルは、血栓形成に本質的に係わるのはピボット軸受のみであるとの動物実験からの判断により、短期製作を期するため、インペラ背面のみを模擬した単純円板模型とした。トレーサ

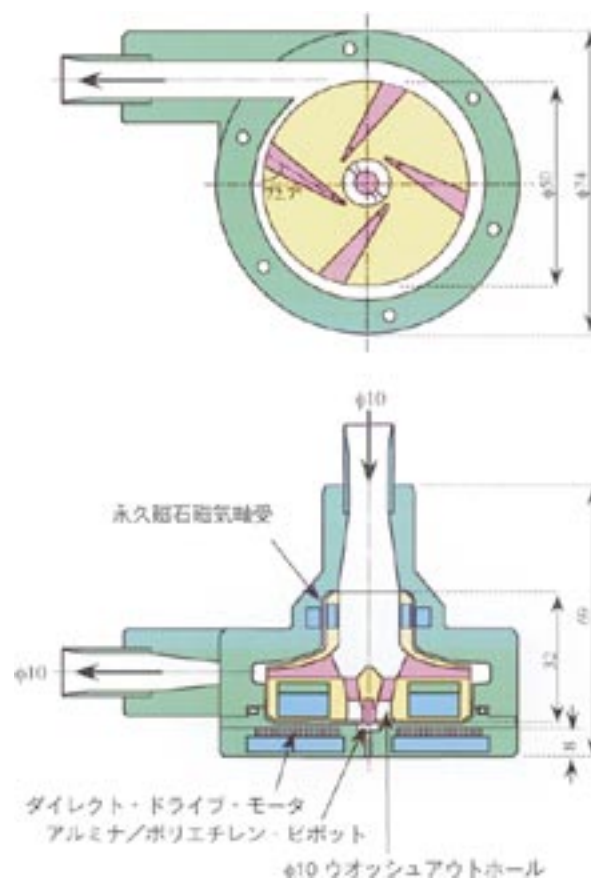


図1 開発中のモノピボット磁気支持遠心血液ポンプ (DD7)

に蛍光スチレンビーズ(平均球径 $300\mu\text{m}$,比重1.05),作動流体に食塩水を用い,撮影は高速ビデオ(2250f/sで使用),照明にはArレーザーシート(4Wで使用),収録した映像の解析には4時刻粒子追跡法を用いた.

血栓形成の血液側原因として,

- (1)血小板が関わる白色血栓,
- (2)赤血球・フィブリンが関わる赤色血栓,
- (3)補体系蛋白による血栓

があり,異物側原因として,

- (A)流れ由来の血栓,
- (B)材料由来の血栓,

がある.従来,血液単独の凝固に関する研究もあるが,定量化はなかなか難しく,再現性を持って定量化できるのは,血小板が材料表面に付着し始める現象(1-A)であろうと思われる.そこで,相対よどみ領域を血栓の発生部位と見なして,可視化による発生箇所の特定を試みた.ポンプモデルとして,インペラ裏面の滯流を促進するためのインペラ貫通孔(Washout Hole)が4分散したインペラ(DD5)および1点集中したインペラ(DD7)を比較した.

4つに分散したホールの場合,ホールより内側の領域にどうしても相対よどみが残った(図2).ホール1点集中型にすると,ホール径が半径30%を超えると中心まで流れを誘導できなかつたが,ホール径を半径

20%以内に抑えたところ中心まで流れを誘導することができ,ほぼすべてのよどみを解消できた(図3).

3. 動物実験

血液ポンプの抗血栓性を確かめるため,筑波大学の協力を得て,ヒツジによる6-7日間の動物実験を6頭のベ9例実施し,いずれもポンプ外付け左室脱血・左心バイパス形態とした.初期の段階では,研磨不足の部分にのみ白色血栓が付着するなど,ポンプ内面の研磨が重要であることが確認できた.

4つに分散したホールの場合,ホールより内側のよどみに対応して,白色血栓が観察された(図2).ホール1点集中型では,ホール径が30%を超えるとピボットに血栓が残ったが,ホール径を20%以下に抑えた1点集中形状により,動物実験でほぼすべての血栓を解消できたことを確認した(図3).

4. おわりに

開発中のモノピボット遠心ポンプについて,血液灌流のためのインペラ貫通孔を,複数分散型から1点集中型にすることにより,血栓をほぼ解消することに成功した.この過程で,短期動物実験および流れの可視化計測を並行して実施することにより,抗血栓性の改善を短期間で効率的に実施することができた.これに

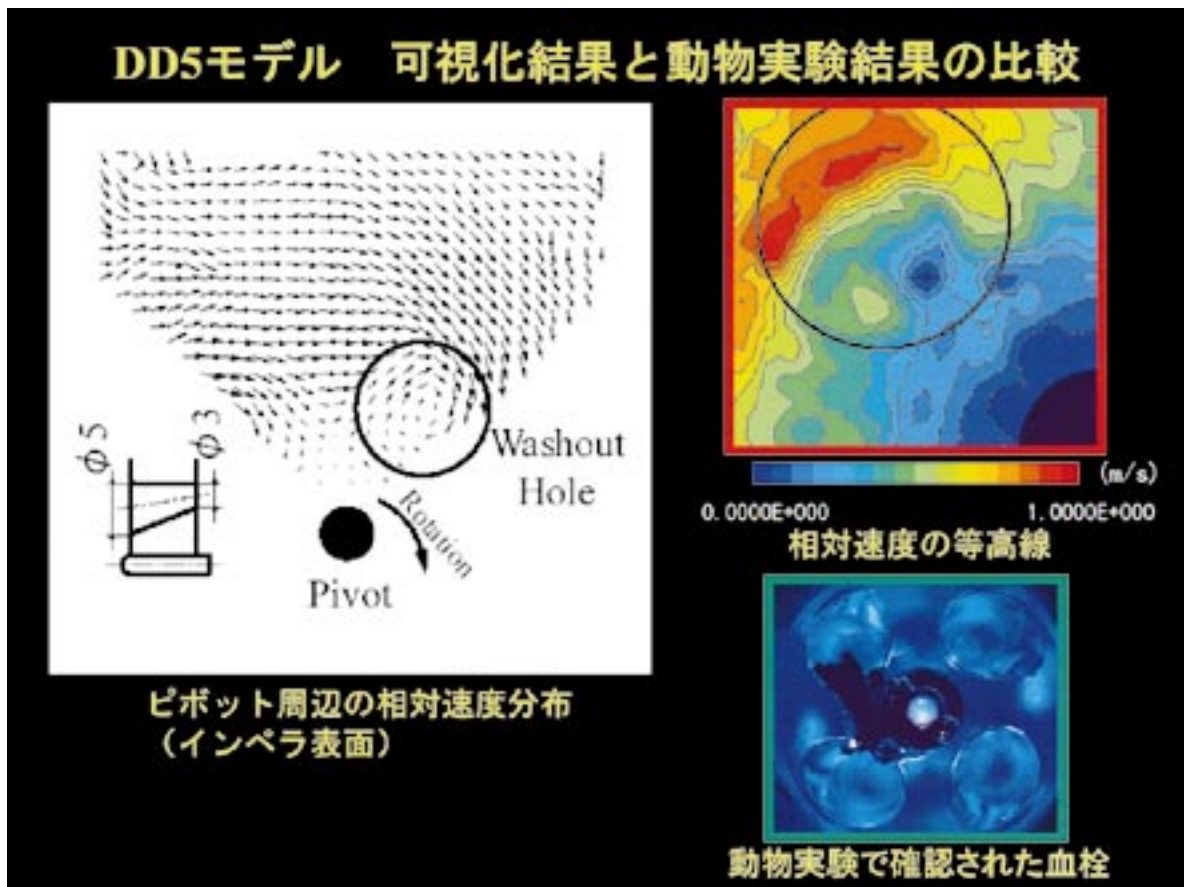


図2 分散ホール型インペラ(DD5)表面の相対速度分布、等速線(剪断速度に対応)および動物実験結果

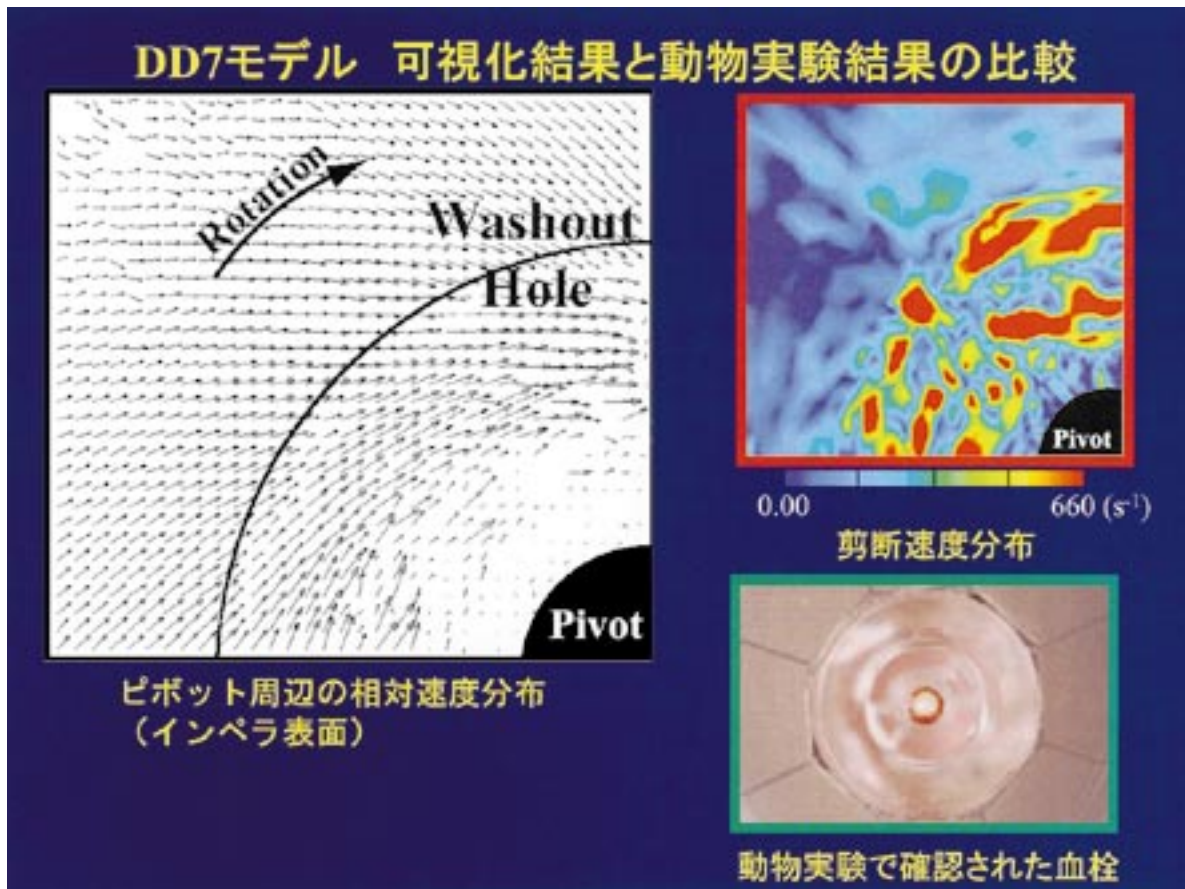


図3 1点集中ホール型インペラ(DD7)表面の相対速度分布、剪断速度分布、および動物実験結果

より流れの可視化計測は、血液ポンプの開発過程で、場所を特定した血液適合性の改良に有用であることを示すことができた。最近では、このような医療デバイスの承認申請の際の成績証明として、可視化データの提出が求められる動きも出ている。効率的な人工臓器開発のため、これらのツールを有効に活用する必要がある。

5. 参考文献

- 1) 立石哲也編著：メディカルエンジニアリング，米田出版（2000. 4）
- 2) 西田正浩：機械研ニュース（1999. 2）
- 3) 丸山 修：機械研ニュース（1998. 8）

低温生成技術の高性能化

- Super-Cryocoolerの開発を目指して -

エネルギー部 熱工学研究室 白石 正夫

TEL：0298 - 61 - 7078

1. 研究の背景

熱エネルギーを大きく分けると高温と低温の熱エネルギーに分けることができる。高温エネルギーは、燃焼を始めとして種々の方法で得ることができるが、低温エネルギーは実用的には冷凍機によってのみ得ることが出来る。冷凍機によって作られる低温環境は、家

庭用の冷蔵庫からリニアモーターカーの超電導技術まで広範な用途があり、高温エネルギーと同様に社会生活を支える基盤技術である。二十一世紀に向けて進められている情報革命においても超電導素子の情報通信技術への応用は、処理する情報量が飛躍的に増加できるため将来の基盤技術として最も期待されるものの

一つである．より身近な問題である空調や冷凍技術においても，フロン規制に対応しフロンを使用しない低温生成技術が求められている．温度領域の違いはあってもこれらの技術の実用化の鍵となるものは，いずれも信頼性が高く効率の良い冷凍機による自由度の高い低温環境の生成技術である．もちろん環境と調和する技術であることは言うまでもない．このような技術開発の現状を考え，エネルギー部熱工学研究室では，自然界に存在する媒体を作動媒体とする自由度が高い低温生成技術への開発可能性を探る目的でパルス管冷凍機の研究を行っている．

2. パルス管冷凍機と研究の課題

パルス管冷凍機の概略を図1に示す．最も基本的な冷凍機は，高圧の圧縮機で構成される圧力振動の発生装置，金網等の蓄冷材を内部に充填した蓄冷器，内部が空洞のパルス管部で構成されるベーシック型と呼ばれるものである．パルス管冷凍機内に10気圧程度の気体を充填して圧力振動を与えるとパルス管部の低温端で低温が得られる．低温部が，蓄冷器とパルス管の接続部分であるため蓄冷器とパルス管をU字型に配置したり，蓄冷器の中にパルス管部を同軸型に配置することも行われている．実際には，ベーシック型では十分な性能が得られないので，図に示すようなリザーバーあるいはバッファと呼ぶガス溜めを設け，パルス管部とリザーバーをバルブや細い管で繋いで位相調整機能を持たせたオリフィス型や，さらに蓄冷器の入口とパルス管を細管で接続したダブルインレット型等がもっぱら研究開発の主流である．パルス管冷凍機は，スターリングやGM(Gifford-McMahon)冷凍機のように低温部に可動するものが無いため信頼性が高く振動も小さいので，次世代の小型冷凍機(Cryocooler)として先に述べた応用を目指して現在日本，米国，中国，ドイツを中心に世界中で研究開発が進められている．

パルス管冷凍機では，スターリングやGM冷凍機と比べてパルス管部に比較的大きな気体の自由空間があり，かつ蓄冷器内の蓄冷材も動かないため圧縮機から導入した圧力振動による振動流以外に，必然的に二次的な流れが誘起され易くなる．二次的な流れは，高温部から低温部に熱を運び熱損失の原因となる．実用化

研究の進展と共に，二次的な流れが冷凍性能へ深刻な影響を及ぼすことが明らかになり，流れが誘起される原因とその抑制方法が重要な課題になっている．このため研究室では，誘起される二次的な流れにともなう熱損失を低減することで冷凍性能がより向上できないかと考え，二次的な流れが誘起される原因や，その定量的な把握を目的として研究を進めている．ここでは，二次的な流れの一例として，パルス管冷凍機の設置角度によって冷凍性能が変化する原因を調べた結果について紹介する¹⁾．

設置角度の冷凍性能への影響は，1996頃から報告されるようになった．図2にドイツGiessen大学の代表的な実験結果を示す²⁾ここで設置角度は，パルス管の低温端が高温端よりも下方になる状態で，パルス管冷凍機が垂直の場合を0度とする．パルス管冷凍機の設置角度を変えると70度付近から急に冷えなくなる．もし高温超伝導体を60K程度に維持することを考えると，70度以上の設置角度では冷凍機としての役割をなさないことになる．このような設置角度の依存性があると，取付の角度が制限されて機器設計の自由度を低くすることや，回転する機器では角度によって作動状態が大きく異なることになる．実際の応用では，依存性をできるだけ無くすことが必要不可欠であり原因究明や抑

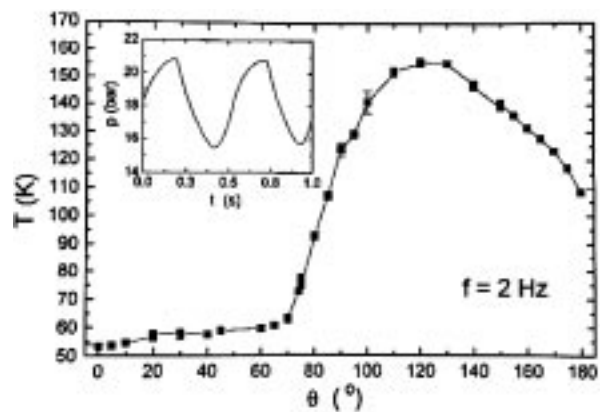


図2 パルス管冷凍機の設置角度による冷凍性能の変化．X軸の角度0度は、低温端が高温端よりも下側で垂直に設置した状態に対応し、Y軸は低温端の到達温度を表す．左上の図は、圧力振動の変化を表す．図は、文献2)から引用

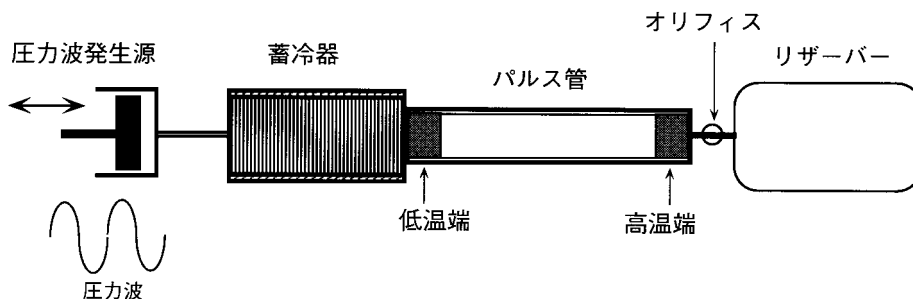


図1 パルス管冷凍機の概略

制策には高い関心が寄せられている。我々は、原因は誘起される二次的な流れに起因すると仮定し、既に研究室で確立しているパルス管冷凍機内の可視化実験の方法を用いてこの原因を調べた。

3. 可視化実験と課題の解明

二次的な流れを直接流速計等で測ることは、基本的な流れ（この場合は圧力振動による振動流）との分離が出来る場合以外は非常に難しく、ほとんどの場合困難である。しかしながら、可視化的な方法を用いれば比較的容易に二次的な流れを測ることができる。方法を図3に示す。振動流の場合には、流体要素は二次的な流れが無ければサイクルの終わりでは始めの位置に戻るが、二次的な流れがあればその分だけ流体要素は始めの位置とは異なる位置に戻ることになる。この位置の変化を調べることで一サイクルの間の平均的な二次的な流れの程度を知ることができる。流れを可視化する方法として振動流の流速が数メートル/秒程度であることからスモークワイヤー法を用いた。スモークワイヤー法は、発煙剤を塗った細線を流れの中に張り、細線をパルス的に通電加熱することで線状の煙を発生させ煙の移動の様子から流れの状態を可視化する方法である。

可視化用のパルス管冷凍機は、パルス管部の長さが約320mmの亚克力パイプ製(肉厚4mm,内径16mm)である。蓄冷器の蓄熱材は、100メッシュのステンレス製金網を770枚詰めた直径が18mm,長さが約170mmのものである。スモークワイヤーは、0.1mm径のタングステンの細線を使用し、パルス管部のほぼ中央に流

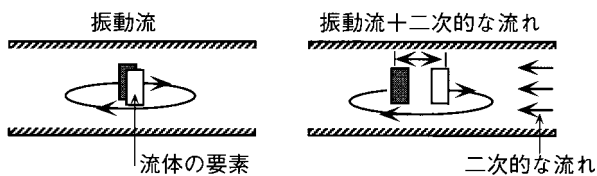
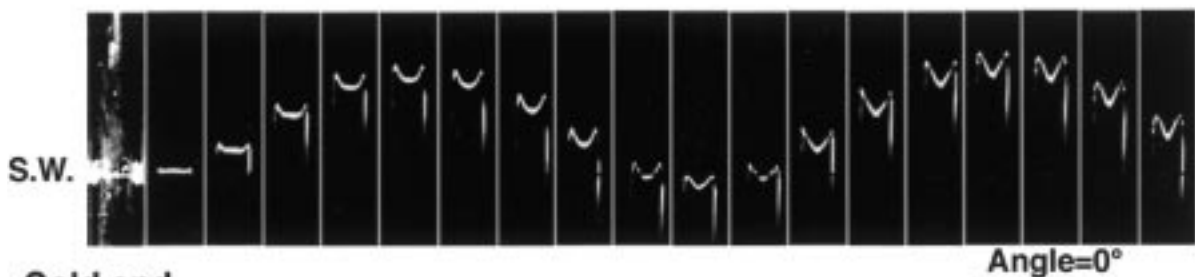


図3 振動流によって誘起される二次的な流れの測定方法

れと直交するように張った。発煙剤はパラフィンを用いスモークワイヤーの表面にパラフィンを薄く塗った。作動流体は、空気を使用し、往復動型の圧縮機で周波数が5Hz, 0.1~0.12MPaの圧力振動を発生させパルス管冷凍機を作動させた。パルス管冷凍機の形式は、図1に示した実用的なオリフィス型である。パルス管内の温度差が定常になった後スモークワイヤーからスモークラインを放出した。スモークラインの放出のタイミングは、圧縮過程の開始に伴い低温端に向かっていった流れが向きを反転させ高温端に流れ始める瞬間とした。スモークラインの様子は、高速度ビデオカメラで記録(400frames/s)した。

図4に代表的な結果を示す。パルス管冷凍機は、角度が0度の垂直設置で、高温端が低温端よりも下になっている。前述の放出タイミングで放出されたスモークラインは、最初上方(高温端側)に移動する。管内の振動流は、管断面の中央部と壁面近傍とでは粘性により動きに位相差が生じるため、放出されたスモークラインは放出直後は真直ぐな線上であるが、移動しながら壁面近傍で尖りを持つ振動流に特徴的な形状になる。その後、膨張過程の開始に伴い、スモークラインは移動の方向を反転させて下方(低温端側)に移動し最初に放出された付近に戻り1サイクルが完了する。以下同様に振動を繰り返すが、スモークラインは振動しながらも二次的な流れの影響でその形状は徐々に変化し、時間と共に壁面近くの尖りと中央部の谷との間隔が広がっていくことが分かる。二次的な流れの効果を調べるため最大変位した点(図では上側の最も高温端側に移動した点)でのスモークラインをサイクル毎に拾い出し、サイクルの進みとともに変化する様子を比較した。代表的な結果として、0度と150度の比較を図5に示す。垂直設置(0度)で、低温端が高温端よりも下の状態では、壁面近くの尖りが上方(高温端側)へ、中央部の谷が下方(低温端側)へ移動していくことが分かる。このことは、パルス管部の流路断面を考えた場合、中心部付近は下方に(高温端から低温端へ)、

Hot end



Cold end

図4 スモークワイヤー法で可視化したパルス管冷凍機内の振動流。左端の図が、発煙前の画像で、S.W.はスモークワイヤーの位置、Hot end、Cold endが高温端、低温端の方向をおのおの表す。2枚目以降が発煙後でスモークラインのみを表す。角度は0度である

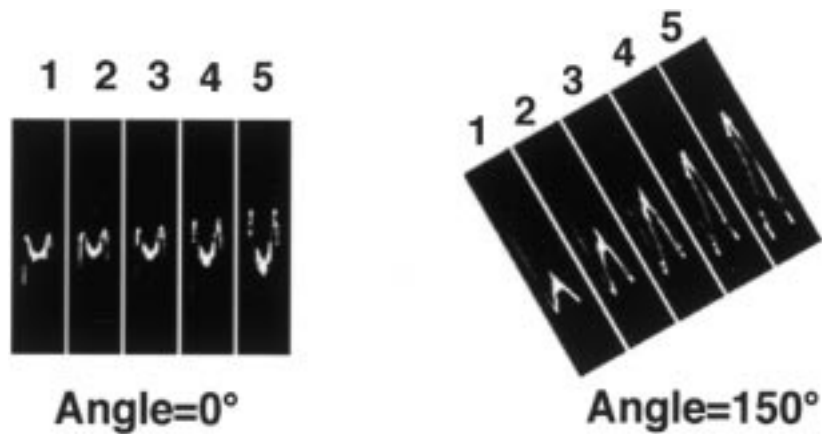


図5 サイクルの進行と共に変化するスモークラインの角度による影響．各画像の上の数字はサイクルを表す．角度0の場合は中心部が下方に、周辺部が上方に移動する．一方、角度150度では、上側の管壁の近くが上方に、下側の管壁の近くが下方に移動する

周辺部の壁面近傍では逆に上方（低温端から高温端）に向かう中心部と周辺部が同軸で対向する二次的な対流が存在することを示している．一方、角度が150度になり、低温端が高温端よりも上になる状態では、軸対象の流れでなく、上側の管壁近傍が上方（高温端から低温端）に、下側の管壁近傍が下方（低温端から高温端）に向かう流路断面の上下で対向する二次的な対流が存在することを示している．設置角度の全域（0～180度）に亘っての二次的な流れの変化を、画像処

理したスモークラインで示したのが図6である．角度が0～60度ぐらいまでは、中心部と周辺部が同軸で対向する二次的な対流である．水平設置の90度では、明らかに流路断面の上下で対向する二次的な対流に変わっている．この図の結果からは、60度を越えたあたりで流れの様相が変わることを示している．90度以上になると角度の増加とともにスモークラインの間隔が広くなることから、対流の流速が角度の増加につれて早くなること分かる．倒立位置の180度では再び60度

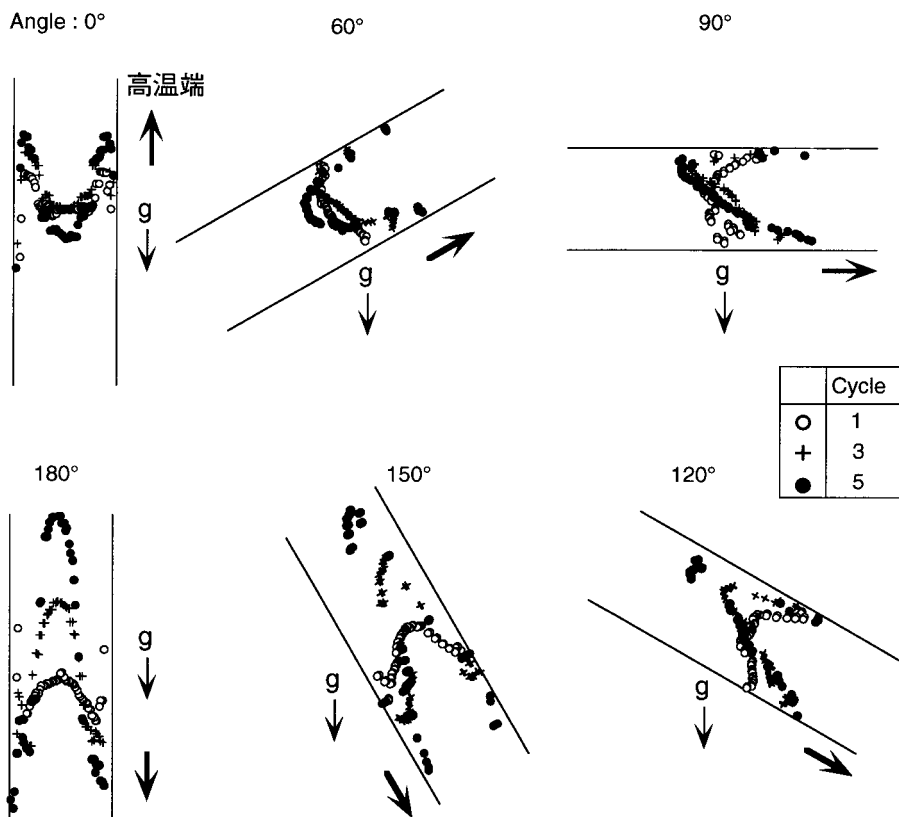


図6 画像処理したスモークラインによる角度0～180度にあたる変化の様子．太い線の矢印が高温端の方向を、gの矢印が重力の方向をおのおの示している．

以下と同じ中心部と周辺部が同軸で対向する二次的な対流に戻るが、0度と比較してスモークラインの間隔が広く流速ははるかに早い。これは、0度では低温端が高温端よりも下になるため、パルス管内の密度分布が下部ほど大きい安定した分布であるのに対して、90度以上では逆に低温端が高温端よりも上になる不安定な密度分布になるためより角度の増加とともに対流が促進されるためである。図6に示した実験結果から、図2に示した冷凍性能の角度依存性の原因を類似した現象である傾斜した密閉管内の自然対流の現象を基に考えると次のようになる。密閉管内の自然対流では、垂直に近い領域の中心部と周辺部が同軸で対向する流動状態よりも、傾斜した領域での流路断面の上下で対向する流動状態の方が熱の移動量が大きくなる。このため運ばれる熱量は、傾斜角度が130度付近で最大になるが180度近くになると再び減少する。このことから先の図2の結果は、150度付近までは、角度とともに熱損失が増加するが、180度近くになると二次的な流れの状態が変わり、熱損失が減少するため再び性能が回復してくると説明できる。ただし、回復しても、0度と比べて二次的な対流の流速が早いことから熱損失も大きいので0度よりも冷凍性能が悪くなる。

実用上の代表的な設置状態である水平設置（90度）においても既に示したような対流が存在し、結果として冷凍性能が低下するため水平設置が必ずしも十分に冷凍機の性能を引出していないことが分かる。また、最高の性能が得られる垂直設置（0度）においても振

動により二次的な流れが存在するためこの流れに伴う熱損失が存在する。これらの流れを抑制する有効な方法が見つかれば冷凍性能はより向上する。

4. まとめ

ここで紹介した二次的な流れによる熱損失は一例である。パルス管冷凍機内には他にも様々な熱損失が存在するが、実験的な解明が始まったばかりである。今後、冷凍機内の様々な熱損失の解明と有効な抑制策が見つかれば性能を飛躍的に高めた超高性能小型冷凍機（Super-Cryocooler）の開発も夢ではないと考える。それらは、二十一世紀の地上から宇宙までの低温を必要とするあらゆるシステムにおいて最も重要な基本技術として期待されるものである。

参考文献

- 1) Shiraiishi M., Takamatsu K., Murakami M. and Nakano A., "Visualization study of secondary flow in an inclined pulse tube refrigerator", *Advances in Cryogenics Engineering*, Vol. 45, (2000), 119.
- 2) Thummes G., Schreiber M., Landgraf R. and Heiden C., "Convective heat losses in pulse tube coolers: Effect of pulse tube inclination", *Cryocoolers 9*, R.G.Ross, Jr., ed., Plenum Press, New York, (1997), 393.

衝撃と応力波の干渉と破壊

エネルギー部 流体工学研究室 吉田 博夫
TEL: 0298 - 61 - 7079

日常の経験に照らして容易に想像できることだが、ガラス板の周囲を固定し中央を静かに押すと荷重がある臨界値を越えた時点でガラス板全体が割れる。しかしながら、同じガラス板の中央に小さな石を高速でぶつける場合には真ん中に穴が明くにとどまる。このように、物体に静かに荷重を加える場合（静的荷重負荷）と急激に加える場合（動的荷重負荷）とでは結果が大きく異なる。両者の違いを特徴づけるものは応力波の影響の大小である。静的荷重負荷のもとでは応力波の影響は無視できるが、動的荷重負荷のもとではこれを無視することはできない。それ故衝撃荷重は様々な破壊形態をもたらす。即ち荷重点以外の部位で損傷が現れることが度々生じる。

ところで近年、セラミックガスタービンの試験運転

中にしばしばブレード後縁部が損傷するとの報告がなされてきた[1]。当初材料特性のばらつきによるのではないかとの見方がなされたが、正確な原因は必ずしも十分に検討されたわけではなかった。そこで、実験室実験をとおして同様な翼型の前縁部に粒子を衝突させたところ後縁部が破損する事例が高い再現性のもとに生じることがわかった[2]。種々検討した結果粒子の衝撃で発生した応力波の干渉による可能性が浮上してきた。

以上のような背景から、エネルギー部流体工学研究室では粒子衝撃によって発生する動的応力場の数値シミュレーションを行った。図1によって波の干渉効果がどのようにして生ずるかについてその基本原理を説明する。長方形物体に横から衝撃力（矢印）が作用す

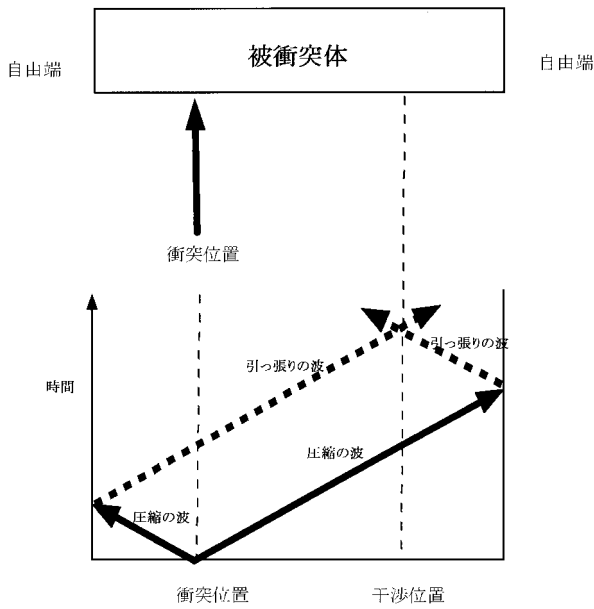


図1 波の干渉原理

るところから左右へ応力波（実線．この場合圧縮の波）が伝播する．圧縮波は左右両自由端で引っ張りの波（破線）として反射される．この両端から反射した波が重なる位置で大きな引っ張りが発生することになる．その結果生じた応力値が材料の強度を越えると破壊が起こると考えられる．図1に示すような波の干渉を想定すると，衝撃点が図中右（左）にずれると波の重なる点が左（右）にずれるということが予測される．この点については後ほど再度言及する．

さて，実際の解析では3次元複雑形状をしているブレードを図2に示すような2次元楔形状に単純化した．しかしながら，楔の底辺ならびに高さはそれぞれ，3mmならびに20mmとし，これらは実際のブレード前縁部の厚みならびに弦長にほぼ相当する．数値計算の詳細については別報にて発表する予定である．

ブレードならびに衝突粒子の材料は，これまで行ってきた実験に合わせて，それぞれモノリシック窒化ケイ素ならびに直径1mmのサマリウムコバルトとした．衝突速度は 450msec^{-1} 一定とした．この粒子が剛体壁に衝突したときに発生する圧縮応力は17.7GPaと推定

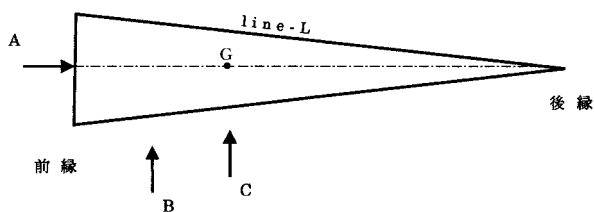


図2 モデル形状ならびに衝撃点
A：底辺中央部，B：底辺と重心との中間の位置，C：重心Gに対応．Line-Lに沿って応力分布を観察．底辺3mm，高さ20mm．

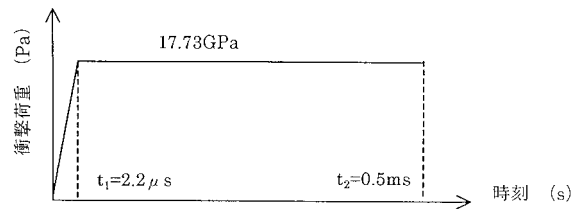


図3 粒子衝撃による荷重履歴

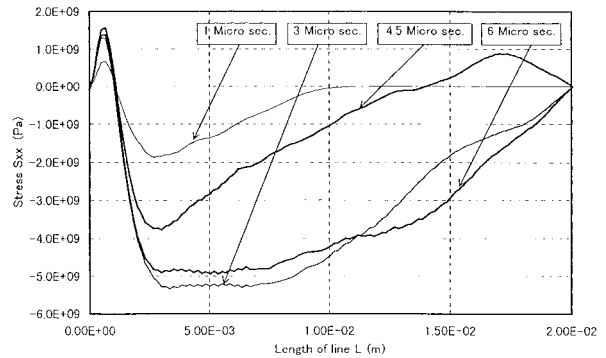


図4 衝撃点Aの場合のline-L上での応力 (x)分布

された[3]．そこで，粒子衝撃による荷重履歴は実験結果を参考に図3のように設定した．衝撃位置を底辺ならびに横2カ所とした．

まず，楔の底辺中央（A点）に衝突した場合の楔の表面（line-L）に沿った応力分布（x）の動きをしてみる（図4）．縦軸正は引っ張り，負は圧縮を意味する．衝撃点直下（すなわち前縁から）約0.6mmの深さのところ強い引っ張りが発生している．衝撃点直下の浅い位置で強い引っ張りが現れるという同様な結果は寺前と浜田等による鋼球が平板に衝突する場合の解析にも示されている[4]．この部分は肉厚が大きいので，たとえ表面にき裂が生じたとしても直ちに分離破断には至らないと考えられる．注目すべきは，衝突から4.5μsec後に後縁から2.8mmの箇所に再び0.76GPaにもおよぶ引っ張りのピークが現れていることである．因みにこの値はここで想定しているセラミックの曲げ強度0.615GPaを越えている[5]．この結果は肉厚の薄い後縁部においてはこのような衝撃で分離破断する可能性の高いことを示している．

次に，衝撃点がBの場合の主応力分布の動きを図5に示す．B点は楔の重心と底辺との中間にある．この場合まず衝撃点のほぼ裏側で大きな引っ張りが生じている．さらに，衝突23.4μsec後に後縁から2.1mmのところでも曲げ強度を遙かに超える15.7GPaもの引っ張りのピークが発生している．

衝撃点がCの場合の結果を図6に示す．C点は楔の重心の位置に相当する．やはりC点裏側で引っ張り応力のピークが現れているが，衝撃から12μsec後に後縁から3.8mmのところでもこれよりもさらに大きな引っ

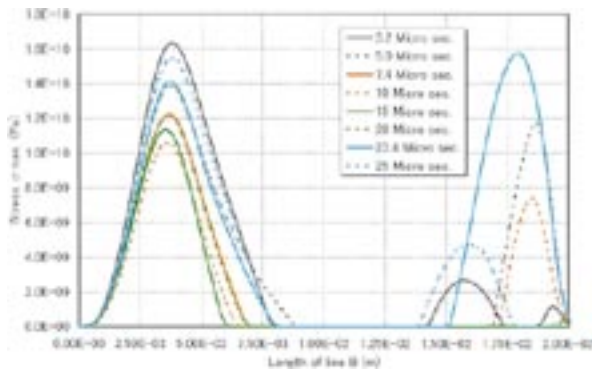


図5 衝撃点Bの場合の主応力分布

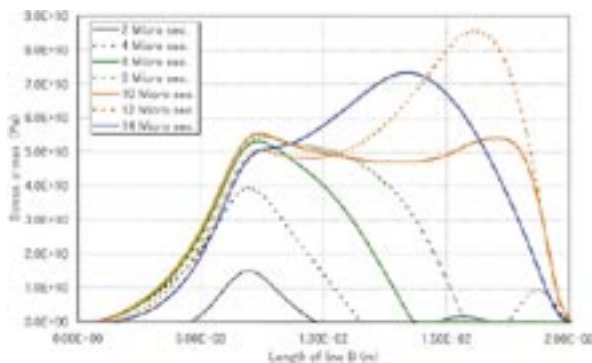


図6 衝撃点Cの場合の主応力分布

張り応力85.6GPaのピークが生じている。これはA点ならびにB点に粒子を衝突させた場合よりも格段に大きな引っ張り応力値である。即ち、動的荷重負荷の場合、どの位置に力を作用させるかによって発生する最大応力値は著しく異なってくる。

先に、波の干渉効果に基づけば衝撃点を前縁から後縁へ向かってずらすと最大応力発生位置は後縁から前縁へ向かってずれることを予測した。シミュレーション結果を見てみると、確かに衝撃点をBからCへずらすと、最大応力発生位置が後縁から前縁方向へ移動している。つまり、繰り返しになるが衝撃点がBの場合、後縁から2.1mmの位置で最大応力が発生していたのに対し、Cの場合は3.8mmの位置となっていて、1.7mmだけ後縁から前縁へ向かって移動したことになる。このことは応力場が波の干渉に支配されていることを示すものである。さらに注意しておきたいことは、衝突時に与えられた応力の大きさ(17.7GPa)の5倍近い大きさの応力(85.6GPa)が発生するというので、まさにこのような波の増幅作用こそが動的荷重負荷と静的荷重負荷との際だった違いである。

以上の解析結果は2次元楔形状に対して行ったものでここで問題にしている実際のブレード形状とは異なっている。それ故、厳密には翼弦方向に加えて翼の高さ(スパン)方向の波の干渉効果をも考慮しなければ

ならない。しかしながら、翼端(自由端)からの反射波と翼根本(固定端)からの反射波はその境界条件の性質上お互いを打ち消し合う方向に作用し、重ね合わせによってさらに強い波が発生するとは考えられない。すなわち、翼弦に垂直なスパン方向の波はの場合応力場を決定する主要因とはなりにくいと推測される。従って、今回のような2次元楔形状に関する解析によっても波の干渉効果に関する本質的挙動は捉えられると考えられる。本解析結果は、「ブレード前縁での異物衝突が肉厚の薄い後縁部に分離破断をもたらす」ことが十分あり得ることを示すものである。換言すると、動的荷重の作用のもとでは、衝撃点直下ならびに近傍で生じる局所的損傷(local damage)とそれ以外の離れた個所で生じる構造的損傷(structural damage)との2つの異なる損傷形態について留意しなければならないということである。3次元ブレード形状に対する厳密な解析は今後の課題としたい。

ところで、応力波の干渉は幾何学的形状だけではなく媒質の密度あるいは弾性率など機械的特性の分布によってもたらされる。それ故、非等方的不均質3次元構造物のどこかに衝撃荷重が加えられた場合、何時どの場所で波の干渉が顕著になるかを把握することは単にセラミックブレードの損傷にとどまらず工学的に大変重要な課題であることを指摘したい。ここで話をやや広げ機械加工に着目すると、その本質は制御された破壊であるとの見方もできる。とすると、衝撃作用によって効果的に破壊を制御するという切り口から新しい加工法の可能性も出てくるのではないだろうか[6]。そもそも打撃によってものを加工するやりかたは石器時代にまで遡る極めて古い技術ではあるが、今人類はセラミックスという新たな石器を上手に使いこなそうとし始め第2次石器時代を迎えつつあるともいわれている。衝撃効果のさらに洗練された利用技術は無駄な仕事を省くのでエネルギーの有効利用にもつながる。

参考文献

- [1] 吉田博夫, 1999年, ガスタービン学会誌 27巻, pp.329-333.
- [2] Yoshida, et al., 1998, ASME paper 98-GT-399.
- [3] 機械研ニュース, 1999年 No.8.
- [4] 寺前哲夫, 浜田晴一, 1989年, 機械学会論文集 (A編) 55巻, pp.2423-2426.
- [5] ワイブル係数mを20とすると、引っ張り強度は4点曲げ強度の約0.8倍と小さな値になる。例えば, Davidge, R.W., 1979, "Mechanical behaviour of ceramics", Cambridge University Press参照.
- [6] 機械研ニュース, 1990年 No.10.

機械技術研究所研究発表会

11月8日(水) 情報システム技術分野

(印：講演者)

1. センサーフレンドリーな車間距離計測の提案

津川 定之・富田 康治・加藤 晋

(物理情報部)

車両後部に装着した一対の光マーカを追従車両のCCDカメラで観測し、三角測量の原理で車間距離を測定する手法を提案した。マーカのバタンを時間的、空間的に変化させて測定をロバストすることが可能である。

2. 車車間通信に基づく運転支援システム

加藤 晋・津川 定之

(物理情報部)

DGPS装置や車上センサを用いて得た絶対位置や速度情報等を、車車間通信装置を用いて周囲の車両と互いに通信しあうことによって、ドライバの運転を支援するための情報として提供するシステムについて報告した。

3. 車車間通信を用いた自律車両の協調走行

加藤 晋・津川 定之

(物理情報部)

周囲の車両と互いに絶対位置や速度情報等の車車間通信を行い、その相対位置関係や速度等から車両群の協調走行を分・合流路などで行う車両制御アルゴリズムを提案し、実験車両による走行実験について報告した。

4. リー代数を用いた作業動作表現と機構設計支援への応用

徳永 仁史・今村 聡

(物理情報部)

著者らの提案してきたリー代数に基づく機構のシンセシス法を用いて、要求作業（組立作業等）を機構のエンドエフェクタの軌跡として指定することにより、その作業を実現する機構構造を導出する方法を提案した。

5. 表裏のある立体の演算

松木 則夫

(物理情報部)

複雑な板物の形状生成で、通常の立体の集合演算を用いる方法では不要部分の除去やフィレットなどによるRoundingが操作者の経験に依存する部分が多く、演算が不安定になることが多かった。本手法では、立体に表裏の定義を導入することで、この問題への対応

策を提案した。

6. XMLを用いた溶接加工事例データベースの検討

大谷 成子¹・小島 俊雄²・小林 秀雄³

中原 征治³

(¹物理情報部)(²物理情報部長)(³生産システム部)

溶接加工の事例データベースシステムは、分散している加工知識を集合させて、加工事象を多面的情報で解明することが目標である。まず、事例の厳密な特徴記述を行い、XML化し、ネットワーク上で流通容易な形式とした。

7. 自己組立ロボットシステムの開発 - 複数ユニットによる組立実験 -

神村 明哉¹・村田 智¹・吉田 英一¹

黒河 治久²・富田 康治¹・小鍛冶 繁³

(¹物理情報部)(²極限技術部)(³極限技術部長)

これまで、自己組立や自己修復機能をもつユニット型構造体およびその自己組み替え手法について実験をすすめてきた。今回は、研究開発したユニットを、複数用いて行った組立実験について報告した。

8. 高速X線CTの開発と混相流の可視化

三澤 雅樹¹・市川 直樹¹・赤井 誠²

(¹物理情報部)(²統括研究調査官室)

医療用X線CTの百倍以上の速さで断層撮影が可能な高速X線CT用に開発した高感度半導体検出器と、高速X線CTによる流動層内のガス分布計測例について報告した。

9. マイクロ流路内の流れの可視化

市川 直樹¹・細川 和生²・前田 龍太郎²

三澤 雅樹¹

(¹物理情報部)(²生産システム部)

PIVとフォトクロミック色素法による100ミクロンオーダの微小な流路内の流れの可視化の研究の現状とこれまでに明らかになってきた問題点などについて述べた。

10. 静電型光モータに用いるPLZT素子の電気的特性

森川 泰¹・川口 浩司²・一木 正聡³

(¹物理情報部)(²東京電機大学)(³極限技術部)

PLZT素子の持つ光起電力効果によって発生する高電圧を利用して駆動する静電型光モータの研究開発を進めている。ここでは、この光モータに利用するPLZT素子の光起電力効果の電気特性について報告した。

11. 自律型小型無人飛行体のホバリングモードの運動解析

森川 泰¹・西郷 宗玄²・梶田 秀司²

市川 直樹¹

(¹物理情報部)(²ロボット工学部)

災害時の情報収集や施設の監視などに利用が考えられている空中を自律的に移動可能な小型無人機の検討を行っている。ここでは、この小型無人機の飛行モードのうちホバリングモードについて運動解析した結果を報告した。

12. 実用最大規模のLTA型成層圏プラットフォームについて

三澤 雅樹¹・恩田 昌彦¹・小島 俊雄²

綾 信博³・瀬戸 章文³・山根 隆志⁴

(¹物理情報部)(²物理情報部長)(³エネルギー部)

(⁴基礎技術部)

LTA型成層圏プラットフォームの耐風能力はその機体規模による。最大巡航大気速度40m/sの性能を持つ機体が全長300mのLTAビークルとして実現できる技術的条件を紹介し、その条件の達成可能性を議論した。また、こうした大規模なLTAビークルの離昇と回収法

についても紹介した。

13. 全光学型の液晶補償光学系を利用した擾乱媒体を通したイメージング

白井 智宏(物理情報部)

光書き込み型の液晶空間光位相変調素子とフィードバック干渉法を利用した全光学型の補償光学系を構築し、それが擾乱媒体を通したイメージングにおける劣化像の実時間回復に有効に機能することを実験的に示した。

14. レーザー光によるプラズマディスプレイパネルへの色素定着法の検討

古川 祐光¹・廣瀬 伸吾²・森 和男²

天神林 孝二¹

(¹物理情報部)(²生産システム部)

プラズマディスプレイパネルへ、発行色素を定着させるために、光ピンセットを用いる。これによりディスプレイ性能を劣化させる主要原因であった有機溶剤を使用することなく、パネルの作成が行える。

15. 直進テーブルの真直度計測 - 回転角度誤差の計測 -

天神林 孝二¹・古川 祐光¹・川添 勝²

(¹物理情報部)(²(株)アカシ)

二組の平行二面鏡を用いて、直進テーブルの真直度のうち回転角度誤差の三成分を幾何光学的に計測する手法について述べた。

11月9日(木) ロボット技術分野

(印: 講演者)

1. マトリックス法を用いた並進3自由度マイクロパラレルメカニズムの機構解析

小関 義彦¹・谷川 民生¹・小谷内 範穂¹

新井 健夫²

(¹ロボット工学部)(²大阪大学大学院)

骨組構造の解析に使用されるマトリックス法は有限要素法より少ない計算量で実行でき、マイクロステージなど切欠きヒンジを有する弾性機構の運動解析にも有用な方法である。そこで、解析の1例として、我々が開発した並進3自由度マイクロパラレルメカニズムの機構解析と考察を行った。そこでは高速な解析が確認された。これにより切欠きヒンジなどの最適パラメータの決定が容易になると考えられる。

2. 微細環境下における一軸型微小力センサを2つ用いた二軸力計測

谷川 民生¹・小谷内 範穂¹・新井 健夫²

(¹ロボット工学部)(²大阪大学大学院)

本報告では、二本指マイクロハンドの各指に一つずつ、計測方向を、把持方向とそれに対する垂直方向に一軸型微小力センサを計2つ取り付け、微細作業における2軸の力計測を試みた。実際の微細操作実験により、本手法の有効性を検証した。

3. マイクロファクトリ用運搬アームによる精密嵌め合い作業

前川 仁・小森谷 清(ロボット工学部)

マイクロファクトリ用搬送アーム(最大長さ100mm, 位置決め制度10 μ m)による嵌め合い作業を実現した。アームの先端に搭載したデバイスの受動的な変形と力センシング機能を利用して、クリアランスの狭い穴にピンを円滑に挿入することができる。

4. 伸縮脚機構をもつ2足歩行ロボットMeltranの実時間歩行制御

梶田 秀司・松本 治・西郷 宗玄

(ロボット工学部)

全高1.4m, 重量46kg, 全12自由度をもつ2足歩行ロボットMeltranの歩行制御方式について説明し, 実現した各種の歩行運動を紹介した.

5. Utilization of Inertial Effect in Damping-based Posture Control of Mobile Manipulator

姜 聖哲¹・小森谷 清²・横井 一仁²

神徳 徹雄²・谷江 和雄³

(¹韓国科学技術研究院)(²ロボット工学部)

(³ロボット工学部長)

As a measure for redundancy resolution of a mobile manipulator, an effective inertia at the end effector in the operational space is proposed and investigated. By changing the effective inertia property via null-motion we can get the reduced inertial property of the mobile manipulator. The algorithm is integ.

6. 屋内用全方向移動マニピュレータの動作制御

小森谷 清¹・横井 一仁¹・姜 聖哲²

前川 仁¹・宮田 なつき¹

(¹ロボット工学部)(²韓国科学技術研究院)

人間生活環境で実用出来るロボットとして移動マニピュレータの研究開発を進めている. こうした環境に対応する移動機能として全方向移動機能と姿勢安定化機能の2つに着目し, ハードウェアをベースにしてこれらの機能の実現を図っている. 本報告では開発した全方向移動機構の移動制御特性, および姿勢安定化制御に必要な床反発力計測結果について報告した.

7. 生体情報を利用した車椅子運動時の局所筋疲労評価

福田 修¹・甲田 壽男²・永田 可彦¹・

本間 敬子¹

(¹ロボット工学部)(²首席研究官)

上肢切断者が車椅子による運動やリハビリテーション訓練を行う際, 必然的に上肢局所の筋を酷使することになる. 本稿では, その際の疲労を無侵襲的に計測した生態情報(筋電位, 血中酸化率など)を利用して評価する方法を検討した.

8. メンタルコミットロボットが人に与える生理心理影響に関する研究 - 自律神経活動の変化について -

光井 輝彰¹・柴田 崇徳¹・和田 一義²

Li Yan¹・谷江 和雄³

(¹ロボット工学部)(²筑波大学大学院)

(³ロボット工学部長)

メンタルコミットロボットが人に与える生理心理影響を明らかにすることを目的とし, その第一段階として, メンタルコミットロボットとのインタラクションが自律神経活動に及ぼす影響について実験を行った.

9. メンタルコミットロボットの主観評価 - アンケート結果の集計と解析 -

柴田 崇徳¹・光井 輝彰¹・和田 一義²

Li Yan¹・谷江 和雄³

(¹ロボット工学部)(²筑波大学大学院)

(³ロボット工学部長)

東京ビッグサイトで開催された「夢の技術展」において, アザラシ型メンタルコミットロボットの展示を行い, ロボットとインタラクションを行った観客に対してアンケート調査を実施した. その結果について報告した.

10. 動物が人に及ぼす生理心理影響の調査とまとめ

和田 一義¹・柴田 崇徳²・光井 輝彰²

Li Yan²・谷江 和雄³

(¹筑波大学大学院)(²ロボット工学部)

(³ロボット工学部長)

動物は人に楽しみや安らぎ等の精神的な効果を与える事が指摘され, 様々な研究が行われている. それらの研究から, 動物が人に及ぼす生理心理の影響について調査し, それを動物が持つ機能として捉えモデル化し, メンタルコミットロボットへ適用するための仮説について述べた.

11. 非ホロノミック系操作のためのヒューマンインターフェース

荒井 裕彦(ロボット工学部)

車両など人間にとって扱いやすい非ホロノミック系を操作する技能を利用して, 宇宙ロボットなどの直感的な操作が困難な系を扱うためのインターフェースを提案した. 操作が難しい実際の系を, 扱いやすい等価な仮想系に変換し, 操作者に提示することで操作感を改善した.

12. 遠隔操作システムの操作性の比較検討

神徳 徹雄・横井 一仁・小森谷 清

(ロボット工学部)

近年のネットワークロボティクス領域研究の活性化につれてHRPのスーパーコックピットや機械技術研究所内のISDN回線を利用した遠隔操作システム等の様々な遠隔操作システムの提案が行われ, それぞれの特長を生かしたデモンストレーションが行われている. そ

ここで本報告では、一般的な遠隔操作システムの操作性を比較検討するための検討を行った。

13. 遠隔作業のための臨場感視覚システムの試作と評価

小田野 清香¹・大場 光太郎²・神徳 徹雄²
 丁 各榮²・佐々木 久幸³・谷江 和雄⁴
 田原 久旗¹
 (¹東京工科大学)(²ロボット工学部)(³筑波大学)
 (⁴ロボット工学部長)

本報告では、遠隔操作を行う際の問題点である、遠隔地の作業状況を作業者の容易な理解を可能とするため、作業ロボットに多数のカメラを配置し、作業者の動きに同期して切り替えることによる臨場感視覚シス

テムの試作と評価を行ったものである。

14. Depth From Focus Criteria with Best Focal Distance comparison and evaluation.

Carlos Pedraza¹・大場 光太郎¹・谷江 和雄²
 (¹ロボット工学部)(²ロボット工学部長)

The proposed Depth From Focus Criteria with Best Focal Distance is widely analyzed. Here, the IQM function, (used to get the best performance focal distance) is evaluated and compared with other evaluation functions. A set of simulation images are used to evaluate the performance of the evaluation functions and the results are presented.

機械研ニュース目次

2000年No.1～12 ()内の数字はNo.を示す

(1) 論説	
新年のご挨拶	(1)
平成12年度研究業務計画の概要	(4)
(2) 材料技術	
摩擦形態が異なる場合のダイヤモンドライクカーボン膜とプラスチックとの摩擦摩耗	(2)
MGC超高効率タービンシステム技術の先導研究	(2)
放電プラズマ焼結法を用いて作製したNb-Si-X(X:Cr, MgO, Y ₂ O ₃ , CaO)系 金属間化合物及び複合材料の耐酸化性	(3)
金属アルコキsidを利用した摩擦・摩耗低減方法	(9)
SUS304の結晶粒極微細化による超塑性挙動の改善	(9)
(3) 生体工学	
MR対応手術支援ロボット	(6)
血液適合性材料の評価系の開発 - 動的条件下での血小板粘着の実時間観察 -	(7)
生体組織モニタリングプローブ付き脳への試作	(8)
MRコンパチビリティの評価手法に関する検討	(8)
生体の光イメージングに関する研究	(11)
人工心臓の血液凝固を可視化で防ぐ	(12)
(4) 情報・システム技術	
進化型設計技術 - 製品の再生を目指して -	(5)
ユニット型自己組立ロボットの開発	(5)
産業用X線CTの新しい流れ	(5)
エレメントフリーガラキンを併用した非連続メッシュのための有限要素法	(5)
複数台の自動運転車両による協調走行 - 雁の渡りやイルカのような車群を目指して -	(10)
形状記憶合金を用いたマイクロ自己組み立てユニット	(10)
液晶素子の固有偏光を用いた空間光位相変調	(10)

(5) 基礎機械技術	
デスクトップタイプの機械加工マイクロファクトリ	(6)
水蒸気およびシクロヘキサン雰囲気下での雲母表面の凝着特性	(6)
イオン注入材料改質法を用いたマイクロマシンデバイスの作成	(7)
高架橋道路に発生する振動モードのクラスター化	(11)
摩擦顕微鏡を用いた微細機械加工とエッチングの併用によるマスクレスパターン形成	(11)
スパッタチタン薄膜の引張強さに及ぼす膜厚の影響	(11)
(6) エネルギー技術	
レーザーアブレーションによって作製したナノ粒子のDMAによる計測とサイズ [※] 制御	(1)
ArFエキシマレーザーによるCH ₄ -Air予混合気の着火制御	(7)
予混合圧縮着火機関における混合気形成過程の数値解析	(7)
粒子画像速度測定法(PIV)の乱流抑制現象への適用	(9)
衝撃と応力波の干渉と破壊	(12)
低温生成技術の高性能化	(12)
(7) 生産技術	
加工技術データベースとWWW応用システム	(2)
各種加工条件下における脆性材料の延性モード切削の観察	(3)
YAGレーザーパルス照射時の除去断面積と加工音の相関性	(3)
工作機械の概念設計評価手法の研究	(8)
シリコンラバーマイクロバルブの開発	(8)
摩擦電子と摩擦フォトンのエネルギー計測	(9)
(8) ロボット技術	
回転中心を同一とする3自由度ステップモータ	(1)
天井走行式リフト動作の安全性に関する官能評価	(1)
協調型パワーアシストの研究	(2)
ロボットによる遠隔協調作業実験	(11)
(9) その他	
工業技術院機械技術研究所におけるISO14001認証取得について	(1)
第3回「フォトン計測・加工技術」シンポジウム	(1)
サイエンス・フロンティアつくば999	(1)
公開特許出願	(1)
機械技術研究所研究発表会	(1,3,5,6,7,8,10,12)
行事予定	(1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12)
平成12年度研究発表会等日程	(2)
平成11年度流動研究員(下半期)	(2)
ウインターインスティテュートにより韓国から研修生を受入れ	(3)
一般公開のお知らせ	(3)
特許流通フェア2000 in TOKYO	(3)
技術交流inつくば2000	(3)
最近の出版物	(3,5,10)
平成12年度研究計画	(4)
平成12年度予算額	(4)
平成11年度外国人研究者招へい実績	(4)
人事異動	(4,5,7,10)
一般公開事後報告	(5)
機械技術研究所研究講演会	(5,6,9,10)

統一公開のご案内	(6,7)
平成12年度共同研究	(8)
平成11年度技術指導	(8)
マイクロ旋盤のNC化に成功	(8)
研究講演会事後報告.....	(8,11)
平成11年度所長賞	(9)
統一公開事後報告	(9)
サマーインスティテュートによる研修生受け入れ	(9)
国際新技術フェア2000事後報告	(11)
2000 秋 特許流通フェアin東京事後報告	(11)
北陸技術交流テクノフェア2000事後報告	(12)
ロボフェスタ神奈川2001プレ大会事後報告	(12)
機械研ニュース2000年目次	(12)
平成12年度上半期流動研究員	(12)

平成12年度流動研究員（上半期）

所属機関	氏名	研究期間	研究題目
(招へい) 国立大学			
茨城大学	金野 満	平成12年7月3日～8月25日(20日間)	DMEエンジンの研究開発 ダイナミクスが変化する移動ロボットの安定化制御に関する研究
岐阜大学	谷 和男	平成12年8月21日～8月23日(3日間)	
群馬大学	大橋 隆弘	平成12年8月28日～9月1日(5日間)	マイクロ塑性加工における工具表面構造と被加工物挙動・潤滑特性の評価に関する研究
京都大学	中部 主敬	平成12年9月18日～9月20日(3日間)	非ニュートン流体の伝熱促進に関する研究
大阪大学	片山 聖二	平成12年9月18日～9月21日(4日間)	レーザー応用表面改質技術に関する研究
金沢大学	大谷 吉生	平成12年9月20日～9月23日(4日間)	クリーン環境におけるトライボロジーの研究
公私立大学			
湘南工科大学	北原 時雄	平成12年6月12日～6月16日(5日間)	マイクロ発電システムに関する研究 車車間通信に基づく自動運転車両群の協調走行
成蹊大学	青木 正喜	平成12年8月1日～8月31日(10日間)	
東京都立大学	中村 達也	平成12年8月15日～8月17日(3日間)	リアクティブ・ロコモニピュレーションの研究
早稲田大学	朝日 透	平成12年9月14日～9月29日(5日間)	強誘電性トランスデュ・サの光学特性と分極反転機構に関する研究

平成12年度中小企業技術指導員研修過程1ヶ月コース - 先端技術（新材料） -

氏名	所属機関	実習テーマ	指導担当部課及び担当者
森本英樹	富山県工業技術センター	熱流体解析	物理情報部 計測制御研究室 恩田昌彦

北陸技術交流・テクノフェア 2000

さる10月27日(金)～28日(土)の2日間、福井県産業会館、福井県中小企業産業大学校、福井県生活学習館において、北陸技術交流・テクノフェア 2000が開催されました。

当所からは、ロボット工学部自律制御研究室の「2本指マイクロハンド」のテーマの出展をしました。

会場には、企業関係者や学生を中心に2日間を通じて29,400名近い来場者があり、盛況の内に幕を閉じました。



行事予定

12月

13日(水) 所内研究発表会
基礎機械技術分野

14日(木) 所内研究発表会
エネルギー技術分野

ロボフェスタ神奈川2001プレ大会

平成12年11月4日5日神奈川県川崎市中原区の川崎とどろきアリーナにおいて、「ロボフェスタ神奈川2001プレ大会」が開催されました。

この大会は、ものづくりの総合性を体験的に理解することができるロボット技術への国民的関心が高まる中、ロボット競技を核にして多彩なエキジビションとフォーラムとを組み合わせた国民的かつ国際的なイベント「ロボット創造国際競技大会」として開催されました。

21世紀に向けた、このプレ大会を記念し、当所からは「メンタルコミットロボット」を出展しました。

この2日間で、産・学・官の分野から38,100名の方が来場され盛況の内に幕を閉じました。



編集 通商産業省 工業技術院
発行 機械技術研究所

〒305-8564 茨城県つくば市並木1丁目2番地
TEL.0298-61-7035・7036(業務課)
URL.<http://www.mel.go.jp/>

印刷所 朝日印刷株式会社

(通巻588号)