技術功績

(1) 機械インピーダンスに準拠したアクティブセンシング技術とバイオ・医療・産業応用への貢献

金子　真*
(1954年生)

バネ，ダンパー，質量は，それぞれ変位，速度，加速度を力に変換する機械要素であり，これらは総称して機械インピーダンスと呼ばれる．この定義からわかるように機械インピーダンスは能動的な動きまたは力を対象物に与えない限り計測することはできない．例えば，対象物のバネ定数は，剛体棒で対象物に既知変位を加え，そのときの反力を計測してはじめて求まる．逆に機械インピーダンスが既知のプローブがあればセンサができる．柔らかい釣り竿を持って，硬い対象物に押し当てた場合，接触位置に応じてヒトが手元で感じる硬さは変化する．例えば，接触点が先端に近くなると柔らかく感じ，手元に近づくと硬く感じる．このことは手元で感じる硬さが接触位置の関数になることを意味している．つまり，機械インピーダンスが既知の棒の根本にトルクセンサとアクチュエータを組み込むだけで，センサ機能を持たない棒が見かけ上“分布型触覚センサ”に変身する．これが機械インピーダンスに準拠したアクティブセンシングのマジックである．質量分布が既知の弾性棒が対象物とダイナミックに接触した場合，一次固有振動数と二次固有振動数が計測できれば接触点が一意に決まるという性質も分布型触覚センサに有効利用できる．また弾性棒先端が環境に接触することが保証されていれば，環境の凹凸形状が100μm以内の精度で計測できる点に着目し，自動車エンジン部品に組み込まれている非貫通めねじ（M6～M16）の有効ネジ長が測れる超シンプル触覚センサの実用化にも成功している．一方，生体組織の硬さ計測に対するニーズは医療分野ではきわめて高い．重要なことは硬さの絶対値というよりも，周囲の組織に対して相対的に硬さが違う部位を見つけることである．この点に着目し，硬い組織を空気噴流によって浮彫にする“硬さイメージャ”を着想し，医療現場で生体組織を傷つけることなく患部を見つける一手法として貢献した．さらにマイクロ流路内の狭窄部で細胞を一時的に静止させることによって細胞の硬さと粘性を同時に評価する手法を提案し，赤血球の機械インピーダンスが時間に対して非線形時変パラメータになることも明らかにしている．これらの研究業績に対する引用は，2017.3.28時点でScience, Natureをはじめ工学・医学分野合わせて3250件（researchgate）を超えている．

* 正員，大阪大学（〒565-0871 吹田市山田丘2-1）

技術功績

(2) 人体装着型動作支援ロボット用ヒューマン－ロボットインターフェイスに関する研究

木口 量夫*
(1964年生)

人体に直接装着して装着者の動作を支援する人体装着型動作支援ロボットに関する研究開発において主導的な役割を果たし，特にヒューマン－ロボットインターフェイスの技術的進歩に大きく貢献した．ヒューマン－ロボットインターフェイスの研究では，筋電信号および脳波信号を用いて実時間でロボット装着者の動作意思を推定する技術の発展に寄与した．一般的に筋電信号あるいは脳波信号を用いてロボットの制御を行う場合は，様々な問題（例えば，筋電信号の場合，疲労等の体調の影響を受ける，個人差が大きい，姿勢の影響を受ける等の問題）があるため，ON-OFFのトリガー信号として使われることが多い．その中で，人体特性を考え，複数チャンネルの筋電情報を用い，更に姿勢の変化による各筋肉の長さや位置関係およびモーメントアームの変化を考慮することでロボット装着者の詳細な動作意思を実時間で推定する手法の技術的進歩に貢献した．個人差等に対する対応としては，独自の適応手法を提案してきた．

また，筋電と脳波のハイブリッド信号，あるいは脳波を主に用いて実時間でロボット装着者の動作意思を推定する手法の技術的進歩にも貢献しており，ヒューマン－ロボットインターフェイスに関する研究を先導した．筋電と脳波のハイブリッド信号を用いる手法では，欠落した筋電信号を脳波信号で補う技術の発展に寄与し，脳波を主に用いる手法では，主要脳波信号の選択法や特徴抽出法に関する技術の発展に寄与した．

更に，独自に提案された「認知アシスト」は他に例を見ないオリジナル技術であり，人間装着型ロボットの安全性を向上させるために重要となる．本技術は，動作支援を必要とする人の場合，筋力のみではなく環境認知能力も低下している場合が多いことを考慮し，環境認知ミスによる事故を防止するために提案された技術である．認知アシストでは，ロボットが装着者と環境との相互作用を常に監視し，事故につながる動作が検知された場合は，ロボット側で自動的に装着者の危険動作を安全な動作に修正する手法であり，安全性を向上させる技術の発展にも貢献した．

* フェロー，九州大学（〒819-0395 福岡市西区元岡744）

技術功績

(3) 自動車用燃料電池システムの開発と実用化への貢献

木崎 幹士*
(1959年生)

環境・エネルギー問題への対応として，電気・水素の活用が期待されている．なかでも水素は電気と比べ，エネルギー密度が高く貯蔵や輸送が容易なため，エネルギーの地域的な偏りの解消や，自然エネルギーの課題である変動・不安定への対応も可能であり，低炭素社会実現の担い手として重要度が高まっている．燃料電池自動車（FCV）は，その水素を燃料とする自動車であり，高い商品性をもつエコカーとして開発意義は非常に高い．

受賞者は1999年より17年に渡り燃料電池自動車（FCV）開発の分野において世界トップの燃料電池（FC）システムの開発に取組み，未開拓な領域の多いＦＣの技術開発の方向性を見極め，開発方針の立案と推進で以下に示す技術を開発しFCVの実用化に貢献している．

2002年に世界初のFCV限定販売を実現．その開発において現在のFCVの基本となる２次電池とのハイブリッド構成・高圧水素タンクシステムを開発．

2008年にFCシステムの大きな課題と言われていた氷点下始動を，FCのインピーダンスを計測してFC内の残水量を管理し，内燃機関では成し得ない急速にシステムを昇温する急速暖気運転方法を開発し，－30℃からの始動を可能とした．更に70MPa高圧水素タンクの開発と燃費の向上でガソリン車並みの航続距離を実現．

2014年には商品化に向け最大課題であったFCシステムのコストを，

1）世界トップのFCスタック出力密度や高圧水素タンク水素貯蔵性能など，ユニットの高性能化による小型・軽量化で，Ptやカーボンファイバーなど高価な材料の使用量低減
2）自動車用FCでは常識とされていた外部加湿器の廃止実現や部品の統廃合
3）FC用昇圧コンバータの開発で既存HVのモーターを使用可能とした事など量産品の流用

などで画期的に低減し世界初のFC量産車販売を実現（MIRAI）．

結果，日本が推進する水素社会の実現にも大きく貢献している．

* 正員，トヨタ自動車㈱　FC技術・開発部（〒471-8571 豊田市トヨタ町1番地）

論　文

(1) X線回折を用いた深さ方向の溶接残留応力分布の非破壊評価

小川　雅*
（1982年生）

近年，疲労や応力腐食割れ（SCC）に晒される構造物をより長く，安全に使用するために，き裂の非破壊検査が行われているが，構造物の余寿命を評価するためには，さらに検出されたき裂の進展速度を予測する必要がある．き裂進展速度は応力の大きさに依存するため，部材全域の三次元残留応力分布を非破壊で評価することが重要である．また，設計時に残留応力を考慮することができれば，構造物の寸法や検査間隔などの決定に寄与することができ，施工時に残留応力を定量評価できれば，品質のばらつきを把握することができる．

現在，残留応力を非破壊で評価する方法として，例えばX線回折法や中性子回折法，熱弾塑性有限要素法（FEM）に基づく数値解析方法がある．しかし，X線回折法では，部材表面しか計測することができない．中性子を用いれば，内部の残留応力を計測できるが，専用の照射施設へ部材を現場から切り出して持っていく必要がある．そのため，部材を切り出した際に応力が解放されてしまい，本来の値を得ることが難しいという問題がある．数値シミュレーション方法は，定性的な傾向の把握には有効であるが，溶接のように，同じような施工条件でもばらつきがある場合には，個々の定量評価が求められる．

著者は，中性子回折を用いず，現場で利用可能なX線回折法を用いて部材表面の残留ひずみを測定し，固有ひずみ理論に基づく逆問題を利用して，部材全域の三次元残留応力分布をFEMにより推定する非破壊手法を提案した．本論文では，溶接継手を対象とした数値解析により，深さ方向の残留応力分布を比較的精度よく推定できることを示した．ここで，比較的高い推定精度を得るためには，接合部付近の弾性ひずみをより多く計測する必要があるが，近年のX線回折装置の発展により，多くの点を迅速かつ自動で計測できるようになってきており，現場利用への実現性が高まっている．

本手法は，熱弾塑性シミュレーションのような多くのパラメータや複雑な構成方程式を要するアプローチとは異なり，弾性計算のみであり，対象物の材質（ヤング率，ポアソン比）と寸法がわかれば適用することができる．そのため，溶接の分野だけでなく，溶射，塑性加工，表面改質など，残留応力の観点で機械構造物の品質や安全性に関わるすべての分野において，本手法が現場でひろく利用されることが期待される．

* 掲載：日本機械学会論文集，80-815，(2014-7)，SMM0195.
*1 正員，横浜国立大学　(現）工学院大学（〒163-8677 東京都新宿区西新宿1-24-2）

論　文

(2) 広ひずみ速度域に対応したクレーズ挙動のモデル化とその結晶性ポリマの破壊予測シミュレーションへの応用

高橋 順一*1　山本 敏治*2　志澤 一之*3
（1970年生）　（1958年生）　（1958年生）

最近では，自動車車体におけるポリマの使用比率は重量比で10%にも達するという報告があり，工業製品にポリマが幅広く用いられていることがわかる．また，多くの工業製品の設計には，開発期間の短縮やコスト低減のために計算機シミュレーションが広く活用されている．このため，計算機シミュレーションによって大変形をともなうポリマの破壊過程および破壊部位を正確に予測することに期待が寄せられている．ポリマ製品の設計では，ポリマ特有の力学的応答を再現できる材料モデルを用いてシミュレーションを実行し，かつポリマ特有の破壊機構に基づき破壊を予測できることが望ましい．金属とは異なり，ポリマは室温においても単軸引張試験の応力-ひずみ関係で顕著なひずみ速度依存性を示し，破壊に至るまでの変形過程でクレーズと呼ばれる微視的損傷が蓄積される．クレーズは分子鎖の束であるフィブリルとボイドで構成されており，フィブリルにより荷重を支えることができるという点で金属のマイクロボイドとは異なる．蓄積したクレーズの集中部でフィブリルが荷重を支えきれなくなると，ボイドの結合によりクラックが発生し，最終的にポリマは破断すると言われている．

本研究では，著者らにより既に提案されたクレーズ依存の非共軸弾粘塑性構成式，ひずみ速度硬化則，クレーズ発生条件式およびクレーズ発展式において，クレーズ発展式を中心に再検討を加えることで，幅広いひずみ速度域を対象とした単軸引張実験において精度よくポリマの破断を商用FEMソルバで予測可能とした．クレーズ発展式の再検討では，クレーズの発生とクレーズの成長という２つの異なる挙動を分離したうえで，新たな定式化を行った．また，引張方向への高クレーズ密度領域の伝ぱに対するひずみ速度依存性をシミュレーションで示すとともに，数値解析で得られるクレーズ密度に基づく破断予測部位が実験で認められる傾向と一致することを示した．

本研究で得られた成果はユーザサブルーチンを介して多くの商用FEMソルバで利用可能であることから，力学的に苛酷な条件で利用されるポリマ製品の設計開発において，本研究の成果が活用されることが大いに期待できる．

* 掲載：日本機械学会論文集，79-800，A編（2013-4），380ページ．
*1 正員，慶應義塾大学大学院　理工学研究科　(現）旭化成㈱　生産技術本部　生産技術センター（〒210-0863 川崎市川崎区夜光1-3-1）
*2 正員，旭化成㈱　生産技術本部　生産技術センター（〒210-0863 川崎市川崎区夜光1-3-1）
*3 フェロー，慶應義塾大学　理工学部（〒223-8522 横浜市港北区日吉3-14-1）

論　文

(3) マルチエバポレータ型ループヒートパイプの内部流動特性に関する研究（微小重力環境下での蒸発器及び凝縮器の可視化）

松田 雄太*1（1990年生）　長野 方星*2（1974年生）　岡崎 峻*3（1985年生）

小川 博之*3（1968年生）　永井 大樹*4（1972年生）

近年の宇宙ミッションの高度化，多様化に伴い，宇宙機の熱設計要求はより一層厳しいものとなっている．そのような中，次世代の熱輸送デバイスとしてループヒートパイプ（Loop Heat Pipe，以降LHP）が期待されている．LHPは作動流体の蒸発と凝縮による潜熱を利用して熱を輸送し，多孔質内で生じる毛細管力を駆動力とする気液二相流体型熱輸送デバイスである．LHPは近年国内外の人工衛星の素子冷却に利用されつつある．しかし，将来の宇宙ミッションは，より機能的な熱制御ができるデバイスが求められている．そのような背景の下，ループ内に複数の蒸発器を持つマルチエバポレータ型LHP（Multiple Evaporators LHP，以下MLHP）が研究されている．MLHPは従来のLHPの特長に加え，複数の蒸発器間での熱共有機能を有しているため，エネルギーの有効利用が期待できる．しかし，MLHPにおける流動変化やリザーバ内の複雑な挙動はこれまで十分に明らかにされておらず，詳細なモデルが存在しない．

そこで本研究は，微小重力環境下でのMLHPの内部熱流動を可視化実験により観察し，内部の気液分布と伝熱挙動を明らかにすることを目的とする．本論文では，MLHPの微小重力環境下での内部熱流動特性を明らかにするため，ボアスコープおよびハイスピードカメラを用いて蒸発器内部および凝縮器を可視化できるMLHPを新たに設計，製作し，パラボリックフライトにより微小重力環境での熱流動を観察した．得られた結果を以下にまとめる．

・各種条件下での熱輸送時にウィックコアでの熱リークによる気泡発生，およびリザーバ内部の気液分布を微小重力環境下において初めて明らかにした．気液分布の様子は重力環境下と微小重力環境下で大きく異なることが明らかとなった．
・凝縮器での凝縮過程をハイスピードカメラを用いて観察した．気液二相流動様式が重力環境下では波状流，スラグ流であったのに対し，微小重力環境下では環状流に変化することが確認された．また，微小重力環境下では凝縮器内における液単相領域が短くなることが明らかとなった．この原因は外気の自然対流の減少や熱リーク量の減少，および凝縮器での流動様式の変化が大きく影響していると考えられる．
・異なる熱負荷条件における各要素での熱収支分布を見積もった．また，熱リークによる気泡発生量からも，その見積もりが妥当であることが確認された．また，片側熱負荷における，凝縮器と非加熱側の蒸発器への質量流量比を明らかにした．

* 掲載：日本機械学会論文集，81-827，(2015-7)，15-00104.
*1 正員，名古屋大学大学院航空宇宙工学専攻（現 ㈱デンソー）（〒464-8603 名古屋市千種区不老町）
*2 正員，名古屋大学大学院機械理工学専攻（〒464-8603 名古屋市千種区不老町）
*3 正員，宇宙航空研究開発機構　宇宙科学研究所（〒252-5210 相模原市中央区由野台3-1-1）
*4 正員，東北大学流体科学研究所（〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1）

論　文

(4) 加振機構を用いた自励振動ヒートパイプの熱輸送特性に関する基礎的研究（有効熱伝導率の測定）

三浦 正義*1（1988年生）　長崎 孝夫*2（1956年生）　伊藤　優*2（1972年生）

近年，電子機器の小型化が進み，冷却空間が減少するとともに，電子機器の多機能化･性能向上に伴い，発熱密度が増加している．そのため，より小型でより熱輸送量の多い熱輸送デバイスが必要とされている．その中で，従来のヒートパイプと異なる熱輸送機構をもつ自励振動ヒートパイプが，高性能な熱輸送デバイスとして注目されている．自励振動ヒートパイプは，加熱部と冷却部の間を複数回往復させた流路内を真空排気したのちに，流路体積の半分程度の作動液体を封入したものであり，液柱の自励振動により熱が輸送される．しかし，この自励振動ヒートパイプの中で生じる相変化を伴う細管流路内気液二相の往復振動流における流れと伝熱は複雑であり，その熱輸送機構は十分に解明されていない．特に，自励振動ヒートパイプでは潜熱輸送（作動流体の相変化による熱輸送）と顕熱輸送（流路壁と作動液体の間の対流熱伝達による熱輸送）の両方が生じることが特徴であるが，これら寄与の割合は明らかではない．そこで本研究では，加熱部と冷却部を設置した直線流路内において，作動液体を種々の振動条件で強制振動させることで自励振動ヒートパイプにおける熱流動現象を模擬し，作動液体の往復振動による熱輸送特性を明らかにした．このとき，気相を作動流体蒸気（単成分系）および大気圧空気（２成分系）として実験を行った．単成分系では潜熱輸送と顕熱輸送が同時に行われ，２成分系では顕熱輸送のみが行われる．これら２つの系のそれぞれにおいて，振動する作動流体の有効熱伝導率を算出し，潜熱輸送と顕熱輸送が同時に行われる単成分系の有効熱伝導率から，顕熱輸送のみが行われる２成分系の有効熱伝導率を差し引くことにより，潜熱輸送の有効熱伝導率を評価した．これにより，振動振幅や振動周波数などの液柱振動条件が潜熱輸送，顕熱輸送のそれぞれに及ぼす影響，および熱輸送全体に対する潜熱輸送と顕熱輸送の寄与の割合を明らかにした．さらに，振動する作動液体における顕熱輸送を検討するために数値解析を行い，実験結果と比較した結果，振動する液柱の先端に対して先行する液膜が顕熱輸送に影響を与えることが示唆された．以上の研究結果から，自励振動ヒートパイプにおける液柱の往復振動に伴う熱輸送特性を解明することができた．

* 掲載：日本機械学会論文集，81-827，(2015-7)，14-00651.
*1 正員，東京工業大学 大学院総合理工学研究科 創造エネルギー専攻（現）神奈川大学 工学部 機械工学科（〒221-8686 横浜市神奈川区六角橋3-27-1）
*2 正員，東京工業大学 工学院 機械系（〒226-8502 横浜市緑区長津田町4259）

論　文

(5) インバータロータリ圧縮機の吸込配管系における過給効果の予測手法

久保田 淳*1（1971年生）　香曽我部 弘勝*1（1954年生）　田所 哲也*2（1969年生）

地球温暖化の防止のため，冷凍空調機器では低負荷から高負荷まで，幅広い運転条件での省エネが求められている．このため，冷凍空調機器の運転に応じてモータ回転数をインバータで制御する，ロータリ圧縮機が広く用いられている．一方，インバータロータリ圧縮機のシリンダ容積やモータの最高回転数，モータ容量を設計する上で，運転条件の中でも高負荷条件が特に重要である．この高負荷条件では，圧縮機の吸込配管系における冷媒の気柱共鳴により，特定の共振回転数で冷媒の循環量が増大する過給効果が知られている．しかしながら，過給効果と冷媒物性や圧縮機シリンダ寸法，モータ回転数等の設計因子との相関関係や，過給効果が冷媒循環量や圧縮機効率に及ぼす定量的な影響について，簡便かつ高精度に予測する手法が十分ではなかった．

そこで本研究は過給効果の有効活用を目的に，理論解析と実験データ分析に基づいて，設計因子から共振回転数を予測する式と，その共振回転数から冷媒循環量の増加率を予測する手法を提案した．ここで実験データは，広範囲の設計因子を検証できるように，単段圧縮だけでなく二段圧縮も含めた三種類の圧縮機を対象とし，冷媒もR410AとR22の二種類を用いたものである．

まず共振回転数の予測では，吸込配管系の冷媒の圧力変動を単純な矩形波でモデル化し，シリンダ内の吸込工程との相互作用を考察することで定式化した．その結果，共振回転数が高くなるに伴い，従来の吸込配管長と冷媒音速だけを考慮したHelmholtzの式では，吸込工程の位相遅れの影響が無視できないことが分かった．そこで，その位相遅れを吸込終了角度という設計因子で代表させて，従来の式を補正した．さらに共振回転数が高くなるに伴いその位相遅れの影響が顕著となり，逆に共振回転数が低くなるに伴いその影響が無視できるようなダンピング関数を導入し，実験データから係数を求めて予測精度を向上した．この共振回転数の予測式は，本実験範囲において－1～3％の精度で実験と一致することが確認できた．

最後に，音響理論に基づいた強制振動の近似解と実験データを比較することにより，過給効果が冷媒循環量に及ぼす影響を考察した．その結果から，モータ回転数を共振回転数で除した無次元回転数を変数として，冷媒循環量の増加率を予測する実験相関式を提案した．今後，本予測手法が高負荷条件での圧縮機設計に活用され，冷凍空調機の省エネ設計に貢献することを期待する．

* 掲載：日本機械学会論文集，80-818，(2014-10)，TEP304.
*1 正員，㈱日立製作所　研究開発グループ（〒312-0034 ひたちなか市堀口832番地2）
*2 日立アプライアンス㈱（現）日立ジョンソンコントロールズ空調㈱（〒329-4404 栃木市大平町富田500番地）

論　文

(6) Nano powder transportation by combining plasma actuation and electrostatic mixing in a tube

高奈 秀匡*1（1976年生）　中川路 周作*2（1989年生）　上原 聡司*1（1985年生）　西山 秀哉*3（1952年生）

近年，粉体プロセス業界や食品，製薬産業における気流による細管内微粒子輸送では，微粒子輸送量の時間的変動や微粒子付着による細管内閉塞が問題となっており，原料微粒子の安定な供給が強く要請されている．また，PM2.5による健康被害から汚染微粒子の効率的捕集と表面浄化法の確立が求められている．

本論文は，低電力で管内旋回流を発生させることができるプラズマアクチュエータチューブを独自に開発し，作動条件や電極螺旋角に対する３次元管内微粒子流動構造およびプラズマ構造，消費電力，流量特性，プラズマアクチュエータ駆動力，微粒子帯電特性，オゾン濃度分布，さらにはナノ粒子輸送割合を相互に関連づけて実験的に明らかにしたものである．

本論文で提案した微粒子搬送方法では，誘電体の円管内外壁に螺旋状に巻いた一対の電極に交流電圧を印加し，管内壁近傍に誘電体バリア放電を発生させ，誘起された旋回流や帯電微粒子に作用する静電気力により管内のナノ粒子を撹拌・搬送するものである．また，本装置では，空気を作動流体とした場合では，放電により生成されたオゾンにより，搬送と同時にナノ粒子表面や管内壁を浄化することが可能となる．

ステレオPIVにより管内の３次元微粒子流動構造を詳細に解析し，電圧を印加した瞬間に旋回成分を有する誘起流が内壁面近傍に生じ，電極螺旋角度により誘起流のスワール比を制御することが可能であることを明らかにした．また，平均粒径30nmのアルミナ微粒子を用いた管内搬送実験では，電極近傍において帯電微粒子が交流電場により激しく撹拌されつつ，誘起旋回流により管軸方向に搬送される様子が観測された．さらに，プラズマアクチュエータチューブ電極螺旋角で管内旋回流のスワール比を変化させることにより，ナノ粒子輸送量の制御が可能となり，消費電力に対し線形的に増加し安定的に輸送できることを明らかにした．放電により生成されたオゾンは，管内壁近傍において最も濃度が高く，中心に向かい旋回拡散するが，電極螺旋角度を小さくしてスワール比を大きくし，管内での滞在時間を長くすることにより，管断面でのオゾン濃度がより均一になることが明らかとなった．以上，本研究は，プラズマアクチュエータチューブに誘起される旋回流による細管内微粒子輸送と細管内閉塞抑制および発生オゾンによる微粒子表面や細管内壁浄化に多大な寄与をするものである．

* 掲載：Journal of Fluid Science and Technology, 10-2, (2015-7), jfst0011.
*1 正員，東北大学流体科学研究所（〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1）
*2 元東北大学大学院工学研究科（〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6）
*3 フェロー，東北大学流体科学研究所（〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1）

論　文

(7) 高レイノルズ数円管流における平均速度分布型に関する実験的研究

和田 裕貴*1 (1989年生)　古市 紀之*2 (1971年生)　寺尾 吉哉*3 (1958年生)　辻　義之*4 (1963年生)

流体を工学的に利用する際，多くの場合に乱流状態となり，流体は壁と接していることがほとんどである．そのため，壁と境界を有する壁乱流は工学的に重要な流れ場のひとつである．壁乱流は，壁面の影響の及ぶ範囲（内層）と主流の影響が及ぶ範囲（外層）が存在し，中間には内層と外層両方の影響を受けるオーバーラップ領域が存在する．このオーバーラップ領域では，対数則やべき乗則といった特徴的な平均速度分布型を有することが従来から知られている．近年では流体制御による抵抗低減などが試みられてきているが，抵抗低減効果を流体運動の観点から定量的に評価するためには，実用的な高レイノルズ数において基準となる滑面での速度分布型を明らかにすることが重要である．数値計算技術の発達はめざましいが，高いレイノルズ数を実現することは未だ困難であり，高精度な実験データの取得は今なお必要とされている．

本論文では，速度分布計測方法を示すとともに，計測された平均速度分布と従来提案されてきた分布型との差異を比較し，高レイノルズ数円管乱流における平均速度分布型の特徴を明らかにした．

本研究は，円管乱流速度分布のデータベースとして広く利用されることを念頭に計測をおこなった．本論文で扱った流速分布は，産業技術総合研究所における高レイノルズ数実流試験設備（Hi-Reff）をはじめとする，高レイノルズ数かつ高精度な流量制御可能な実験設備において，レーザードップラー流速計（LDV）を用いて取得された．本設備は水流量に関する国家標準設備であり，静的秤量法を用いて高い精度の流量計測をおこなうことができる．速度計測位置は，試験部のガラス管での屈折やLDVの計測体積と壁面との干渉を考慮し，壁からの距離を正確に補正した．その結果として，平均速度分布を積分して得られる流量は静的秤量法による測定結果と良好に一致し，壁面近傍までの平均速度分布が取得できた．この平均速度分布に対して，壁乱流における速度分布型として提案されているいくつかの対数則とべき乗則を適用し，分布の差異を比較したところ，いずれの分布型とも一致しないことがわかった．そこで，本平均速度分布における対数則およびべき乗則の成立を詳細に調べたところ，オーバーラップ領域の内層側ではべき乗則，外層側では対数則が成立することがわかった．

* 掲載：日本機械学会論文集，81-826，(2015-6)，15-00091.
*1 正員，名古屋大学（現）日本原子力研究開発機構（〒319-1195 那珂郡東海村白方2-4）
*2 正員，産業技術総合研究所　計量標準総合センター工学計測標準研究部門（〒305-4201 つくば市寺具1497-1）
*3 正員，産業技術総合研究所　計量標準総合センター工学計測標準研究部門（〒305-8563 つくば市梅園1-1-1）
*4 正員，名古屋大学大学院工学研究科エネルギー理工学専攻（〒464-8603 名古屋市千種区不老町）

論　文

(8) 非線形状態空間写像を用いた力学的整合を持つ運動変換

岡田 昌史*1 (1969年生)　宮嵜 哲郎*2 (1986年生)

ロボットの運動を生成するために，モーションキャプチャから得られた人の運動を，安定化されたロボットのフィードバック系への目標値として利用する場合がある．しかし，人の力学とロボットの力学は異なるため，人の運動から得られた目標値はロボットの無理な動きを要求し，特に劣駆動系の場合には安定性が損なわれることも少なくない．そのため，人の動きをロボットの力学に合致した，すなわち，力学的整合性を持った運動へと変換する必要がある．

本研究では，モーションキャプチャから得られた人の運動を力学特性の異なるロボットの運動へと変換する手法を提案する．計測された人の運動を関節角度・角速度からなる状態空間での軌道で表し，さらに，この運動が安定となるよう状態空間内にベクトル場およびコントローラを定義する．また，非線形関数を用いて，ベクトル場を含めた空間全体をロボットの状態空間へと写像する．その際，(a) 人の運動とロボットの運動が類似するための「実現する運動の条件」，(b) 写像された角速度とロボットの状態空間のベクトル場で表される角速度が一致するための「速度に関する条件」，(c) および「加速度に関する条件」，(d) 自明な解を避けるための「キーポーズの条件」，(e) 大きな関節トルクの要求を避けるための「運動エネルギーの条件」を評価関数とする．これにより，ロボットの運動およびコントローラが同時に設計される．

提案手法の有効性を，タップダンスロボットを用いて検証した．これは頭部の慣性を利用して左右の足の接地を切り替えながら足踏みを行うもので非線形な劣駆動系となる．特に，接地足の切り替えは力学特性の大きな変化を伴い，運動を生成するためには力学的に実現可能な運動と非線形コントローラを用意する必要がある．人が足踏み動作をする様子をモーションキャプチャし，物理パラメータに基づいて人の状態空間内での運動，ベクトル場，コントローラを求めた．これを提案手法に基づいてロボットの状態空間に写像し，ロボットの動作とコントローラを得ることでロボットの足踏み動作を生成した．この手法により，従来では難しかった力学的な整合性を持つ複雑な運動の設計および非線形コントローラの設計を容易とすることを示すと共に，衝突を伴う運動ではエネルギー損失を考慮しなければならないこと，および，自由度の異なる系の間の写像の可能性について考察した．

* 掲載：日本機械学会論文集，79-802，C編（2013-6），1913ページ.
*1 正員，東京工業大学 工学院機械系（〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1）
*2 正員，東京工業大学（現）東京医科歯科大学　生体材料工学研究所（〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台2-3-10）

論　文

(9) 打音検査のための自動校正機能を備えた自動変状診断アルゴリズム

藤井 浩光*1 (1982年生)　山下　淳*1 (1973年生)　淺間　一*2 (1959年生)

現在，膨大な件数・規模の社会インフラが老朽化を迎え始めている．それに伴い，点検作業を効率化するために，ロボットなどの自動機械に搭載可能な自動診断法の構築が強く望まれている．本研究グループでは，数ある非破壊検査法の中でも音響信号を用いた検査法の１つである打音検査法に注目した．打音検査法は，診断における信頼性の高さと実施における簡便性が大きな特長であり，現在に至るまで目視検査とともに，現場で標準的に行われている診断法である．しかし，その診断の精度は熟練点検員の知見や経験によるところが大きく，また検査対象やその状態などの状況は現場ごとに異なるという問題がある．そのため，打音検査による診断の自動化に対する試みは十分ではない．

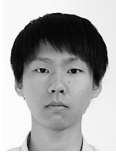
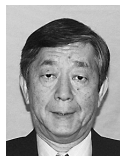
本研究グループでは，打音検査の自動化のために機械学習を用いた診断法を提案し，様々なコンクリート供試体や模擬的な環境において，その有効性を検証してきた．今後，実際の現場における自動診断を実現するためには，現場の状況の変化に応じて診断の基準を適切に更新する自動校正機能が極めて重要な要件となる．例えば，音響診断法である打音検査にとっては，検査車両の駆動音など点検現場ごとに異なる雑音の影響は無視できない．本研究では打音検査の自動化のために環境雑音に対する自動校正機能を備えた変状検出器（構造物中の異常を検出する識別器）を提案した．

提案手法における変状検出器は，部分的な周波数帯においてテンプレート化した健全性に関する複数の基準規範を，それぞれ独自に持つ小さな識別器群から構成される．特に本論文では，自動診断アルゴリズム，およびその自動校正法を集団学習法に基づいて構築した．具体的には，ブースティングの枠組みを独自に拡張することで，テンプレートの逐次更新則を新規に導出した．環境に応じて識別器群を再最適化することで検出器全体を更新する手法を提案し，実際に変状検出システムを構築した．コンクリート供試体を用いた検証実験では提案システムが精度良く変状を検出でき，点検環境の環境雑音が増大し検出性能が著しく低下した際にも，提案した自動校正法で性能を回復可能なことを確認した．

＊ 掲載：日本機械学会論文集，82-834，(2016-2)，15-00426
*1 正員，東京大学 大学院工学系研究科（〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1）
*2 フェロー，東京大学 大学院工学系研究科（〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1）

論　文

(10) 双安定性を有する複合材シェルのスナップスルー変形に関する多目的最適化

本田 真也*1 (1981年生)　高橋 圭佑*2 (1989年生)　成田 吉弘*3 (1951年生)

各種輸送機器の軽量化材料として利用が拡大している炭素繊維強化複合材料（CFRP）は繊維配向方向により強い異方性を示す．また，その積層板はその積層構成を中立面に関して非対称とすることで，各層の異方性により熱硬化後の冷却過程において残留ひずみを生じ，整形後は平板ではなく曲面形状となる．そのため通常の構造設計では非対称積層を避け，対称積層に限定されることが多い．しかしながら，これらの積層構成の中でも特定の配向角度の組合せや寸法を有するものは，２つの安定な曲面形状を有する双安定性を示すことが知られている．その双安定複合材は比較的小さな面内力や曲げモーメントを作用させることで各安定状態間を遷移させること（スナップスルー変形）が可能であり，入力エネルギを加え続けることなく各安定状態を維持することができる．以上のような特徴を有するため，形状双安定性を有する非対称積層複合材は航空宇宙分野のモーフィング翼等への応用が期待できる．本論文では，通常敬遠されがちな非対称積層複合材に敢えて着目し，双安定性という複合材シェルの新機能に関してそのスナップスルー変形量および臨界温度に関する多目的最適設計を試みた．

著者らはまずこれまで他の研究者によって提案されていた，クロスプライ積層のみに対応した対称積層部と非対称積層部の２領域を有する混合積層板のRitz法に基づく熱変形解析および双安定性を示す臨界温度解析手法を一般的な積層構成が解析できるよう拡張した．提案手法による数値計算結果の妥当性を確認するために，CFRPプリプレグを用いて供試体を作製し，シェル形状および臨界温度を測定し，実験結果が本提案手法とよく一致することを確認した．

また，事前の数値実験の結果，対称積層部と非対称積層部の２領域からなる混合積層板は，面外変位量と臨界温度の間にトレードオフの関係にあることがわかった．そのため，混合積層板を扱う本報では，安定形状間面外変位量と臨界温度の２つの目的関数に対して多目的最適化を行った．最適化手法には，高い探索性能を有するSPEA2+を用いた．多目的最適化の結果得られたパレート解集合は，様々な面外変位量および臨界温度を有する非劣解を含んでおり，設計者の要求を満たすための有用な設計案を獲得できた．

＊ 掲載：日本機械学会論文集，81-824，(2015-4)，14-00531
*1 正員，北海道大学大学院工学研究院　（〒060-8628 札幌市北区北13条西8）
*2 北海道大学　（現）三菱レイヨン㈱（〒440-8601 豊橋市牛川通4-1-2）
*3 フェロー，北海道大学大学院工学研究院

論　文

(11) 開口を有するカバーの防音特性の開口率依存性（内側吸音単層壁と吸音材内封二重壁の比較）

武藤 大輔*1（1975年生）　山内 源太*2（1983年生）　高野　靖*3（1957年生）　山口 誉夫*4（1963年生）

防音カバーは幅広く適用される防音施策のひとつである．カバーの設計ではそれを形成する積層吸遮音構造の検討が重要となるが，一般に，カバー内外の音の遮断（遮音）と，カバー内側の音の吸収（吸音）について，それぞれ独立して行なわれる．遮音を重視した場合，カバーは内部に吸音材を挟んだ二枚の板で構成される“吸音材内封二重壁構造”がよいことが知られる．ただ，排熱や配管を通す目的で開けられた孔や隙間がある場合，これらの開口部からの漏洩音の影響でカバー全体としての防音性能は十分発揮されないことがある．この場合は，吸音を優先して，単層壁の内側に吸音材を貼り付けてカバー内側に対して露出させた“内側吸音単層壁”を適用した方がカバー内の残響が抑えられ適切である．このように，開口を有するカバー構造として吸音材内封二重壁と内側吸音単層壁のどちらか適切な方を選択することになるが，明確な解が得られる体系的な研究は十分に行なわれていない．

本研究では開口を有する防音カバーの吸遮音構造の最適選定を目的に，非吸音単層壁，吸音材内封二重壁，および内側吸音単層壁の３種類の吸遮音構造について，カバー内吸音の不足によるカバー内音圧上昇（ビルドアップ効果）と，開口部も含めたカバー構造全体の遮音性（総合透過損失）を計算し，防音性能の指標である挿入損失がこれらの組み合わせで表現されることを示した．その上で，挿入損失の隙間開口率とカバー内部構造吸音率への依存性を纏めた．なお，挿入損失の算出には建築音響学に基づくエネルギ平衡計算と伝達マトリクス法を用いた吸遮音計算を用いた．その結果，吸音材内封二重壁はある周波数帯域（二重壁優位帯域）では二重壁効果が発揮されるため挿入損失が大きいが，二重壁優位帯域よりも低周波では二重壁間の内部共鳴の影響による遮音性の不足が原因で内側吸音単層壁に劣り，また二重壁優位帯域よりも高周波ではカバー内部の吸音不足によるビルドアップ効果が原因で，やはり内側吸音単層壁に劣ることがわかった．また，二重壁優位帯域の幅は，開口率が大きく，カバー内部構造物の吸音が小さくなるとともに狭くなることを示した．これらのことから，開口が小さくカバー内部構造物の吸音が大きい場合は吸音材内封二重壁の方が優位であるが，逆に，開口が大きくカバー内部構造物の吸音が小さい場合は内側吸音単層壁の方が優位であることを合理的に説明した．

＊ 掲載：日本機械学会論文集，81-822，(2015-2)，14-00483.
*1 正員，㈱日立製作所　研究開発グループ　機械イノベーションセンタ（〒312-0034 ひたちなか市堀口832-2）
*2 ㈱日立製作所　研究開発グループ　機械イノベーションセンタ
*3 フェロー，㈱日立製作所　研究開発グループ　機械イノベーションセンタ
*4 正員，群馬大学大学院　理工学府（〒376-8515 桐生市天神町1-5-1）

論　文

(12) サーボ情報を応用したびびり振動に対する安定主軸回転数同定

小池　綾*1（1989年生）　柿沼 康弘*1（1977年生）　青山 藤詞郎*2（1951年生）　大西 公平*2（1952年生）

切削加工中に工具と被削材の間で生じるびびり振動は未だ根本的な解決が成されていない．特に前加工面に残った起伏が切り取り厚さ変動に関与してしまうプロセス（再生効果）に起因する再生びびり振動は，いったん発生すると大きな振動に成長することが多く，加工精度の劣化や工具寿命の短縮などにつながる．この対策として，工具系の動特性解析に基づいて，びびり振動が生じない安定加工条件を予測する手法が多く提案されているが，依然として安定予測が大きく外れる場合がある．その原因として，工具把持部などの機械系を含めた工具系伝達関数の高精度な同定が困難であることが挙げられる．また，加速度センサや解析装置の導入による高コスト化，メンテナンスの必要性などの問題は実用上敬遠されるため，より簡潔な安定解析手法の確立が求められている．

本研究ではフライス加工において，付加的な測定装置を用いることなく，ただ一回のテストカットから自励びびり振動に対して安定加工可能な主軸回転数領域を同定する手法を提案している．具体的には，局所的に最も大きな切込量を与えられる主軸回転数においてびびり周波数が急激にシフトするという特性に基づき，びびり振動の発生中に主軸回転数を迅速かつ連続的に減速させ，その間のびびり周波数の変化を主軸制御系のサーボ情報から捕捉するというものである．

さらに，３軸マシニングセンタを用いて安定主軸回転数の同定実験と，同定結果の妥当性の評価実験を行った．主軸回転数を50%/sの変化量で減速しながら直方体被削材を加工すると5400min^{-1}から9000min^{-1}の間で，推定加工負荷は大きく変動した．その時間・周波数領域の解析結果にはびびり周波数の遷移がはっきりと表れ，４回の急激なシフトを確認できた．このときの加工面には縦向きに４本の特徴的なびびり跡が確認できたことから解析結果との整合性も取れた．

また三角柱型被削材によって安定限界切込量の測定実験を行ったところ，強制びびり振動が生ずる領域を除き，同定した安定主軸回転数の近傍で安定限界切込量が大きくなることを確認した．実用上では強制びびり振動への対策を取る必要もあるが，自励びびり振動に対する安定加工条件を探索する上で，本提案手法は簡便かつ高精度な診断手法として有用であることを実験的に示した．

＊ 掲載：日本機械学会論文集，81-830，(2015-10)，15-00387 .
*1 正員，慶應義塾大学（〒223-8522 横浜市港北区日吉3-14-1）
*2 フェロー，慶應義塾大学

論　文

(13) 超磁歪素子の自己検知機能を利用した微小位置決め機構の開発

田村 勇樹*1 (1987年生)　吉岡 勇人*2 (1975年生)　新野 秀憲*3 (1954年生)　澤野　宏*4 (1976年生)

微細表面構造によりぬれ性や摩擦特性を制御する機能表面部品の需要が高まっている．このような微細表面構造の機械加工による創成は長時間を要するため，アクチュエータを用いて工具近傍を高速に駆動する高速工具サーボが開発され，加工時間の短縮が実現されている．しかし，従来の高速工具サーボは駆動に配線が必要な圧電素子を用いるため，工具系が回転しない旋削加工に適用が限られ加工対象に制限がある．今後は,フライスのような回転工具に対し高速工具サーボを適用することで,複雑な形状の加工物に対し加工時間短縮が可能と考えられるが，回転軸に対し配線が必要なアクチュエータは使用できないことに加え，位置決め誤差となるヒステリシスを補償するために回転軸の変位をフィードバックする必要がある．本研究では回転軸に適用可能な微小位置決め機構の実現を目的として，超磁歪素子を位置決め駆動要素として採用し，さらにその自己検知機能を用いたヒステリシス補償法を提案し，位置決め実験を通しその有用性を確認している．

超磁歪素子は外部磁界の変化によりひずみを生じる素子であり，無接点での駆動が可能なアクチュエータとして利用される一方で，外部荷重により透磁率が変化するためセンサとして利用される．本研究では超磁歪素子が持つ２つの特性に着目し，アクチュエータとして利用するとともに，透磁率を検出することで素子自身の変位を推定する自己検知機能によるヒステリシス補償法を提案している．

提案した自己検知機能を用いた位置決めを評価するために，実際に超磁歪素子駆動位置決め機構を構築している．位置決め機構は超磁歪素子と駆動コイルを離して配置する熱源分離構造とすることで，コイル発熱に起因する熱変位を１μm以下に抑制している．また，ヨークおよび超磁歪素子で生じる渦電流損を軽減することにより，駆動周波数600Hzの高い応答性を有している．

また透磁率検知回路のコンデンサおよび印加周波数を適切に設定することで，超磁歪素子の透磁率と変位との関係を線形化することが可能であり，一意に変位が推定可能であることを明らかにしている．推定した変位をフィードバック信号として用いた制御系を構築し，位置決め特性を評価した結果，2.5μmのストロークにおいてヒステリシス補償を実現し，10nmの分解能を達成している．

* 掲載：日本機械学会論文集，81-832，(2015-12)，15-00292.
*1 正員，東京工業大学大学院（〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259）
*2 正員，東京工業大学未来産業技術研究所（〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259）
*3 フェロー，東京工業大学未来産業技術研究所（〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259）
*4 正員，明治大学理工学部（〒214-0033 川崎市多摩区東三田1-1-1）

論　文

(14) 歯面の摩擦力を考慮した動力伝達用歯車のマイクロピッチング発生機構の検証

安江 悠好*1 (1981年生)　弘嶋 誠司*2 (1968年生)　林田　泰*3 (1957年生)　松本　將*4 (1944年生)

自動車用の動力伝達用トランスミッションには軽量化と効率向上が求められている．しかし，軽量化のために歯車を小型化すると歯面の接触圧力が高くなり，効率向上のために潤滑油の粘度を低くすると，歯面の潤滑油膜が小さくなるため，潤滑状態が過酷になる．このような条件下では歯車の歯面にマイクロピッチングが生じることがある．マイクロピッチングは歯面の摩耗を伴うため，トランスミッションからのノイズが大きくなる場合がある．そのため，静粛性が求められる自動車用トランスミッションではマイクロピッチング防止が大きな課題であった．
これまでのマイクロピッチング防止設計手法では，設計パラメータとしてかみ合い歯面のフラッシュ温度（瞬間温度上昇値）が用いられ，米国歯車工業会によればその算出に用いる摩擦係数値は0.06の一定値としている．また，ISO/TR（2010年）では歯面の表面粗さ（算術平均粗さ）と弾性流体潤滑油膜厚さの比に基づく値が設計パラメータとして用いられている．しかし，これらの設計手法を用いてもマイクロピッチングの発生限界を説明できない問題があった．

マイクロピッチングが生じた歯面には，強いしゅう動痕や微小クラックが観察されるが，これらの現象は転がり－すべり接触面の摩擦力による凝着である．したがってマイクロピッチングの直接的な発生要因としては，かみ合い歯面に生じる摩擦力を取るべきではないかと考えた．

この考え方が正しいかを確認するため，一般的な自動車用トランスミッションに類似した複数種の諸元の歯車に，実験的にマイクロピッチングを発生させた．また，それらの歯車諸元と運転条件をもとに，かみ合い歯面の摩擦推定に有効と確認されている松本式を用いて摩擦係数を算出し，かみ合い歯面の摩擦力分布を求め，マイクロピッチングの発生範囲と摩擦力計算値の分布を比較した．この結果，摩擦力の高い部分とマイクロピッチングの発生範囲のパターンに良い一致が確認され，マイクロピッチングが発生する摩擦力値が存在することが確認できた．

この結果は，松本式による摩擦係数推定値に基づくかみ合い歯面の摩擦力がマイクロピッチングの設計パラメータとして有効で，新たなマイクロピッチング防止設計手法として活用できることを示すものである．なお,現在,このマイクロピッチングの設計手法は自動車用トランスミッションの歯車設計に適用され，マイクロピッチングの未然防止に大いに貢献している．

* 掲載：日本機械学会論文集，81-828，(2015-8)，14-00687
*1 正員，トヨタ自動車㈱　第１ドライブトレーン開発部（〒471-8572 豊田市トヨタ町1）
*2 トヨタ自動車㈱　第２ドライブトレーン開発部（〒471-8572 豊田市トヨタ町1）
*3 正員，トヨタ自動車㈱　第２ドライブトレーン開発部（〒471-8572 豊田市トヨタ町1）
*4 フェロー，早稲田大学（〒808-0137 北九州市若松区ひびきの南2-19-6）

論　文

(15) 生理的・能動的膝運動が可能な新型シミュレータの開発

廣川 俊二*1 (1946年生)　村上 輝夫*2 (1947年生)　木口 量夫*3 (1964年生)　福永 道彦*4 (1984年生)

筆者らは和式生活に対応可能な人工膝関節（TKA: Total Knee Arthroplasty）の開発研究を進めてきているが，実用化に際して直面した問題は，わが国では新型人工関節に関するin vivo（生体内）実験が自由には行えないことであった．医療機器を実用化するには，多種多量の基礎的評価試験と臨床試験（治験）の結果を踏まえ，患者への適用に関する厚労省の認可を得なければならない．最近では，たとえば，人工膝関節の審査ガイドラインの作成（厚生労働省）により審査の迅速化が計られ，現用人工関節の一部分を患者個々の骨形状に適合させるためのマイナーチェンジを許容するカスタムメイド人工関節の開発ガイドラインも制定された（経済産業省）．しかるに，摺動部を含む新規デザインについては，かなりの審査用データが必要とされる状況にある．これに対し欧米では，患者の体内に挿入したセンサー内蔵型人工関節で日常動作でのin vivoデータを収集し，その結果を新型人工関節の設計に反映した上で，さらに当該新型人工関節を患者に適用することまでもが許されている．ただし，欧米においても患者に負担を強いる侵襲的なin vivo実験が今後も無制限に行える保証は無く，in vivo実験を代行し得るようなシミュレータの開発が必要と考えられる．また，上記のセンサー内蔵型人工膝関節も現用の人工膝関節と同様に深屈曲が不可能であるため，深屈曲動作に関するin vivoデータの収集も行われていない．なお，人工膝関節の摩耗特性評価試験に関するISO規格（ISO-14243-1）では歩行動作を対象とした荷重と運動条件は示されているものの，座位やしゃがみ込みなど膝の高・深屈曲動作に関する記述が無いため，現行のISO規格は，歩行以外の動作を目指した新型人工膝関節を実用化する際の評価基準にはなり得ない．

本研究では，まったく新しい設計コンセプトの下，1）自身の筋力で操作する駆動方式を用い，2）股関節と膝関節が連動する機構を有し，3）深屈曲動作が可能な，in vivo実験を代行し得る膝関節シミュレータを開発した．さらに，本シミュレータの動作確認実験として，起居動作中の関節姿位の変化の様子と現用の人工膝関節の大腿・脛骨面の接触力を測定した．測定結果は膝関節のバイオメカニクスに関する知見と符合しており，能動的・生理的膝運動が可能な本シミュレータは，今後，モデル解析やin vivo実験結果の補完や検証に活用できるとの見通しを得た．

＊ 掲載：日本機械学会論文集，81-824，(2015-4)，14-00488
*1 フェロー，九州大学（故人）
*2 フェロー，九州大学（現）帝京大学（〒836-8505 大牟田市岬町6-22）
*3 フェロー，九州大学（〒819-0395 福岡市西区元岡744）
*4 正員，大分大学（〒870-1192 大分市旦野原700）

論　文

(16) 格子ボルツマン法を用いたレベルセット法に基づくトポロジー最適化

矢地 謙太郎*1 (1987年生)　山田 崇恭*2 (1984年生)　吉野 正人*3 (1970年生)

松本 敏郎*4 (1960年生)　泉井 一浩*2 (1973年生)　西脇 眞二*5 (1962年生)

航空機の翼，風力発電機のブレード，熱交換器のフィン，燃料電池の内部流路など，我々の身の周りは，流れ場の状態に依存して，各々の「形」が各種性能を大きく左右する構造物や製品で溢れている．これらの形状を決めることは極めて重要な設計問題であると共に，与えられた条件のもとで最適な設計案を導き出すことが要求される．

このような場合，所望の性能を最大限引き出すために，設計段階においてトポロジー最適化を援用することは有効な一手法である．流体を対象としたトポロジー最適化の研究としては，流路の圧力損失最小化を初めとして，熱交換器やマイクロチャンネルの流路設計を目的とした方法がこれまでに提案されているものの，いずれも単純な流れ場への展開に留まっている．流体をトポロジー最適化で扱う際の課題は，複雑な流れ場の非線形を考慮した上で，数値的な安定性を保証しながら効率的に最適解の探索を行うことであり，流体問題への展開が他の物理問題と比較して進展していない主な原因の一つといえる．

このような背景のもと，本論文では流体問題を対象としたトポロジー最適化の新しい方法論を構築している．この研究では，流れ場の数値解析手法である格子ボルツマン法を用いることで，極めて効率的に最適解の探索を行うことができることを提唱している．その基本的なアイデアは，流れ場だけでなく設計感度の算出についても格子ボルツマン法を適用することにある．格子ボルツマン法は，速度分布関数を用いて仮想的な流体粒子の衝突と伝搬を表現することによって流れ場の物理量を算出する．そのアルゴリズムは完全陽解法のため単純であり並列計算に適している．さらに，多孔質内流や二相流といった複雑な流れ場の解析も効率的に行えることが知られている．本論文では，格子ボルツマン法をトポロジー最適化へ導入するために，連続場のボルツマン方程式を用いて最適化問題を定式化し，随伴変数法によって導出した随伴方程式を格子ボルツマン法によって計算することで設計感度を算出する．すなわち，いずれの計算においても格子ボルツマン法の利点であるアルゴリズムの単純性と並列性を一切損なうことなく，設計感度を陽的に算出することができる．

本論文は，大規模かつ複雑な流れ場を扱うトポロジー最適化へ展開するための基礎的研究を行っており，これまで最適化は難しいとされてきた設計問題への展開が今後期待される．

＊ 掲載：日本機械学会論文集，79-802，C編（2013-6），2152ページ．
*1 正員，京都大学大学院工学研究科（現）大阪大学大学院工学研究科（〒565-0871 吹田市山田丘2-1）
*2 正員，京都大学大学院工学研究科（〒615-8540 京都市西京区京都大学桂）
*3 正員，信州大学学術研究院工学系（〒380-8553 長野市若里4-17-1）
*4 フェロー，名古屋大学大学院工学研究科（〒464-8603 名古屋市千種区不老町）
*5 フェロー，京都大学大学院工学研究科

(1) ヘリウム密封型大容量ハードディスクドライブの開発

青柳 彰彦*1 (1962年生)　茶碗谷 健*2 (1971年生)　鈴木 浩一*2 (1966年生)　上船 貢記*2 (1960年生)　早川 貴子*2 (1970年生)

概　要

クラウドビジネス用途のハードディスクドライブ（Hard Disk Drive, HDD）には，高性能・大容量・低消費電力が要求される．従来のHDD構造ではそれらの要求を同時に満たす事が困難であった．そこで我々は分子量の小さいヘリウムに着目した．ヘリウム中ではモーター消費電力と流体起因振動（Flow Induced Vibration, FIV）は低減する．しかし，ヘリウムは最も密封保持し難いガスの一つであるため，ヘリウム密封技術の開発が最重要課題となった．我々は，HDD構造の変更，最適な材料選定，工程改善と最適化等により，ヘリウム密封技術の開発に成功した．この技術は世界初のヘリウム密封型HDDに適用・製品化され，従来機種比で50%の容量増加，18%～35%の消費電力低減を実現した．既にヘリウム密封型HDDは第４世代機種も発表され，累積出荷台数は１千２百万台を超えている．

技術の概要

密封構造に関しては，従来のカバーの上にアルミ合金製カバーを被せ，それをアルミダイカスト製のベースにレーザー溶接する構造とした（図１）．

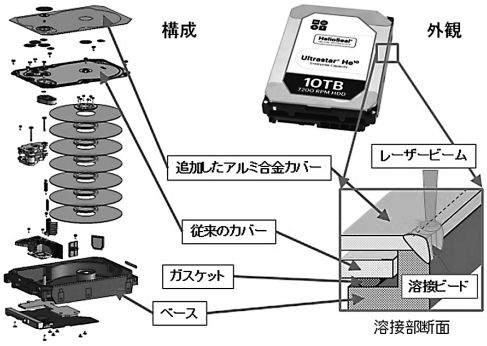


図１　ヘリウム密封型 HDD の構造

アルミダイカスト製ベース（ADC12, シリコン含有量9.6%～12%）への溶接が可能で最適なアルミ合金材として，溶接後のシリコン含有量が溶接クラックを生じ易い0.6%～0.8%となる事を避けられるA4047（開発時）とA4045（量産時）を最終的に選択した（表１）．

表１　レーザー溶接実験結果

	開発時					量産時
型番	A1050	A3003	A4047	A5052	A5083	A4045
シリコン含有量 (%)	<0.25	<0.6	11~13	<0.25	<0.4	9~11
溶接後の外観						
コメント	溶接割れ	溶接割れ	良好	外観不良	外観不良	

ベース中に存在するポロシティー（Porosity）は密封性能を劣化させ，残留ガスは溶接品質を劣化させる．残留ガスによる溶接不良は，レーザーの熱によりガスが膨張・破裂してカバー材料を吹き飛ばし，次のレーザー照射の際に十分なカバー材料が存在しないことが原因である．ここで照射位置をエッジ側にシフトさせると吹き飛ぶ方向が外側に傾き，内側に十分なカバー材料が残ることを発見し，溶接不良を大幅に低減させることが可能となった（図２）．更に，ベース方案形状や製造工程の最適化等によるベース品質の向上と，レーザー溶接工程の最適化により，量産に耐え得るレベルの密封性能を達成した．

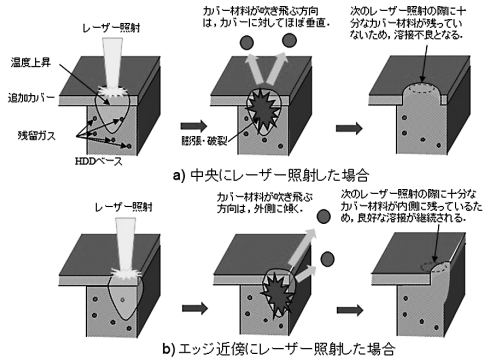


図２　レーザー照射位置と溶接品質

FIVの低減によりディスク剛性に対する要求度が下がったため，ディスクの厚さを1.27mmから0.8mmへと薄くし，搭載枚数を従来の５枚から７枚に増やした．アーム本数増加によるアクチュエータ動特性劣化が懸念されたが，ディスクと同様アームの薄型化とダンパー貼付枚数削減を行い，共振周波数を従来製品比で２%の劣化に留めた（図３）．

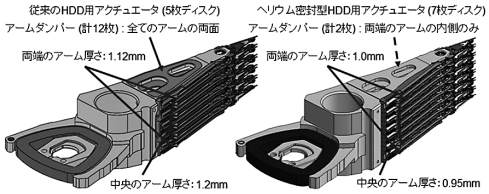


図３　アクチュエータ比較

ヘリウム中ではディスクに働く空気抵抗が減りモーター消費電力が低下するため，ディスク枚数を増やしたにも関わらず，従来機種比で18～35%の消費電力低減を達成した（図４）．

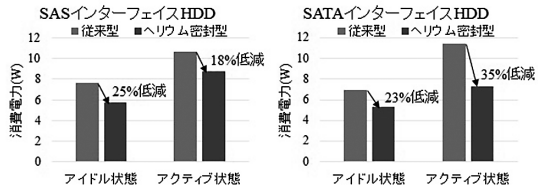


図４　消費電力比較

まとめ

ヘリウム密封型HDDは大容量で省電力というTCO（Total Cost of Ownership）低減の要求に合致した特徴を持っており，今後も情報インフラの発展に貢献出来ると考えている．

*1 正員，㈱HGSTジャパン（〒252-0888 藤沢市桐原町1番地）
*2 ㈱HGSTジャパン（〒252-0888 藤沢市桐原町1番地）

技　術

(2) エンジン熱効率向上のための新規冷却損失低減技術の開発

川口 暁生*1 (1959年生)　西川 直樹*2 (1977年生)　山下 親典*3 (1983年生)　脇坂 佳史*4 (1972年生)　清水 富美男*5 (1959年生)

1．概　要

エンジンの各種損失の中でも冷却損失の割合は大きく，燃焼室の断熱によりこれを低減する試みは数多くなされてきたが，高温となる断熱壁が吸入空気を加熱し，出力や排気を悪化させるという背反を克服できず長年の課題であった．これに対し，燃焼室の壁温をガス温度に追従させることで，遮熱と性能への背反防止を両立する遮熱手法（図１：スイング遮熱壁，サイクル中の燃焼室壁温度がガス温度の変化に追従して急速に上昇・下降する現象を「壁温スイング」と呼ぶ）を構築した．この遮熱材への要求性能である低熱伝導率・低体積比熱の遮熱膜を開発し，エンジンの燃焼室壁面に形成することで冷却損失を低減，熱効率の向上を実現した．

2．技術の内容

燃焼ガスから燃焼室壁面への冷却損失はガス温度と燃焼室壁温度の差によって発生する．壁温スイング遮熱法は，燃焼室壁温をガス温度に追従させることでこの温度差を縮小し，冷却損失の低減と吸入空気加熱防止の両立を狙っている．燃焼室壁面に形成する遮熱膜の熱伝導率と体積比熱を小さくする（熱を伝えず，温まりやすく冷めやすい）ほど大きなスイング幅が得られ（図２），冷却損失の低減効果は高くなる．

この要求熱物性を達成するため，外部から遮断された空隙を含む多孔質セラミックスに着目し，実現手段としてアルミニウム合金の陽極酸化皮膜を適用した．電解液中でアルミニウム合金に電荷をかけ酸化させると，中央に孔の空いた柱状のアルミナがアルミニウム表面から垂直方向に成長し皮膜が形成される．従来の皮膜よりも膜内部の空隙の量を増やし，かつ熱および応力への耐久性を高めるために皮膜にシリカを充填した，シリカ強化多孔質陽極酸化皮膜（Silica Reinforced Porous Anodized aluminum：略称SiRPA）を新たに開発した（図３）．

SiRPA皮膜をピストン表面に形成し，その表面温度が狙いどおり燃焼時のみ上昇し吸気行程では降下（スイング）することを，非接触かつ高応答で温度測定が可能なレーザ誘起燐光法のエンジン燃焼状態での適用により実証した（図４）．

SiRPA皮膜を形成したピストンは，通常のアルミピストンに対し冷却損失が低減し，正味仕事（熱効率）と排気損失が増加（排気後処理触媒の暖機・保温に貢献）するというエンジン性能上の効果（図５）を，排気・性能の背反なしに実現できることを確認した．

3．まとめ

壁温スイング遮熱技術は，エンジン燃焼・材料開発・計測・生産技術の緊密な連携によって，新たなエンジン熱マネージメント技術として実現することができた．本技術は'15に量産開始した新型ディーゼルエンジンにて世界で初めて実用化され，お客様に優れた燃費性能をご提供している．

*1 正員，トヨタ自動車㈱　エンジン先行設計部（〒410-1193 裾野市御宿1200番地）
*2 正員，トヨタ自動車㈱　無機材料技術部（〒471-8572 豊田市トヨタ町1番地）
*3 正員，トヨタ自動車㈱　エンジン設計部（〒471-8572 豊田市トヨタ町1番地）
*4 正員，㈱豊田中央研究所　機械１部（〒480-1192 長久手市横道41番地-1）
*5 正員，㈱豊田中央研究所　材料・プロセス１部（〒480-1192 長久手市横道41番地-1）

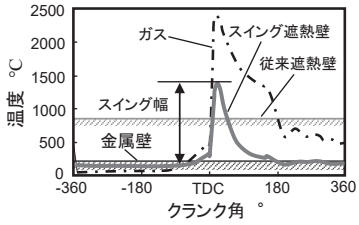


図 1　壁温スイングコンセプト

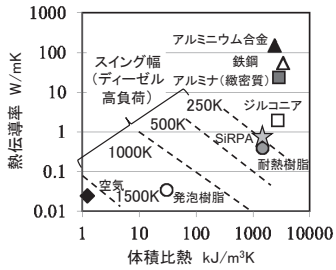


図 2　熱物性とスイング幅の例

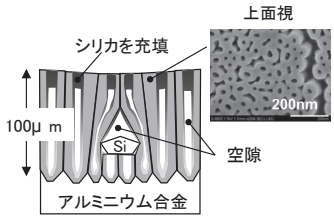


図 3　SiRPA 皮膜の模式図

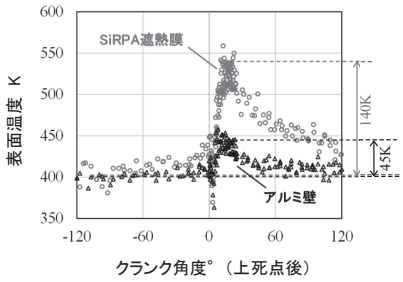


図 4　表面温度の比較

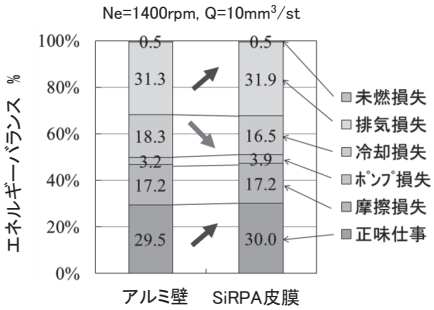


図 5　エネルギーバランス比較

(3) 900MVA級水素間接冷却タービン発電機の開発と製品化

古賀 清訓*1 (1970年生)　永安 哲也*2 (1974年生)　葉名 紀彦*2 (1980年生)　川嶋 航治*3 (1977年生)　近藤 雅浩*3 (1985年生)

1．概　要

地球温暖化と世界的な電力需要増加を背景にタービン発電機の高効率化と大出力化が求められている．ところが，単機出力の増加要求に対応するため，水冷却コイルを採用すると水循環装置等の付帯設備が追加で必要となり，輸送性や設置性，保守性が損なわれる点が問題となっていた．

本製品は，コイルの冷却に必要な付帯設備を簡略化できる水素間接冷却方式を採用し，主絶縁，軸流ファン，冷却風路等に最先端技術を適用することで冷却性能を高め，水冷却方式に迫る大出力化とコンパクト化を両立させた．水素間接冷却タービン発電機として世界最大（2014年12月８日時点，三菱電機調べ）900MVA級の出力を可能とする新型機の開発を完了，870MVAの実機検証機を製作，2014年11月に検証試験を完了した．発電機効率は世界最高レベルの99%以上を達成した．本製品はVP-Xシリーズ機として200～900MVA級にラインナップ化し，2015年４月より販売を開始した．

2．技術の内容

水素間接冷却方式のタービン発電機では，発電時に機内各部で生じた熱を機内に密封した水素ガスにより冷却を行う（図１）．固定子コイルの導体部を主絶縁を介して間接的に冷却するため，導体部を水素ガスや純水で直接冷却する方式と比較して大出力化が難しい．一方で冷却風路が比較的シンプルで水素冷却ガスの循環に必要なファン差圧が比較的小さく，導体内に冷却媒体を通さないことから導体断面積を有効利用でき，高効率なタービン発電機とすることができる．そこで，発電効率の高い発電用大型ガスタービンの全出力領域に，高効率な水素間接冷却タービン発電機を適用できるよう900MVA級の大出力化技術開発を行った．

大電流・高電圧を発生する固定子コイルの導体部は，先に示したように導体周囲の主絶縁を介して水素ガスによって冷却される（図２）．複数に重ねたマイカ層と熱硬化性樹脂を主材料として構成される固定子コイルの主絶縁は，熱伝導率が低く導体で発生した熱を通しにくいが，製作プロセスを改善することで主絶縁材の熱伝導率を向上させた．

回転子コイルでは，導体内に設けた通風路に水素ガスを通して導体部を直接冷却する．通風路の各部において圧力損失の低減および冷却性能の向上を目的に形状の適正化を行った．一例として，入口形状の適正化により当該部の圧力損失が従来形状と比較して約60％低減することをCFD解析および部分モデル風洞試験で確認した．

さらに，機内の水素ガスは，回転子軸の両端に取り付けられた軸流ファンによって循環される．新開発の軸流ファンは翼形状およびファン入口の吸い込み風路構造を適正化し，ファン効率を従来品と比較して約10ポイント改善した．

これら新技術を実機に組み込み，900MVA級を実証できる検証機を製作し検証試験（図３）を実施した．発電機特性や各部温度は設計値とよく一致し，発電機効率は世界最高レベルの99%以上を達成した．

*1 正員，三菱電機㈱　（〒652-8555 神戸市兵庫区和田崎町1-1-2）
*2 正員，三菱電機㈱　（〒661-8661 尼崎市塚口本町8-1-1）
*3 三菱電機㈱　（〒652-8555 神戸市兵庫区和田崎町1-1-2）

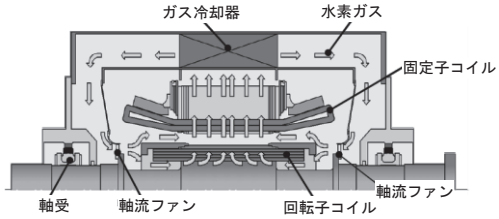


図１　水素間接冷却タービン発電機断面図

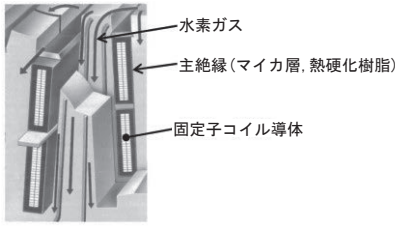


図２　固定子コイル冷却方式

最大出力	870MVA
力率	0.90(遅れ)
回転速度	3600min^{-1}/60Hz
極数	2極
効率	99%
冷却方式	水素間接冷却

図３　高効率タービン発電機　870MVA 検証機

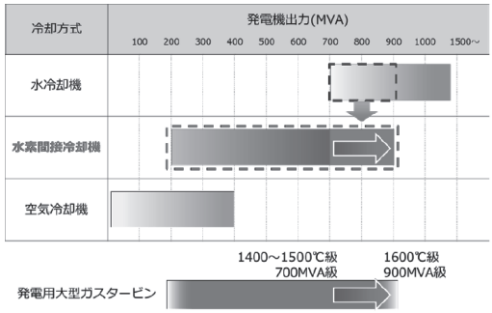


図４　タービン発電機ラインナップ（２極タイプ）

3．まとめ

水素間接冷却タービン発電機について，大出力・高効率・小型化を可能とする技術開発を行い，これら新技術を組み入れた検証機により，その性能を確認した．水素間接冷却タービン発電機としては世界最大出力（900MVA級）を実証し，効率99%を達成したことにより，従来水冷却で対応していた出力域を一部水素間接冷却で置き換える（図４）ことができる．これにより大出力域においても高効率で保守面に優れたタービン発電機の提供を可能とした．

(4) レーザー円形走査溶接法「LSW」を用いた車体骨格開発

是石 智正*1 (1983年生)　牧野 潤一郎*2 (1975年生)　小倉 修平*2 (1977年生)　熊谷 孝士*3 (1957年生)　鄭　銘晃*3 (1971年生)

1. はじめに

安全性，信頼性，骨格剛性など車両性能の基盤を成している車体骨格の接合は，スポット溶接がその大部分を占めるが，分流により溶接ピッチを短くすることができないため，接合点数には限界があり十分に骨格部材の強度・剛性を引き出すことが困難である．そこで，スポット溶接に代わる溶接技術として開発をしたレーザースクリューウェルディング(以下，LSW）は，レーザー溶接の大きな課題であった板隙裕度を克服した．LSWにより短ピッチ溶接が可能となるだけでなく，片側からアクセスできることで接合配置の自由度が向上するため，LSWを活用し車両性能を高めた車体骨格の開発に取り組んだ．

2. 技術の概要

レーザースクリューウェルディング（LSW）は，円形にレーザーを走査し，溶接条件の工夫によって溶融した鉄をうまく撹拌することで亜鉛の金属蒸気を逃がしながら溶接を行い，板隙の有無に関わらず安定した溶接品質が得られる．（図１）

これにより車体骨格に広く適用でき，従来のレーザー溶接と比較して主体的に車両性能へ寄与することができる．以下に主な利点を示す．

① 短ピッチ接合による衝突安全性能向上

キャビンの変形量低減と軽量化を両立するため，車体骨格へは超ハイテン材の採用が拡大してきているが，超ハイテン材は，接合部が骨格部材より先に破断し，本来の軽量化効果を発揮できない例がある．そこで，衝突負荷等で高負荷なフランジ部に対して，従来のスポット溶接では実現できない短ピッチでLSWを集中的に配置し，接合１点あたりの負荷を低減させ車両性能に必要な接合強度を確保した．

② 片側アクセスによる溶接を利用した骨格構造の刷新

従来のスポット溶接は，溶接部を溶接ガンで挟み込む必要があったため，生産上の都合により接合できない場合や，溶接ガンをアクセスするための作業穴を空ける場合があり構造としては不利な点があったが，LSWでは図３に示すような閉じ断面骨格へLSWを配置することで生産性を損なうことなく連続な骨格構造を実現した．

③ 高速での接合による生産性の向上

LSWの溶接時間は１打点当り0.3秒～0.8秒とスポット溶接と比較して高速であるため，スポット溶接をLSWに代替させることで溶接工程を約40%短縮することが可能となる．（図４）

3. まとめ

LSWは，従来のレーザー溶接を量産化する上で課題となる板隙裕度を解決できる世界初の溶接技術である．今後も適用車種の拡大とさらなる車両性能向上，軽量化などを実現する車体骨格の開発を積極的に推進していく計画である．

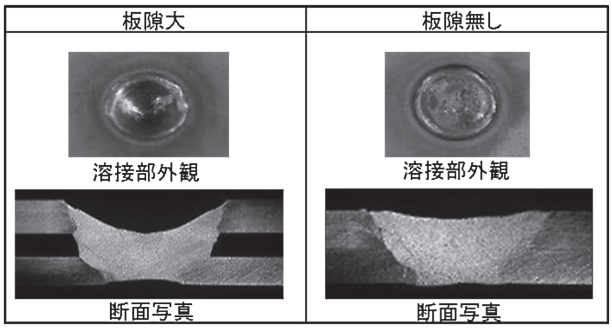


図１　板隙変化による溶接品質の比較

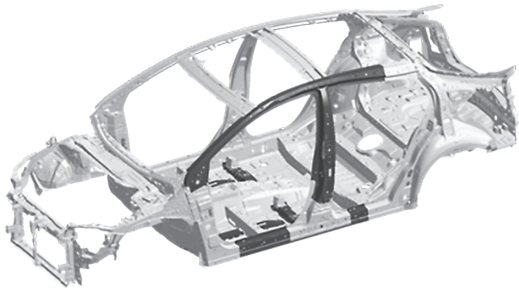


図２　車体骨格への超ハイテン材の採用部位

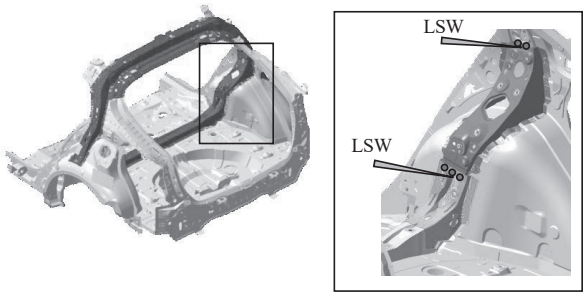


図３　閉じ断面骨格へのLSW適用例

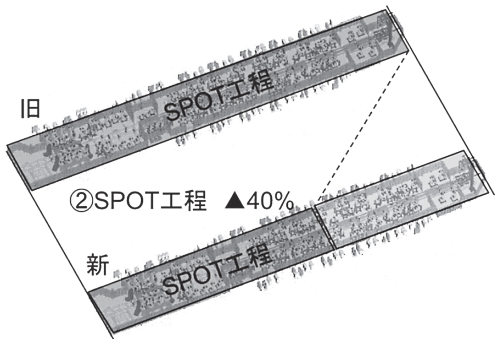


図４　溶接工程の比較

*1 正員，トヨタ自動車㈱（〒471-8571 豊田市トヨタ町1番地）
*2 トヨタ自動車㈱（〒471-8573 豊田市元町1番地）
*3 トヨタ自動車㈱（〒471-8571 豊田市トヨタ町1番地）

(5) 微細レーザ加工機の開発

二井谷春彦*1 (1962年生)　藤田 善仁*2 (1970年生)　重川 英文*2 (1968年生)　鈴木 毅典*2 (1976年生)　中川 清隆*2 (1980年生)

1．概　要

レーザ加工は，被加工材に対して適切な光源を選択することにより，金属材料だけでなく脆性材料などの非金属材料にも幅広く適応可能なことから，様々な分野で応用が試みられている．特に近年，高精度で高品位な微細穴加工ニーズの高まりから，従来のレーザ穴あけ加工では材料への熱影響が大きく穴径精度や加工面性状など品質を満たすことができなかったが，ピコ秒などの短パルスレーザを用いることで，アブレーション（Ablation：蒸発，昇華）加工により高精度で高品位な加工が可能となっている．

そこで，当社では従来培ってきたレーザ光学系の技術と，工作機械メーカーとしての精密駆動，精密位置決めの技術を融合した微細レーザ加工機「ABLASER」を開発し，熱影響が少なく高品位な微細穴加工を実現した．（図１）

2．技術の内容

各種レーザ加工方法の概略を図２，図３に示す．パーカッション加工はレーザビームを移動，回転させず同一の場所でパルスレーザを照射する加工方法である（図２）．現在微細穴加工の方法として採用されているが，レンズによる集光で生じる拡がりが転写されるため切断面がテーパー形状になってしまう．一方，ヘリカルドリリング加工は，レーザビームを任意の穴径に調整し高速に回転させながらパルスレーザを照射し加工する（図３）．当社ではヘリカルドリリング方式を採用している．

独自開発したレーザ光学系は工作機械用精密軸受を擁したスピンドル構造を採用し，レーザービームの軌道を精密に制御できる上に，スピンドルに取り付けた光学部品の位相制御により，レーザービームの照射位置と角度を調整可能なシステムとしている．

図４にSUS420（t0.3mm）の板材にφ0.12mmの穴加工事例を示す．平滑な加工内面であり鋭利なエッジ部となっていることから，アブレーションにより熱影響が少ない穴加工であることがわかる．図５にシリコンウェーハ（t0.5mm）にφ0.15mmの穴加工事例を示す．SUS420と同様に脆性材料であるシリコンに対しても，熱影響の少ない加工ができた．

SCM420焼入れ材（t0.8mm）に最小部φ0.1mmのストレート穴，逆テーパー穴，鼓穴に加工した断面のSEM観察写真と粗さ測定結果を図６に示す．ビームの入射角を制御することにより，任意のテーパー形状に加工が可能であり，その加工面粗さはいずれもRa0.1μm以下である．ストレート穴，逆テーパー穴には異物の付着が見られるが，加工後に付着したものであり洗浄方法等を工夫することで鼓穴（形状）加工では付着物のない平滑な加工面を達成した．図７は，異形状加工のSEM観察写真を示す．穴あけ加工だけでなく，任意の形状に切断可能で，その切断面に熱影響は少ない．

図１　微細レーザ加工機「ABLASER」の外観

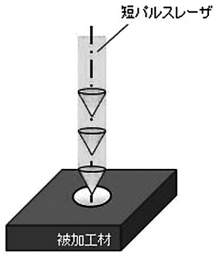


図２　パーカッション加工方法

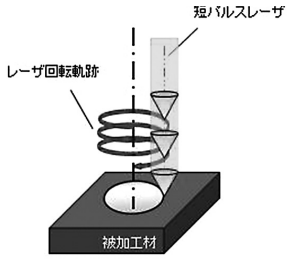


図３　ヘリカルドリリング加工方法

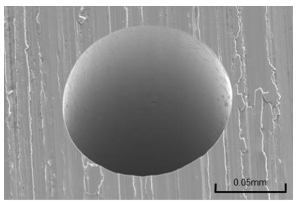


図４　SUS420 微細穴加工

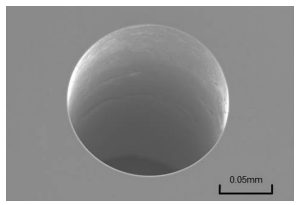


図５　シリコンウェハ微細穴加工

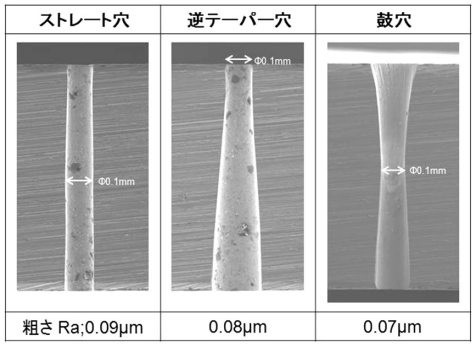


図６　各種穴形状加工事例

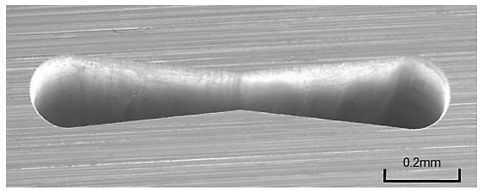


図７　異形穴形状加工事例

3．まとめ

本微細レーザ加工機開発の結果，加工困難とされていた高精度で高品位な微細穴加工を実現した．今後も多岐にわたる産業分野における超精密加工の更なる微細化，高品質化要求に対し最適なソリューションを提供できるよう，技術開発を推進する．

*1 正員，三菱重工工作機械㈱　先端生産システム開発センター（〒520-3080 栗東市六地蔵130番地）
*2 三菱重工工作機械㈱　先端生産システム開発センター（〒520-3080 栗東市六地蔵130番地）

技　術

(6) 気液二相流のスマート制御に基づく船舶の乱流摩擦抵抗低減技術の実用化

村井 祐一*1 (1969年生)　熊谷 一郎*2 (1969年生)　田坂 裕司*1 (1976年生)　朴　炫珍*1 (1984年生)　高橋 義明*3 (1941年生)

国際貿易の成長により海運分野でのトンキロ輸送量は30年後に３倍となる．一方，国際海事機関は海運におけるCO_2排出量を，2015年時点に対して2050年には1/2とする数値目標を掲げた．現在の船舶のエネルギー効率を６倍以上にするという驚異的な技術革新を必要とするシナリオである．そのような事が可能なのだろうか．大型船舶では燃料の70%以上を海水との摩擦に打ち勝つためだけに消費している．当チームでは微小気泡から大気泡まで幅広くカバーする空気潤滑技術こそが技術の中核と考えた．環境無害で実装可能な二相流のスマート制御に基づく乱流境界層制御装置の開発で道を開く．混相乱流の基礎物理から洋上での実装試験まで，学術と技術を最短距離で結ぶ開発が成功をおさめた．

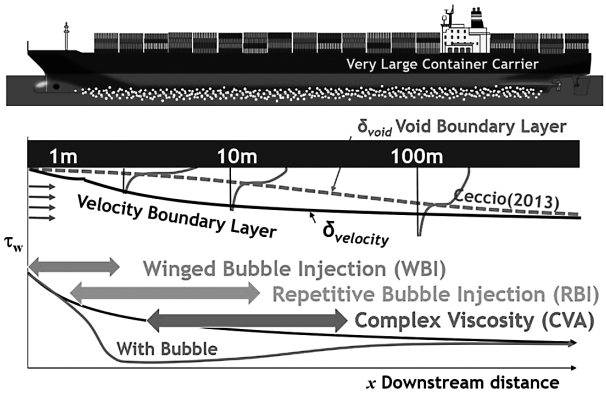


図１　船舶の乱流境界層を制御する３つの手段

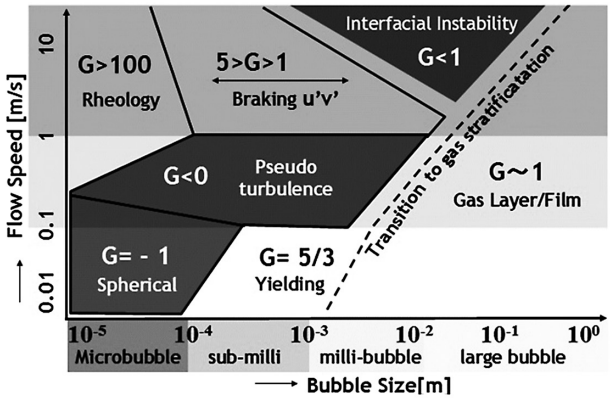


図２　気泡による抵抗低減メカニズムの遷移線図

スマート制御と名付ける背景には，船体空気潤滑用の二相流が如何に制御しづらい対象であるかという経験がある．本技術では図１に示すように翼型気泡発生制御，間欠的気泡発生制御，乱流粘度最適化制御の３つの制御スキームを介して下流持続性を有する抵抗低減効果を得た．翼型気泡発生制御では船体の自走で気泡が発生するようになり，圧縮機や送風機の搭載が不要となった．また負圧原理ゆえ熱力学的損失が最小化され，大きな対水速度条件で抵抗低減効果が増した．間欠的気泡発生制御は，自然成長するボイド波と平均抵抗低減率に相関があることから提案された技術である．間欠的に気泡を発生することで境界層ボイド率が５%以下でも常時，抵抗低減を実現することに成功した．乱流粘度最適化制御は，乱流渦によって変形する気泡の弾性と降伏が，乱流渦自身を相殺・鎮圧する機構を利用するものである．これらのアイデアはラボでの長時間の観測事実と，世界の200編以上の学術誌のレビューから生まれたものであり，図２の抵抗低減メカニズム遷移線図に集約された．同図中，Gの値は，境界層内の抵抗低減率を境界層内平均ボイド率で除したものである．

図３　実装試験および実用化された船種

図３は当チームが主体的に関与した空気潤滑船の写真である．釣船（a）で３%の燃費向上の確認ができたのが最初であった．150名収容のフェリー（b）では９%の正味省エネ，（c）では10%，つまり３ヶ月間で55000リットルの燃料を節約した．（d）ではISO規定による海上試験で９～14%に達した．（e）は海上技術安全所と共同で，超音波ドップラー流速分布測定法（UVP）を世界で初めて実船境界層計測に利用し，気泡有無による内層変化を捉えた．（f）は2010年から進行中の大型コンテナ船への試験である．

本技術は国内外の大学・研究機関および造船各社から，科研費基盤研究Aのアドバイザー制度による協力により進められてきた．謝意を表す．

*1 正員，北海道大学（〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目）
*2 正員，明星大学（〒 191-8506 東京都日野市程久保2-1-1）
*2 ランドエンジニアリング（〒154-0015 東京都世田谷区桜新町2-31）

(7) 微視的な損傷が考慮された高分子材料構成則開発

山本 敏治*1 (1958年生)　高橋 順一*1 (1970年生)

1．概　要

高分子材料は，軽量で加工が容易なことから，自動車や家電等の種々多様な分野で使用されている．近年，時代の要請である省資源，省エネルギの観点から，高分子材料の軽量性を生かしつつ，従来は金属が用いられていた構造部材としての使用も着実に増加している．高分子材料を構造部材に用いる場合は，高分子材料の特性と最終的な構造体としての性能とを正確に関連付け，両者を把握あるいは予測する科学的手法が必須である．本技術は，高分子の素材レベルの機械的特性から，それが使用される部品や製品の性能を設計に利用し得る精度で把握，予測することを計算機上で可能にした技術である．

2．技術の内容

本技術は簡単には，高分子の変形挙動が高分子特有の微視的損傷に起因していることに着目し，それを数値プログラム化することで，従来の高分子材料構成則では不可能であった，高分子の破壊形態や破壊時のエネルギ吸収の予測を初めて実用化したことが特徴であり，分子動力学等の微視的解析と連携できる材料構成則であり，分子レベルから製品までの異なるスケールを取り扱える，実用的なマルチスケール技術である．

本技術を産業上利用する場合，最終製品の設計に利用する場合と，最終製品の性能を達成する素材設計に利用する場合の大きくは２つの利用方法があるが，本報では，本技術を最終製品設計に適用した例について紹介する．最終製品設計に適用した場合の設計手法を簡単に図１に示す．図１に示すように，本技術は市販の汎用数値解析アプリケーションで用意されているユーザ定義材料構成則として提供され，一般のユーザは特に意識することなく，使用中の市販アプリケーションの一つの材料モデルとして使用できる．図２は，本技術を利用の流れを示す．まず，粗視化分子動力学で本技術の特徴である微視損傷を算出し，その微視損傷を本技術の構成則に適用することで，最終製品の性能の予測が可能である．本技術を適用した一例を図３と４に示す．図３は単軸引張試験の実験との比較．図４は最終製品である自動用バンパの衝突実験の比較である．何れの場合も実験とよく一致していることが確認できる．

さらに，本報では触れないが，図２右側の破線で示すように，最終製品性能を達成する素材設計にも適用できる．

3．まとめ

以上のように，本技術は素材から最終製品まで被設計物のスケールを問わない技術であることから，素材メーカから最終製品メーカ間で共有でき，異業種間の協業を促進し，高分子材料が構造材料として世の中にはば広く適用されることも期待される．

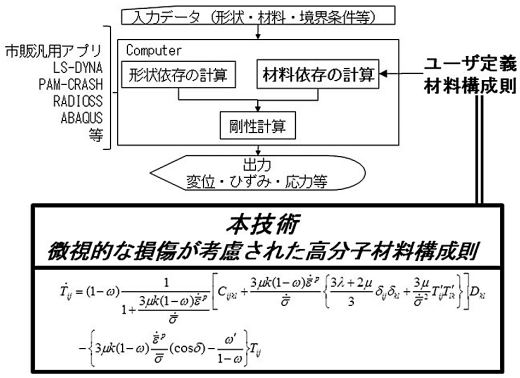


図１　本技術の産業上の利用方法例

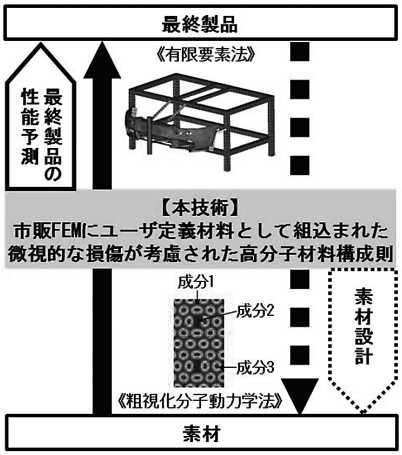


図２　本技術の利用の流れ

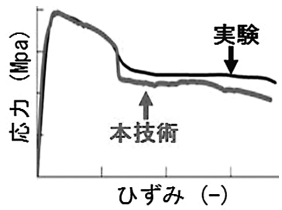


図３　検証例１：単軸引張試験

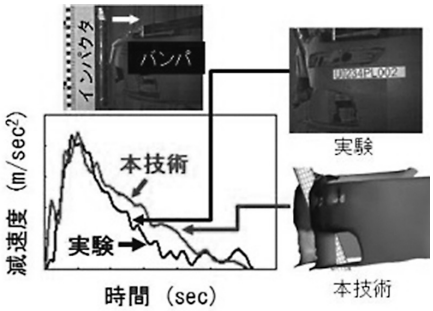


図４　検証例２：自動車用バンパ衝突実験

*1 正員，旭化成㈱（〒210-0863 川崎市川崎区夜光1-3-1）

研究奨励

(1) 炭素繊維強化複合材料の長期寸法安定性の研究

荒尾 与史彦*
(1981年生)

炭素繊維強化複合材料は，剛性が高く，かつ軽量であるために，航空宇宙分野の構造物への適用が期待されている．特に宇宙分野における観測の要となる高精度ミラーやアンテナリフレクタ等は，軽量化をはかることで重量制限のある中で大口径化でき，更なる性能向上を見込める．しかしながら，運用において予想外の形状変化が問題となり，原因究明と設計対策が急務となっていた．本研究では，炭素繊維強化複合材の成形時に生じる繊維配向誤差により，構造物に非対称性がうまれ，吸湿や熱などの体積変化により，平板の反りやねじれが発生することを突き止めた．成形上不可避な誤差を考慮して，炭素繊維強化複合材の精密設計の限界を提示した．

* 正員，東京工業大学（〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1）

研究奨励

(2) 微細構造体の表面エネルギーに起因する吸着力・接着力の評価に関する研究

髙橋 航圭*
(1982年生)

製品の小型化，薄型化によって機器や部品の微細化が進むと，比表面積の増大によって表面エネルギーに起因する力が顕著になる．例えば，固体表面が液体と接触したときの表面張力や，高分子材料の粘着現象は，いずれも固体表面へのぬれ性によって生じる力であり，表面エネルギーに起因している．本研究では，毛管現象による平板の吸着変形と，粘着テープのはく離強度を対象として，表面エネルギーに起因する力の評価に取り組んだ．高精度マイクロスコープを駆使した独自の実験方法と，エネルギーの平衡状態に基づく力学モデルの構築により，平板吸着の有無を判定する設計指標の導出，粘着剤の薄膜化に伴うはく離強度低下の解明に至った．

* 正員，北海道大学大学院工学研究院機械宇宙工学部門（〒060-8628 札幌市北区北13条西８丁目）

研究奨励

(3) 炭素繊維強化複合材料の損傷挙動評価とその予測手法の研究

中谷隼人*
(1981年生)

炭素繊維強化複合材料（CFRP）はシート状の繊維基材を重ねた積層材として扱われることが多く，複雑形状の構造物を作製する際には，繊維基材に切り込み等を導入する必要がある．このように発生する繊維不連続部を有するCFRP構造に関しては，従来報告されている連続繊維のみで構成されるCFRPの材料特性のみを用いた設計が不可能である．本研究は様々な数や寸法および配置の繊維不連続部を有するCFRP積層板が負荷を受ける場合の損傷挙動を明らかにし，破壊力学に基づく解析モデルによる損傷発生応力の予測にも成功した．これら実用的問題を考慮した成果は，一般産業機械へのCFRPのさらなる適用拡大に貢献できると期待できる．

* 正員，大阪市立大学大学院工学研究科 （〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138）

研究奨励

(4) マイクロチャネル内相変化伝熱現象を利用した医療用小型冷凍デバイスの研究

岡島 淳之介*
(1984年生)

生体組織の凍結により病変部を壊死させる凍結手術において，皮膚のシミなどの微小な病変部を対象とするために治療用冷凍デバイスであるクライオプローブの小型化が必要とされている．微小な領域を局所的に温度低下させるためには高い冷却性能が必要となる．本研究では，高圧液体状態の冷媒のマイクロチャネル内相変化伝熱を利用した外径550μmの小型クライオプローブを開発した．その冷却機構であるマイクロチャネル内の相変化伝熱現象の解明のため，マイクロチャネル内に生じる液膜の蒸発モデルを構築し，そのモデルを小型クライオプローブの実験結果に適用することで，内部の沸騰様式および冷却能力を評価した．

* 正員，東北大学流体科学研究所（〒980-8577 仙台市青葉区片平2丁目1-1）

研究奨励

(5) 複合レーザ計測と直接数値計算による乱流予混合火炎の火炎構造と振動燃焼現象の研究

志村 祐康*
(1981年生)

多くの燃焼機器で乱流予混合燃焼が用いられているが，現象の複雑さから未解明な点が多く残されており，高効率・低環境負荷燃焼器の開発には乱流燃焼現象を明らかにする必要がある．本研究では，乱流火炎における平面レーザ誘起蛍光法，ステレオ粒子画像流速計等を用いた多化学種，多平面あるいは高時間分解能な世界最先端の複合レーザ計測法を実現するとともに，乱流予混合火炎の直接数値計算を用いて，大域的・局所的乱流火炎構造，燃焼器内のせん断層に形成される大規模渦，燃焼器の三次元音響モードと乱流火炎構造との関係等を明らかにし，それらの現象のモデル構築，振動燃焼の制御手法の構築に多大な貢献をした．

* 正員，東京工業大学工学院（〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1）

研究奨励

(6) ポアネットワークモデルを用いたマイクロスケール多孔体内の気液熱流動挙動の解析の研究

西川原 理仁*
(1988年生)

近年，無電力で長距離熱輸送が可能なループヒートパイプ（LHP）が注目を集めている．しかしLHP性能を支配する蒸発器の多孔体内熱流動や気液相変化素過程は明らかではなく，理想的な性能を出すための設計理論が欠如している．そこで本研究では，実際の多孔体空孔構造の分布を考慮した３次元ポアネットワークモデルを構築し，従来の均質モデルでは予測不可能なマイクロ多孔体内の３次元温度場，圧力場，気液相分布，界面熱伝達性能の遷移機構を明らかにすることに成功した．さらに，この成果を基に３次元マイクログルーブ形状を新たに提案し，従来の3.2倍の熱伝達性能を実証した．これらの成果は，蒸発器の最適設計の指針となる重要な知見である．

* 正員，豊橋技術科学大学大学院工学研究科（〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ケ丘1-1）

研究奨励

(7) 格子乱流の減衰特性解明の研究

鈴木 博貴*
(1982年生)

乱流現象の解明と予測において，乱れのエネルギー減衰は最も基盤的な知見として位置づけられる．乱流の減衰特性については，一様流の中に設置された格子の後流（いわゆる格子乱流）を主な対象として，国内外で精力的に研究が継続されている．近年では，高精度な計測とともに大規模な数値計算によってその理解が深まりつつある．本研究では，高波数変動に対する解像度を改善する計算法を提案し，高効率・高精度な解析方法を確立した．さらに風洞実験において，流路閉塞を考慮したデータ処理方法を考案し，測定の精度を向上させた．本研究は，以上の新たな手法により，実験と計算の連携による減衰乱流の解明とモデルの進展に寄与するものである．

* 正員，山口大学大学院創成科学研究科（〒755-8611 宇部市常盤台2丁目16-1）

研究奨励

(8) 音場浮遊液滴の非線形ダイナミクスの研究

長谷川 浩司*
(1985年生)

分析化学や生物・医学あるいは物質科学をはじめとした広範な分野において，音場浮遊法による非接触流体制御技術の活用が検討されているものの，音場浮遊液滴に生じる非線形ダイナミクスの詳細は明らかにされていない．本研究では，音場浮遊液滴の界面近傍における流動を詳細に観測し，理論的に示唆されていたストークス層の存在を実証するとともに，音響流と液滴の蒸発の相互作用を説明するモデルを構築した．この成果により，例えば製薬工程における原材料液体の混合，相分離ならびに蒸発・乾燥などの全工程を非接触で実現可能とするなどの新しい技術への応用が期待される．

* 正員，工学院大学工学部機械工学科（〒163-8677 東京都新宿区西新宿1-24-2）

研究奨励

(9) 超臨界流体の熱流動解析手法の開発とその応用の研究

古澤　卓*
(1984年生)

近年，超臨界流体は環境負荷や効率の観点から注目され，発電システムや化学プロセス，熱交換器などの様々な機器において利用が進められている．超臨界流体は臨界点近傍で密度や定圧比熱などが大きく変化することが知られており，これまでに機器内部の熱流動は十分に明らかにされていなかった．本研究では，臨界点近傍の熱物性値変化を考慮した数値解法を提案し，化学反応器の実形状内部や圧縮機翼列の超臨界水や超臨界二酸化炭素の流動解析を行い，超臨界流体の特異な流動現象を明らかにした．また，化学反応や粒子生成，凝縮を考慮した数理モデルを構築することにより，臨界点近傍におけるマルチフィジックス現象の解明を行った．

* 正員，東北大学大学院情報科学研究科（〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-01）

研究奨励

(10) 人体模倣筋骨格ヒューマノイドの身体設計と動作制御の研究

浅野 悠紀*
(1988年生)

ヒューマノイドは，人間と同じ形態をしたロボットであるが，可能な動作はまだ人間に及ばず，ハードウェア（身体構造），及びソフトウェア（制御）の両面に課題が残されている．本研究では，既存のヒューマノイドの構成法を人間と照らし合わせ，より詳細に人間の身体・運動システムを再現する人体模倣筋骨格ヒューマノイドの開発を行ってきた．身体構造には解剖学の知見を踏まえ，身体プロポーション，骨格構造，筋配置，関節特性を詳細に模した等身大ヒューマノイドを開発してきており，制御では人間の筋の振る舞いや運動制御プロセスを模す制御系の実装を行ってきている．本研究によって，人体動作解析や運動能力解明への活用が期待される．

* 正員，東京大学大学院情報理工学系研究科（〒113-0033 東京都文京区本郷7-3-1）

研究奨励

(11) 人間支援のための生体信号解析技術とヒューマンインタフェースの研究

島　圭介*
(1983年生)

ヒトから計測される筋電位などの様々な生体信号や生体運動から，ヒトの動作意図や内在する病症を高精度かつ高速に読み取るための確率モデルを導入した新しいパターン認識技術を考案し，筋電義手をはじめとする種々のマン・マシンインタフェースや，リハビリテーションにおける療法士と患者の訓練支援法，医師の診断を支援する医療福祉システムなどへ応用して有用性を示した．近年では運動学習における２者間の関節運動情報の共有技術（ヒューマンヒューマンインタフェース）や，パターン認識問題において想定できなかった“未学習クラス”の推定という新しい分野の基本概念を考案し，人間支援インタフェースの利用可能性・有用性を大いに示した．

* 正員，横浜国立大学 大学院工学研究院（〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79－5）

研究奨励

(12) マイクロ流路チップを用いた細胞の機械特性計測の研究

杉浦 広峻*
(1990年生)

本研究は，マイクロ流体チップにおいて，微小な浮遊細胞サンプルに圧縮変形を与え，細胞の機械特性を計測する技術を確立してきた．これは，生きた細胞群に対して機械的特性を高効率に評価するシステムに与するものである．計測対象が微小であることから，とりわけ計測精度確保のための様々の手段を講じている．圧子となる微小機械構造は，圧電アクチュエータの変位伝達機構を用いることで，高い繰り返し位置決め精度を実現した．また，顕微鏡下のイメージングの際に発生するモアレ縞を積極的に利用することで，機械構造の位置計測精度を向上させた．これにより，細胞の変形量―反力特性を高精度に取得，細胞特性評価を実現可能とした．

* 正員，名古屋大学大学院工学研究科（〒464-8603 名古屋市千種区不老町1）

研究奨励

(13) パーソナルモビリティ・ビークルの運動と制御の研究

中川 智皓*
(1982年生)

個人向けの移動手段として，様々な形態のパーソナルモビリティ・ビークル（PMV）が登場している．PMVは小型・軽量であり，車両に対する人間の比重が大きいため，車両の力学や制御のみならず，人間の動きを考慮することが重要である．本研究では，PMVと人間（操縦者）の力学的な協調，また人間（周囲歩行者）との心理的な協調を検討した．人間の挙動を詳細に把握する方法として，マルチボディダイナミクスを用いた運動解析や三次元動作解析装置を用いた走行計測実験で，人間を含めた系を取り扱った．それにより，車両の形態やハンドルの有無が人間の安定性や操縦性に与える影響，また加減速時の人体挙動のメカニズムを示した．

* 正員，大阪府立大学工学研究科（〒599-8531 堺市中区学園町1-1）

研究奨励

(14) ワイヤ＋アーク放電によるアディティブ・マニュファクチャリングの研究

阿部 壮志*
(1988年生)

金属３Dプリンタ技術の一種である，ワイヤ＋アーク放電によるアディティブ・マニュファクチャリングは，アーク溶接技術を応用している．そのためチタン合金，ニッケル基耐熱合金など多種の金属材料が低コストで使用可能で，造形能率が高いという特徴がある．この技術は大型金属製品の試作品や，金型の補修への適用が期待される．本研究では，造形物の機械的特性など基礎特性の解明だけでなく，トーチ経路のNCデータに加えて造形精度を向上させるための最適な送り速度を出力するCAMの開発，複数種類の材料を選択的に堆積させる異種金属積層法の提案・検討を行った．

* 正員，山梨大学大学院総合研究部（〒400-8511 甲府市武田4-3-11）

研究奨励

(15) 薄膜プラスチックに対応したウェブハンドリング技術に関する研究

砂見 雄太*
(1985年生)

ウェブハンドリング技術は，我が国のものづくり産業を支える重要な基盤技術である．そこでの技術課題，とりわけプラスチックフィルムと鋼ローラ間のトライボロジー特性の予測，ならびにプラスチックフィルムの搬送・巻取り時における損傷予測の問題は，ほとんどが現場の経験と勘を頼りにしてきた．これに対して本研究では，プラスチックフィルムの熱粘弾性特性や軸方向の厚みムラを考慮したプラスチックフィルムの巻取りモデル，ならびにプラスチックフィルムと鋼ローラ間のトライボロジー特性について学術的な立場からアプローチしフィルム上に生じる不具合を未然に防ぐための防止法を提案している．

* 正員，東海大学工学部（〒259-1292 平塚市北金目4-1-1）

研究奨励

(16) マイクロスケール３次元形状標準を実現する超精密光応用計測の研究

道畑 正岐*
(1982年生)

微細部品を高精度に計測評価するためのマイクロスケール３次元形状計測技術が必要とされている．そこで，光放射圧プローブを用いたナノ精度座標測定器を開発し，寸法100μm以下の微細構造測定を可能にした．また，蛍光を用いた光学的３次元幾何形状計測法を提案し，従来では不可能であった光学的な幾何形状計測を実現した．更に，これらマイクロスケール形状計測の形状標準を保証するための計測技術を目指し，微小球共振を用いたマイクロ球径のナノ精度計測を提案し，従来を圧倒的に上回る，繰り返し精度±2 nm，測定のばらつき±5 nmで微小球径測定を達成した．以上のように，マイクロスケール３次元形状の標準計測を可能にする光応用計測の発展に貢献している．

* 正員，東京大学 先端科学技術研究センター（〒153-8904 東京都目黒区駒場4-6-1）

研究奨励

(17) 複合系足場材と間葉系幹細胞培養系による人工骨組織の力学特性変化のメカニズム解明についての研究

荒平 高章*
(1984年生)

骨組織工学では，生体材料による足場材と幹細胞による人工骨組織を生体外で構築した後，患部に移植する再生培養骨移植に関する研究が活発に行われている．本研究では，生体骨の有機成分であるコラーゲンを基材とした足場材に骨の無機成分に類似したリン酸カルシウム系セラミックスであるβ-TCP微粒子を分散させた粒子分散型複合系足場材とβ-TCPを骨格構造とし，その中にコラーゲン多孔体を導入した２相多孔質構造型足場材を作製し，作製した足場材を用いてラット間葉系幹細胞を最長28日間培養することで，細胞の増殖・分化および細胞外マトリックス形成挙動と圧縮力学特性の詳細な関係性について明らかにしたものである．

* 正員，福岡歯科大学　歯科医療工学講座（〒814-0193 福岡市早良区田村2-15-1）

研究奨励

(18) 多細胞組織の形態形成における力学制御機構の研究

奥田　覚*
(1985年生)

本研究では，細胞間の多体相互作用から生じる組織動態の力学原理を解明し，その知見を生体力学に立脚した組織工学へと応用する多細胞力学の基盤を構築した．特に，分子・細胞レベルから組織・臓器レベルに跨る内部構造の階層性と一般性に着目し，１細胞レベルの機械的力作用に基づいて組織動態を予測する汎用数理モデルを開発した．また，本モデルを用いた数値計算による力学解析を実施し，上皮組織の変形や運動が自律的に生じる力学原理を解明した．これにより，臓器の構造形成やがん浸潤の集団運動など，多細胞が引き起こす生命現象について，その力学原理の解明と工学応用への展開が期待される．

* 正員，理化学研究所　多細胞システム形成研究センター（〒650-0047 神戸市中央区港島南町2-2-3）

研究奨励

(19) 微小循環内における細胞流動と接着の数値解析の研究

武石 直樹*
(1988年生)

血液中の細胞接着現象は白血球の免疫応答やがん転移のような生理的あるいは病理的過程において重要である．しかしながら，この問題は接着タンパクの生化学反応だけでなく，細胞及び細胞環境の力学が関係する複雑な現象であり，細胞接着の包括的な理解は依然として確立されていない．本研究では，血漿・細胞質の流体力学，細胞膜の固体力学，接着タンパクのリガンド−レセプター結合を連立した計算力学モデルを構築し，流動する細胞が接着を成立させるための力学的条件を明らかにした．これらの結果は，循環器系のバイオメカニクスに新たな知見を与えるものであり，白血球による免疫応答やがん細胞の転移を診断する上で重要な基礎的知見となる．

* 正員，京都大学　ウイルス・再生医科学研究所（現）大阪大学大学院基礎工学研究科（〒560-8561 豊中市待兼山1-3）

研究奨励

(20) 臨床応用を目的とした携帯型多機能センサによる歩行解析システム（H-GAIT）の研究

武田　量*
(1981年生)

従来の歩行解析手法は大掛かりな装置を必要とし，小さなクリニック等での導入が困難であった．そこで，小型慣性センサを身体に取付け，歩行時に計測される加速度と角速度からヒトの身体挙動を推定する手法が提案されていたが，直接ヒトの３次元姿勢を推定することは困難であった．この課題解決のため本研究ではセンサのキャリブレーション手法，測定データに含まれるノイズ除去信号処理方法，四元数を用いた身体３次元姿勢表現方法を開発した．結果，従来手法と同等の精度でヒトの３次元歩行解析が小型慣性センサでも可能となった．本研究成果を用いて，膝変形性関節症の患者の測定，膝関節全置換術前後の歩行解析を行い臨床応用も実現した．

* 正員，北海道大学大学院工学研究院（〒060-8628 札幌市北区北十三条西8丁目）

技術奨励

(1) 放射光ラミノグラフィによる自動車用パワーモジュール信頼性評価技術の開発

浅田 崇史*
(1981年生)

CT（Computed Tomography）を発展させた放射光ラミノグラフィ測定と画像相関法を組み合わせて，実部品の内部損傷過程だけでなく，３次元内部ひずみ分布を明らかにする技術を構築した．本測定技術を用いて，パワーモジュールの冷熱サイクル負荷による損傷を可視化した結果，き裂や界面剥離，接合面のボイド成長といった内部の形状的な損傷に加えて，冷熱サイクルに伴う３次元内部ひずみ集中の様子が明らかになった．放射光ラミノグラフィは，その測定方法の特徴から，扁平な形状の構造物であれば非破壊のまま内部損傷形態を可視化することができるため，パワーモジュールに限らず様々な実製品への応用が期待される．

* 正員，㈱豊田中央研究所（〒480-1192 長久手市横道41-1）

技術奨励

(2) 実働荷重負荷に対する高精度疲労寿命評価技術の開発

井上 剛志*
(1983年生)

輸送機械には稼動時に振幅や方向が時間変化する非比例変動応力が発生する．このような応力に対する疲労寿命評価技術を確立するため，任意の面内応力を再現可能な面内三軸疲労試験機を開発した．試験機は，同一面内において三方向から独立負荷を与える構成を特徴とする．本試験機で，稼働中の建設機械で測定した面内応力を，平均誤差10%以下で再現できることを確認した．また，実働負荷に対する疲労寿命を予測するため，応力と主軸の変化量より求まる非比例負荷強さを考慮した評価技術を提案した．本試験機を用いた非比例変動負荷下での疲労試験で得られた実寿命に対して，提案手法による予測精度は３倍以下となり，手法の実用性が確認できた．

* 正員，㈱日立製作所（〒312-0034 ひたちなか市堀口832-2）

技術奨励

(3) 小型大トルク駆動を実現する横方向磁束型モータの開発

上田 靖人*
(1981年生)

モータは機械産業に広く応用され，小型大トルク駆動が望まれている．通常のモータでは，トルク密度は磁束・電流・磁極数の増大で向上できるが，磁性材料・コイル発熱・磁極間干渉の要因から既に限界に近づいている．本開発では，磁極間にコイルを巻く必要がなく，巻数を確保しながら多極化できる横方向磁束型モータに着目し，新たに磁気抵抗を低減する３次元磁極構造を提案した．本モータの実現のため，３次元磁極の大規模解析モデリング技術，３次元磁極の製作工数の低減技術と高トルク化に起因して増大するトルク脈動の低減技術を新たに開発した．その結果，同じ起磁力で現行比約２倍のトルク密度を実証し，磁石量半減の可能性も明らかにした．

* 正員，㈱東芝（〒212-8582 川崎市幸区小向東芝町1）

技術奨励

(4) 石炭焚き火力発電所におけるバイオマス大規模混焼技術の開発

鹿島　淳*
(1984年生)

バイオマスは，CO_2排出量削減の観点から利用拡大が望まれている．石炭焚き火力発電所における大規模混焼実現のため，課題の１つである粉砕性に関して，多種類のバイオマスペレットの粉砕特性を評価する必要があるが，当社ではこれまで大型テスト粉砕機（容量２/th）による試験に限られていた．本技術では，大型粉砕機の形状・運用をスケールダウンした小型粉砕機を用いて少量サンプルから大型粉砕機の粉砕特性（動力，粉砕後粒子径）を評価するための手法を開発した．大型テスト粉砕機で得られた動力・粒径と比較し，その妥当性を確認した．本技術を活用することで，粉砕機のスペック検討の効率化が期待される．

* 正員，三菱日立パワーシステムズ㈱（〒737-8508 呉市宝町6-9）

技術奨励

(5) 排気再循環とタンブル流の流動強化による高効率ガソリンエンジンの開発

川村 明裕*
(1982年生)

地球温暖化防止の観点より自動車へのCO^{2}削減要求は強く，内燃機関の熱効率向上への要求は近年高まっている．3代目プリウス用2ZR-FXEエンジンはノッキング改善を狙いとしたアトキンソンサイクル，クールドEGRなどを採用した低燃費エンジンであるが更なる燃費向上が必要とされている．本技術開発では4代目プリウス用エンジンとして既存エンジンの基本骨格を変更する事なく，バルブタイミングや吸排気系の最適化による「排気ガス再循環率の大幅な向上」と，吸気ポート形状やピストン頂面最適化による「タンブル流を強化した高速燃焼」の主たる技術を用い，量産ガソリンエンジンとして世界で初めてとなる最大熱効率40%を達成した．

* 正員，トヨタ自動車㈱（〒471-8572 豊田市トヨタ町1番地）

技術奨励

(6) 実スケールガスタービン燃焼器の光学計測手法の開発

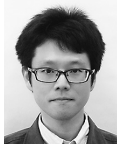
木村 勇一朗*
(1984年生)

ガスタービン燃焼器の開発において，燃焼安定性の評価技術は重要である．燃焼安定性評価のためには，燃焼器内部の火炎（発熱率）の分布を捉えることが必要だが，熱電対などの接触式の計測手法は燃焼場そのものへの影響が無視できない．そこで，平面レーザ誘起蛍光法（PLIF）や火炎のラジカル自発光計測といった，非接触の光学計測手法を実スケールのガスタービン燃焼器に適用することで，燃焼器内部の火炎分布の計測を可能とする計測技術を開発した．本計測手法の実現により，実スケール燃焼器を用いた燃焼試験において，火炎の圧力変動に対する応答を捉えることができるようになり，より詳細な燃焼安定性の評価が可能となった．

* 正員，三菱重工業㈱（〒676-8686 高砂市荒井町新浜2-1-1）

技術奨励

(7) キャビテーションに起因するポペット弁振動シミュレーション技術の開発



熊谷 賢人*
(1984年生)

液圧システムなどによく用いられるポペット弁は発振によるシステム不具合の原因になることも多く，設計では弁振動の発生予測が重要となる．だが，種々の弁振動のなかでも，キャビテーションを伴う流れ場で生じるポペット弁振動は，再現性の乏しさゆえに予測が難しく，未だに現象の全貌が掴めていなかった．従って，この振動の予測には原因や発生メカニズムの把握から行う必要があった．本技術開発では，実験によって当該弁振動現象を再現・計測することで，弁絞り部で生じる渦やキャビテーション気泡の挙動が弁体の振動励起に寄与することを突き止め，得られた知見から当該弁振動現象を高精度に予測できるシミュレーション技術を開発した．

* 正員，日立建機㈱（〒300-0013 土浦市神立町650番地）

技術奨励

(8) 火力発電所における未利用燃料の有効利用を可能とする低揮発分燃料バーナの開発

小崎 貴弘*
(1984年生)

火力発電所では，効率的に燃焼させるために石炭などの固体燃料を粉砕し，微粉として使用している．オイルコークスや半無煙炭といった燃料は，揮発分割合が低いことから微粉にしても着火性が悪く，重油による助燃を必要としていた．低揮発分燃料バーナは，高温の燃焼ガスの一部をバーナ内の燃焼チャンバーに引き込み，内部で循環させることで燃焼を促進させ，低揮発分燃料の専焼を可能とした．本バーナはベトナムでの実証試験を経て，2015年に国内の化学工場の発電用ボイラに初めて導入された．同ボイラは助燃のための重油消費量削減に成功し，現在も商用運転を継続中である．

* 正員，㈱IHI（〒135-8710 東京都江東区豊洲3-1-1 豊洲IHIビル）

技術奨励

(9) エンジンオイル冷却機能を有するシリンダブロックの開発

小林 真一*
(1981年生)

近年，エンジンの高性能化に伴い比出力向上が進む傾向であるが，その課題の一つに燃焼室の温度が上昇し，燃焼室からの受熱によりエンジンオイルの温度が上昇することが挙げられる．従来はオイルの劣化を防ぐため，付加デバイスのオイルクーラでエンジンオイルを冷却している．今回，コスト低減を狙いシリンダブロック本体でオイルを冷却することで，オイルクーラを廃止する技術を開発した．ポイントは冷却水路に隣接する油路面積とオイル流速の最大化による冷却強化と，油路を形成するダイカスト入れ子型寿命の両立で，小排気量過給エンジンへの採用により大幅なコスト低減を実現した．開発技術は今後のエンジンにも広く展開予定である．

* 正員，トヨタ自動車㈱（〒471-8571 豊田市トヨタ町1番地）

技術奨励

(10) 狭軌用操舵台車の開発

齋藤 拓也*
(1983年生)

地下鉄路線には急曲線が多く存在し，著大横圧，車輪・レール間の騒音，車輪フランジ摩耗などの課題がある．これら諸課題解決のため，車体中央側の軸のみを操舵して横圧を軽減する片軸操舵台車の開発を行った．横圧低減，騒音低減，車輪フランジ摩耗低減等の評価を行い，従来台車と比較し十分な改善効果を確認したことから，銀座線新造車両へ標準軌用操舵台車を導入した．さらに銀座線同様に路線中に急曲線が多く存在する日比谷線への操舵台車導入に向けた開発を行った．軌間が狭軌となること，また直通運転先での高速走行を考慮し，狭軌用試作操舵台車を製作し長期耐久試験を行った．良好な結果を得たことから，日比谷線新造車両に狭軌用操舵台車を導入した．

* 正員，東京地下鉄㈱（〒110-8614 東京都台東区東上野3-19-6）（現）日本コンサルタンツ㈱出向

技術奨励

(11) 多様な冊子のページめくり技術の開発

柴田 亨*
(1988年生)

冊子のページめくり技術は，ATM（現金自動取扱装置：Automated Teller Machine）の通帳や電子書籍化時の本のページめくり等，幅広く利用されている．本開発は，その中でも通帳のページめくり動作安定化を目指した技術である．通帳のページめくりは，表紙と中紙を同一装置によりめくる必要があり，さらに，温湿度環境の影響を受けやすい．そこで，通帳の表紙や中紙の剛性の違いや温湿度環境による摩擦係数のばらつき等に対する評価方法を開発し，めくり不良を発生させる原因を究明した．そして，正常なめくり動作を実現するために必要なローラ押圧力の適正範囲を見出し，ローラ押圧力に関してシミュレーションを行うことで，新たなローラ構造を開発した．

* 正員，㈱日立製作所 研究開発グループ（〒312-0034 ひたちなか市堀口832-2）

技術奨励

(12) ドラム式洗濯乾燥機における防振構造の多目的最適化手法の開発

上甲 康之*
(1985年生)

ドラム式洗濯乾燥機は，回転するドラム内の衣類に片寄りがある場合，衣類に作用する遠心力の不釣り合いにより加振力が発生し，ドラムとそれを内包する外槽とが一体で振動する．その振動モードは衣類質量の影響を受けるため，防振構造に対する要求は複数となる．そこで本研究では，衣類が遠心力でドラム内壁に張り付いた状態を中空円筒でモデル化して衣類質量の影響を考慮し，さらに応答曲面を用いた多目的最適化手法により，脱水時の低振動化と軽量化の複数要求を同時に満たす防振構造を検討した．外槽に備える制振ウエイトの軽量化と外槽の振動変位の最小化を両立するパレート解集合に対して最適性の検証を行い，本手法の有用性を確認した．

* 正員，㈱日立製作所（〒312-0034 ひたちなか市堀口832-2）

技術奨励

(13) 過酷事故事象を想定した発電プラントの破壊解析評価技術の開発

高澤 秀一*
(1983 年生)

福島原発事故以降，原子力発電プラントには，これまで以上に高い構造の頑健性が要求されており，過酷事故事象の発生に伴い想定される過大負荷に対する構造物の損傷，さらに，航空機衝突事象など，従来の強度評価に比べて複雑かつ大負荷条件に対する評価手法の整備が必要である．本開発では，これら実規模試験が困難である事象に対する破壊挙動の予測技術を構築するために，非線形有限要素法解析を駆使した破壊解析評価技術を開発した．解析モデルおよび破壊クライテリオンの適正化を図り，実証試験結果を用いて，従来手法よりも評価精度が向上することを確認した．今後，プラントの健全性評価に係る各種規格，基準への開発技術の適用が期待される．

* 正員，㈱日立製作所 研究開発グループ（〒319-1292 日立市大みか町7-1-1）

技術奨励

(14) 形状ならい把持機構による物体ハンドリング高度化技術の開発

田中 淳也*
(1984年生)

ロボットによる物体ハンドリング作業の自動化実現には，多種多様な物体を適応的かつ安定的に把持する機構が求められる．そのような把持機構には物体接触部を物体形状にならわせる「ならい把持動作」が一般的に有効であるが，構造が複雑化かつ大型化するという課題があった．本技術開発では，簡易な機構と少数の駆動源で把持機構を構成するという基本構想のもと，新たな設計法として駆動力伝達経路設計法と弾性関節設計法を開発した．これにより，所望動作を実現可能な各種把持機構を創出するとともに，試作検証を経て有用性を確認した．今後，本開発の各種把持機構は，宅配ターミナル等の物流現場における移載作業自動化等への展開が期待される．

* 正員，㈱東芝（〒212-8582 川崎市幸区小向東芝町１）

技術奨励

(15) 曲線要素羽根技術を適用した高効率オープン型遠心羽根車を搭載する高速単段ブロワの開発

塚本 和寛*
(1983年生)

高速単段ブロワは主に下水処理施設での曝気用に用いられており，処理施設の省エネ化のニーズから，ブロワの高効率化が求められている．本開発では，曲線要素羽根技術を用いて高効率のオープン型遠心羽根車を開発し，ブロワの高効率化を実現した．曲線要素羽根技術は，従来直線的に構成されていた翼高さ方向の翼面を自由曲面によって構成する技術である．曲線要素化によって羽根車から流体に作用する翼力の方向を制御し，翼間の二次流れや翼端部の漏れ流れに起因する損失を低減することができる．本技術をオープン型の遠心羽根車に適用した結果，主に翼端部の漏れ流れを抑制することによって，遠心ブロワの高効率化が可能なことを実証した．

* 正員，㈱日立製作所（〒312-0034 ひたちなか市堀口832-2）

技術奨励

(16) 特許情報を活用した改善VE手法の開発

宮田 仁奈*
(1981年生)

VE（Value Engineering）は，製品を機能という抽象化した概念で捉え，機能系統図を基にアイデアを発想することで，抜本的な改善をする手法である．よって，この機能系統図作成段階で改善要求を正しく・抜けなく把握することが重要である．本研究では，特許という技術データベースを活用し，改善対象の機能を客観的，かつ，網羅的に定義する手法を開発した．これは，従来製品の機能系統図へ，これが関連する特許が達成しようとする機能（目的）を付加することで，「果たすべき機能」というより広い概念の機能を定義し，潜在的な要求の発見を目指すものである．本手法を活用することによって，価値の高い代替案へつなげることができた．

* 正員，㈱IHI（〒196-8686 東京都昭島市拝島町3975-18）

技術奨励

(17) 容器鏡板の内圧座屈解析技術の開発

屋嘉 広行*
(1984年生)

圧力容器の設計を行う上で座屈評価は必須であるが，実験式による評価は構造を単純なものに一般化するために過度に安全側の評価となる場合がある．この座屈評価の精度を高めることができれば，設計を合理化し，信頼性を向上させることが可能となる．高精度化にはFEMが有効であるが，不安定や分岐をともなう座屈現象をFEMで評価する場合，要素分割や初期不整設定が問題となることが多い．そこで本技術開発では，トリスフェリカル殻鏡板構造の内圧座屈現象について，FEMを用いて精度よい解を得る評価法を構築した．さらに，座屈に至る内圧よりも塑性崩壊内圧が低い容器の評価手法を加えて，圧力容器の一連の耐圧評価法を提案した．

* 正員，㈱日立製作所 研究開発グループ（〒312-0034 ひたちなか市堀口832番地2）

技術奨励

(18) 高微粒化噴霧を実現した自動車エンジン用多孔スワールインジェクタの開発

吉村 一樹*
(1984年生)

自動車用エンジンの排気性能や燃費を改善するため，燃焼効率の向上を目的に，微粒化性能に優れたポート噴射エンジン用インジェクタを開発した．本インジェクタは複数の噴孔を持つ従来型インジェクタに対し，各噴孔の上流に旋回（スワール）室を設けていることが特徴である．これにより燃料に旋回速度成分を付与し，遠心力により噴霧を拡散させて微粒化を促進することが可能となる．本開発では旋回流を効率よく発生させつつ，噴霧の微粒化を阻害する噴霧間干渉の影響を低減するためのノズル形状最適化を実施し，実機へ適用した．本開発で得られた知見は自動車に限らず，噴霧に関わる他の産業機械での活用が期待できる．

* 正員，㈱日立製作所（〒312-0034 ひたちなか市堀口832-2）

教　育

(1) 実践性を重視した若手向けロボット・メカトロニクス教育の構築とインターネットでの提供

熊谷 正朗*
(1974年生)

機械工学分野における教育は，知識と実践を両輪とする組み合わせが重要であり，主に大学生と企業の若手技術者を想定したロボット・メカトロニクス教育に取り組んできた．知識の面では実践性を重視した観点からの「教養としての」メカトロニクスをめざし，大学講義に加えて，仙台市地域連携フェロー活動の一環で「基礎からのメカトロニクスセミナー」を実施，地域企業への出前講座も行っている．この講義・講座の情報はWEB上で公開・解説しており，学内・地域にとどまらず他大学や全国の企業からも活用されている．その発展版の一つとして，開発したロボットの全設計データ公開の試みも始めた．一方，実践面では，「つくりたいロボットをつくる」卒業研究によって，メカトロニクスの開発を一式で体験・見聞できるようにするとともに，学生諸君の自由なアイデアを実体化してきた．教員側の実務的負荷は大きいが，この経験は上記の講座にフィードバックしている．あわせて，希望者には大学１年生から研究室の機材利用を可能とするコースを設け，個々人の実践学修の場としている．今後は「つくりたいロボット」をつくる方法論について一般化と公開解説を進めて行きたい．

* 正員，東北学院大学工学部（〒985-8537 多賀城市中央1-13-1）

教　育

(2) スターリングエンジンを題材としたものづくり導入教育

東京農工大学「スターリングエンジンを題材としたものづくり教育」担当教職員
[代表者] 笹原 弘之*
(1965年生)

お湯で駆動する低温駆動型のスターリングエンジンを一人一台製作するものづくり教育プログラムである．機械システム工学科一年生の必修科目として開講しており，平成18年度に採択された文部科学省「デジタルものづくり教育プログラム開発事業」の一環として立案・実施され，現在も自助努力で継続実施している．

受講学生は，旋盤，フライス盤，ボール盤，ワイヤ放電加工機，ファインカッタ，射出成形機など９種類の工作機械を使って部品加工し，組立，動作確認までの一連の「ものづくり」プロセスを実践する．機械加工においては振動や音，においを実体験する．また，組み立てにおいては，高い加工精度と組み立て精度が必要であることや，わずかな摩擦が性能に影響することを実感できる．１年生の後学期という比較的早期にこのような実習を行う点が特徴の一つとなっており，高校卒業までは手を動かしてものづくりをする経験が乏しい学生に対して，ものづくりの楽しさと難しさを実感させ，機械系エンジニアとして必要となる様々な要素を体験し，２年生以降の本格的な機械工学への導入教育として有効に機能している．

* 正員，東京農工大学大学院（〒184-8588 小金井市中町2-24-16）

教　育

(3) “謎解き” を取り入れた革新的な科学・工学教育の考案と実践

長谷 亜蘭*
(1982年生)

“謎解き”（様々なクイズやパズルを解きながら，与えられた最終目的を達成する体験型イベント）を科学・工学教育に取り入れた独自の「科学・工学×謎解き体験学習イベント」を考案し，小中高生を対象に異なる学習テーマで年に数回実施している．2016年度実績では，延べ約300名が参加した．参加者は，各プログラムで設定されたストーリーに沿ってクイズやパズルなどを解きながら直接ものづくりや実験を行い，物理の原理や機械の仕組みなどを楽しく体験学習できる．このように，体験活動にエンターテイメント性を付加して，参加者を謎解きの世界観で包み込み，好奇心をくすぐることでより一層の学習効果が期待できる．科学・工学への興味を持たせるだけでなく，参加者の自発的に考える力が養われるとともに，チーム活動などを通して協調性やコミュニケーション能力なども養われる．今，教育現場で取り組まれているアクティブラーニング（課題の発見・解決に向けた主体的・協働的な学び）の場としても有用と考える．また，一般的な体験学習よりも印象に残りやすく，考える楽しさや課題を乗り越える達成感を体感できる機会を提供している．

* 正員，埼玉工業大学工学部機械工学科（〒369-0293 深谷市普済寺1690）

優秀製品賞

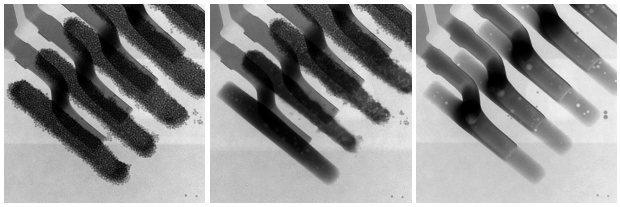
(1) 縦型X線装置用リフローシュミレーター

株式会社アンベエスエムティ*

1. 製品の概要

リフローはんだ付時にボイド，ブリッジ，不ぬれ，ソルダーボール等，多種類のはんだ付不良が起こりうる．そこで，プリント基板のリフローはんだ付中の溶融はんだの動きを常時X線で観察できれば，不良の発生状況が分り，改善につながる．時間の経過と共に移動する現象も観察され，本装置の有益性が明らかとなった．

また，本X線リフローシュミレーター内部に小型密閉型真空リフロー炉を設置することで，真空リフロー中のはんだの動きを観察する事も可能となった．



X 線画像

2. 開発上の課題

本装置の開発は以下の技術的課題を克服することで製品化を実現した．

① リフローはんだ付装置にX線が透過しにくい金属材料等を使用したのでは，溶融はんだとこの金属部が重なり溶融はんだのみを検出できない．そこで，X線がほぼ貫通する材料でX線装置用リフロー炉を開発した．その結果，基板及び溶融はんだの動きを明瞭に観察できるようになった．

② X線拡大率を大きくするため，可能な限り薄い加熱ユニットを開発する必要があり，研究開発の結果，最小厚さ約30mmを達成した．本薄型加熱炉のX線観察エリアは約100mm角と広い視野を達成した．

③ 300℃程度までの均一加熱（約80mm角程度）を実現した．

3. 装置構成

X線装置用リフロー炉と制御装置から成る．

制御装置　　X 線装置用リフロー炉

4. 特長

① 様々なX線装置に着脱可能．

② 明瞭・高倍率で撮影可能．

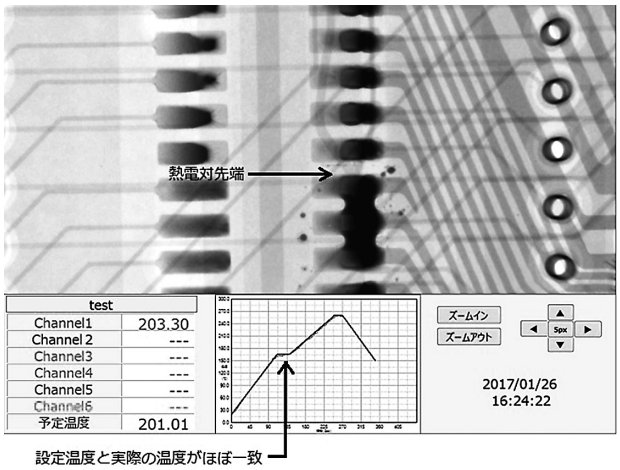
③ 当社の高速応答熱電対（先端厚み約40μm極薄熱電対）を観察したい箇所の近くに設置することで，設定したプロファイルに近い温度曲線を取得できる．熱電対は6本装着可能で6個所の温度を測定できる．

④ 温度プロファイル屈曲点を最大16ポイントまで設定可能．

⑤ シンプルな構造で，性能の割に安価である．

⑥ 真空はんだ付中のX線観察を実現した．

⑦ X線装置の映像と温度変化を同一画面で観察，録画できる．



観察中画面

5. 販売実績

2010年から販売を開始した．最近の超高密度実装化により最近販売件数及び引きあいが増えている．

リフロー中のX線装置での観察の需要が増えているため，同業他社も数社あるが，当社の薄型で高倍率・着脱が可能なタイプは他になく，このタイプのシェアは100％と言える．

6. まとめ

超高密度はんだ付実装技術の向上に必須となりつつあると思われる．本装置を使って，はんだ付中の溶融はんだの動きを観察することで，はんだ中の不良のメカニズムを把握することができ，製造の歩留まりが上がり，製造の効率改善・製品の精度向上につながる．

特に，最近はBGAやCSPさらには基板上に基板を実装するケースも多く，はんだ付箇所が外側からでは目視観察できず，かつ超微細な実装も出現，超高密度実装化がますます進んでおり，本装置の有用性が明確となった．

* 特別員，〒226-0024 横浜市緑区西八朔町149-18

(2) ARJ型ロータリブロワ

株式会社　宇野澤組鐵工所*

1. はじめに

三葉型ロータのロータリブロワは，低騒音，低振動を目指して，1977年に商品化され，1980年に「ARJ型ロータリブロワ」としてシリーズ化された（風量範囲：1～480m³/min 圧力範囲：9.8～215kPa［2段式ブロワを含む］）.

ARJ型ロータリブロワは，シンプルな構造，取扱ガスを汚染しないオイルフリーの特性，圧力の変動に対する定風量特性，高効率という特長から，製鉄，化学，食品，醸造，水処理等，各種産業の高圧ガス，特殊ガスの移送用，空気力輸送用，曝気用等に使用され，ユーザーから高い安全性と性能の信頼を得ている.

2. ロータリブロワの構造と作動原理

ロータリブロワは，主にケーシング，ロータ，サイドカバー，ベアリング，タイミングギヤ及び潤滑油室で構成されている（図1）．ケーシング内部で2つのロータが，ケーシング内壁及びロータ相互間にわずかな隙間を保って互いに反対方向に回転する．1つのロータの葉端が吸込口を通過する際に，ケーシングとの間で捕捉された一定量のガスが吸込側から吐出側に移送され，高圧側へ押し込まれる形で吐出される（図2）.

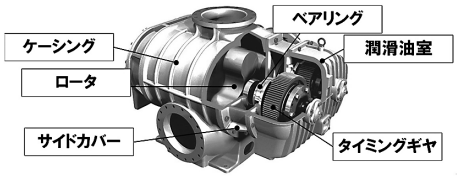


図1　ロータリブロワの構造

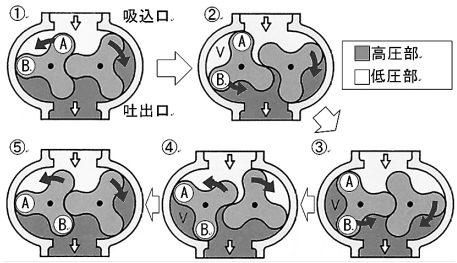


図2　ロータリブロワの作動原理

3. ARJ型ロータリブロワの特長

3. 1　豊富な軸封構造

ARJ型ロータリブロワは，軸封構造の種類が豊富で，取扱ガスによって軸封構造が選定される（図3及び表1）.

特殊ガスの場合にはメカニカルシールが使用される.

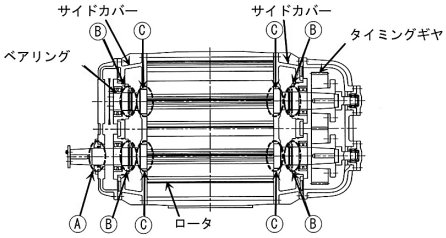


図3　ロータリブロワの軸封構造

表1 各種軸封構造と一般的な用途

形式	一般的用途
標準形	主として空気を扱うブロワに適する． 軸貫通部（図3「A」部）にオイルシール，ベアリング背部（図3「B」部）及びロータの軸封部（図3「C」部）の4箇所にラビリンスシールを配置する．
1メカ "K"形	軸貫通部（図3「A」部）にメカニカルシールを1箇所配置し，大気へのガス漏れが許されない非溶剤系のガス及び都市ガスなどの軸封に適する．
4メカ "B"形	ベアリング背部の4箇所（図3「B」部）にメカニカルシールを配置することにより，取扱ガスが直接潤滑油に触れないため，溶剤系ガスの軸封に適する．
4メカ "I"形	ロータの軸封部の4箇所（図3「C」部）にメカニカルシールを配置し，取扱ガスと軸受部分を完全に絶縁して，潤滑油に触れると反応を起こす特殊ガス及びスチームなどの軸封に適する．

3. 2　逆流冷却方式（図4）

逆流冷却方式は，ロータリブロワの作動原理を利用した方式で，吐出温度を下げることにより，次のような特長を得ることが可能である.

(1) 高温のガスを冷却せずに吸引することが可能
(2) 通常のロータリブロワに比べて，高真空・高圧力で使用可能
(3) ガスが空気の場合，大気を冷気として使用可能
(4) 特殊ガスでも，吐出ガスをクーラで冷却し，逆流冷気として使用することで対応可能

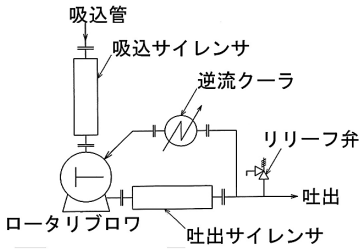


図4　逆流冷却方式

4. 販売実績

(1) 過去4年間（2012年～2015年度）の特殊ガス（水素，窒素，都市ガス等）の用途における市場占有率は10～24%（平均17%）であった.
(2) 特殊ガス用途において，軸封構造や冷却機構など技術的な要求事項を複合的に満足できる仕様のものについては，他社との差別化によってほぼ独占的に受注し，納入している実績がある.

5. まとめ

ロータリブロワは，取扱ガスの種類や用途により適正な軸封を選定することで，安全且つ安定したガスの供給を可能とする適用範囲の広いブロワである．また，構造がシンプルであるが故に，メンテナンスも容易である．今後も，使用上の容易性，保守の簡便性，種々のガスへの対応性などにより，その用途はますます拡大していくことが予想される．用途の拡大に先んじて，更なる高機能化，メンテナンスフリー化，コスト低減化に取り組み，顧客のニーズに合ったロータリブロワを供給していきたい.

* 特別員，〒146-0092 東京都大田区下丸子2-36-40

優秀製品賞

(3) 研究用ロボットアーム「Torobo Arm」

東京ロボティクス株式会社*

1. 背景

近年の生産現場では，人の近くで安全にタスクをこなせる協働ロボットや，位置制御だけではなく力制御を行うことができるロボットが求められている．しかしながら，こうしたロボットの研究開発を行うにあたり，実際に使えるロボットが世の中にほとんど存在しないという問題がある．例えば，剛性が高く堅牢な構造の産業用ロボットは，一般的にコントローラがブラックボックスとなっており，力制御のコーディングを行うことが不可能である．また，研究用として提供されているロボットアームは，剛性が低いことに加えバックラッシュが大きく，実作業を行えるレベルでないものがほとんどである．そこで当社では，産業用ロボットに準じる性能を持ちながらも，コントローラ仕様およびサンプルプログラムを公開することで，低レベルから動作を作成可能な研究用ロボットアーム「Torobo Arm」を開発した．

2. Torobo Arm

Torobo Armシステムの概観を図1に示す．Torobo Armは以下の特徴を有することで，力制御や人間協調ロボットの研究に使いやすい仕様となっている．

図1　Torobo Arm システム

① 全軸トルクセンサ装備

全軸に自社オリジナルのトルクセンサを装備しているため，従来の電流値ベースのトルク検知と比較し，柔らかい外力追従や力制御，より安全な接触検知などが実現できる．

② ソースコードの提供

マスターコントローラ（サーボコントローラ；C言語）およびPC（ホストコントローラ；C# ／ Python）のソースコードが提供されるため，低次の電流・トルク制御から高次の軌道制御まで，ユーザーによる幅広いカスタマイズが可能となっている．

③ 外部システムとの連携

世界中で広く使用されているロボット用ミドルウェアであるROSのパッケージが提供される他，V-REP，ROS・MoveIt!，Matlab・Robotics System Toolboxなどの運動学シミュレータとも接続が可能となっている．

④ 小型かつDC24V駆動

小型のコントローラを用い，かつ24V駆動といった特徴により，研究室内での使用や移動ロボットへの搭載が容易となっている．

その他，Torobo Armの強みとして，部品の加工とモータ等の要素部品以外は全て自社で開発している点が挙げられ，統合システムとしてコンパクトかつ柔軟な改良を可能としている．

3. 販売実績

2016年6月から販売を開始し，8ヶ月間で，大学，公的研究機関，一部上場企業，および研究開発型ベンチャー企業に対し累計15本を販売した．2017年からは海外展開を積極的に行う他，Torobo Armをベースとした双腕型のロボットを開発・販売する予定である．

* 特別員，〒169-0051 東京都新宿区西早稲田2-10-18 パティオ西早稲田1F

(4) 竪型火格子式ストーカ炉

株式会社プランテック*

1. 製品概要

廃棄物は衛生的処理と最終処分の減量・減容化を目的として焼却処理されてきたが，廃棄物は多種多様な性状と形状であるため，廃棄物の種類に応じた型式の焼却炉が適用されていた．これに対し，竪型火格子式ストーカ炉（本製品）（図１）は様々な廃棄物を安定して燃え残りなく完全燃焼できるものである．

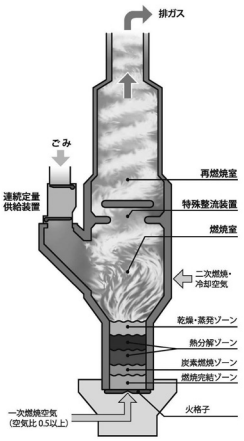


図１　本製品の構造図

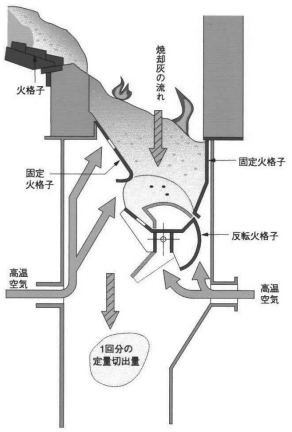


図２　燃焼完結装置

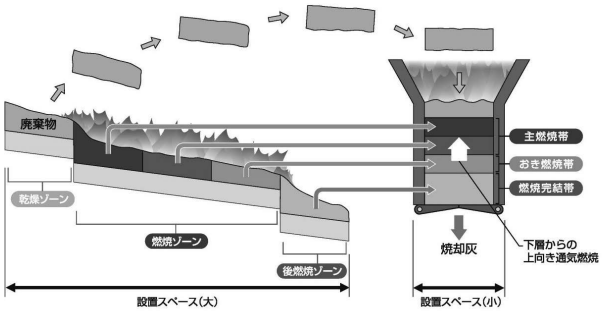
2. 開発の背景

1960年代以降，一般廃棄物の焼却処理に最も多く利用されているストーカ炉は，金属製の火格子上に廃棄物を薄く（100～300mm）広げてストーカ下から空気を供給して燃焼させ，燃焼に伴う高温ガスの輻射熱を利用して燃やす方式である．ストーカ上の廃棄物は，排出口に移動されながら，乾燥・燃焼・後燃焼する．この場合，廃棄物中の燃えやすいプラスチックや紙・布類が投入直後に燃え，その部分が高温となって炉を傷めたり，難燃物だけが燃え残り，最終的に未燃物が排出されるという課題があった．

その対策として，まず，廃棄物を400～1,000mm程度の厚さで火格子上に積み，廃棄物層の下部で燃焼した高温ガスにより，上層のごみを乾燥・燃焼させるとともに，ストーカ炉の終端に焼却灰を垂直に積み上げ，高温空気により焼却灰中の未燃物をおき燃焼させる燃焼完結装置（図２）を開発し，燃焼速度の遅い廃棄物の燃焼時間を確保したことで，従来に比べて熱灼減量（燃え残り）を大幅に低減することができた．この燃焼完結装置の開発が良好な結果を得たため，従来のストーカ炉における乾燥・燃焼・後燃焼の各ゾーンを垂直方向に一体として燃焼させる本製品が完成した（図３）．

3. 燃焼機構

竪型火格子式ストーカ炉では，炉底部から理論燃焼空気量の1/2以下の一次燃焼空気を供給して炉底の火格子上に堆積させた廃棄物を熱分解させた後，廃棄物層上方の空間に二次燃焼空気を供給し，熱分解ガスを完全燃焼させる．本製品では，熱分解ガスと二次燃焼空気の混合・攪拌を十分に行い，燃焼制御が容易となる．また，焼却炉内の燃焼室と再燃焼室の間に特殊整流装置を設け，熱分解ガスと二次燃焼空気の混合・攪拌性を向上し，完全燃焼させるため，ダイオキシン類の発生抑制にも効果的であった．



【従来製品】　　【本製品】

図３　従来製品と本製品の比較図

4. 本製品の特長

本製品は，一般廃棄物，産業廃棄物，医療廃棄物，汚泥等の廃棄物や，バイオマス等の固形燃料まで，多種多様な性状と形状の燃焼対象物を安定して完全燃焼できる．特に従来のストーカ炉で課題であった局所的な高温部や低温部がなく，クリンカの生成を抑え，ダイオキシン類の発生を最小にできる．また，構造面では，円筒形状でシンプル，かつ，省スペース性に優れており，火格子が高温に曝されることがなく耐久性も高い．

5. 販売実績

1994年に第１号機（京都大学医学部附属病院）を納入以降，一般廃棄物，産業廃棄物，災害廃棄物向けに実績を重ね，現在29施設・38炉の実績を有している．

6. まとめ

竪型火格子式ストーカ炉は，当社の152プラントに上る焼却炉の経験と研究開発により完成させたもので，多種多様な廃棄物と半世紀に亘る廃棄物の変化に対応してきた技術によるものである．この技術を広く広めるとともに，更なる技術開発にも取り組み循環型社会の発展に貢献していきたい．

* 特別員，〒550-0003 大阪市西区京町堀1-6-17