技術功績

(1) サービスロボティクスとその応用による社会貢献

淺間　一*
(1959年生)

受賞者は，サービスロボットに要求される，高い適応性，柔軟性，頑健性，耐故障性などを実現するために，自律分散型ロボットシステム，環境知能化，移動知など，様々な新規で独創的なサービスロボットシステムの概念を提唱し，サービスロボティクスに関する技術開発を幅広く行うとともに，その実用化や社会実装に取り組み，学術界のみならず社会に多大なる貢献を果たした．

ホロノミック型全方向移動ロボット，知的データキャリアなど，環境知能化も含めた，自律分散型サービスロボットシステムにおける協調機能実現のための要素技術開発やシステム化技術開発を行うとともに，その実用化・製品化を推進した．また，サービスロボティクスの基礎研究として，移動知や身体性システムなど，人や生物の適応的な運動や行動を生成するメカニズムを理解する研究を推進し，新たな介護やリハビリの支援技術開発に取り組むとともに，運動主体感・身体保有感などの脳機能に関する研究にも取り組んだ。さらに，その成果に基づく災害対応ロボットの遠隔操作のためのヒューマンインタフェースの設計，生理状態計測に基づくヒトのストレス推定などの技術開発を行い，システムを使用するヒトの心理的状態のモニタリングを可能にするなど，学際的な独創的基礎的研究を推進し，多様なサービスシステムへの応用において顕著な業績を達成した．

自律分散型ロボットシステム技術は，自動倉庫や様々なサービスシステムなどで広く利用されているだけでなく，淺間氏が開発した全方向移動ロボットや遠隔操作システムなどの技術は，車いすやサービスロボットの移動ロプラットフォームに，また災害対応用や廃炉用遠隔操作ロボットなどに活用されている．

受賞者は，上記のロボット技術を応用し，原子力用ロボットシステム，レスキューロボット，災害対応ロボット，起立支援システム，技能教育システムなど，数多くのプロジェクトやサービスシステムの構築に携わった．特に，2011年に発生した東日本大震災，東京電力福島第一原子力発電所（１F）事故後は，１Fの事故対応や廃炉でのロボティクス／遠隔操作技術の開発や利活用において，様々な技術的アドバイザーを務めている．また，産業競争力懇談会において，災害対応ロボットとその社会実装に関するプロジェクトや推進連絡会のリーダーを務め，多大な社会貢献を果たしている．

* フェロー，東京大学大学院工学系研究科精密工学専攻（〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1）

技術功績

(2) 高精度高速マイクロハンドの開発とバイオ分野への応用

新井 健生*
(1952年生)

概ね１μmから数百μmの微小対象物を高精度で高速にマニピュレーションできるマイクロハンドの開発を行い，細胞のハンドリングや特性計測などのバイオ応用を実現した．マイクロ領域では表面力が慣性力に勝り支配的となるため，マクロな世界で確立されたマニピュレーション技術をそのまま適用することはできない．この表面力を的確に理解することにより微小対象物の正確で安定した操作が可能になる．本技術では，微小対象物を操作する２本指マイクロハンド，顕微鏡と高速カメラ，微小力センサ，制御情報処理を統合して，高精度で高速なマイクロマニピュレーションを実現している．本技術は次のような特徴を有している．① マイクロハンドは，３自由度の動きを持つガラス針を指とする２本指で構成される．表面力の支配的効果により，２本指のみで微小対象物の把持，移動，回転，加圧，穿孔などの様々な微細作業が実現できる．②人の箸操作スキルをモデル化し，パラレルメカニズムを２段重ね構造とすることにより，２本指の協調制御を簡易化するとともに，動作領域を拡大している．③力センサを利用した２本指動作指令装置，オムニデバイスなどを適用して，操作者がハンドを直感的に操作できる．④ 高速対物レンズ駆動と顕微鏡画像高速データ処理により，顕微鏡視野内の3次元位置情報が実時間で取得でき，微小対象物の追従，把持，搬送を自動で高速に行える．50μmガラス粒子のピックアンドプレースは0.5秒以内を達成している．⑤指先端に独自開発した半導体歪ゲージを搭載し，サブnNの分解能で把持力が計測できる．⑥微小対象物の付着に対処するため，指先端の表面加工，指の振動とそれに伴う液流を利用した対象物解放動作により，安定で高精度な位置決め動作が実現できる．

この技術を次のような細胞操作等に応用した．(1) ブタ卵細胞を一つのハンドで把持固定し，別のハンドで穿孔し，卵細胞内の核を抜き出すクローニング除核作業を実現した．(2) 単一浮遊細胞を把持，加圧してその変形量と反力を自動測定し，細胞の硬さ計測を実現した．インフルエンザウィルスに感染したヒト喉表皮細胞や分化時のラット歯原性上皮細胞の硬さ経時計測，ヒドラ発生時の周期的形態変化と内部発生力との相関解明，粘弾性同定等により，新たな生物学的発見を行った．

* フェロー，北京理工大学 先端知能ロボット研究センター（No.5, Zhongguancun South Street, Haidian, Beijing）

技術功績

(3) 超高密度情報ストレージのナノトライボロジーとナノメカトロニクスに関する先駆的研究とその実用化への貢献

多川 則男*
(1950年生)

コンピュータシステムにおいて大量の情報を記憶する装置である磁気ディスク装置の高密度大容量化は大きく進展し，それに対応してこの40年間で動圧型気体軸受の原理で磁気ディスク上を浮上するスライダの浮上量は500nmから1nmまで微小化された．受賞者はこれまで30年以上，この浮上量微小化に関するナノトライボロジーとナノメカトロニクスに関する先駆的研究を行ってきた．従来技術の限界をブレークスルーする革新技術に対して挑戦的な研究を行い，ナノメータ領域の浮上量実用化に大きく貢献してきた．その主な概要は以下の通りである．

負圧を利用するスライダの設計基準およびその製造方法の開発を行い，その技術基盤を確立するとともに，負圧スライダを利用した独創的な非接触起動停止方式を提案し，その技術を理論的，実験的に世界で初めて実機レベルで開発した．このコンセプトに基づく方式は現在全ての装置で採用されている．

またマイクロマシン技術を応用したマザーシップ型パッシブおよび独自な圧電薄膜アクチュエータを利用したアクティブ，両スライダ方式の開発を行った．この技術は10 nm以下の浮上量実現の壁をブレークスルーする基礎技術であり，現在装置に実用化されている浮上量制御スライダ方式の可能性を先駆的に実証したものとして評価される．

さらに10nm以下浮上の重要課題であったスライダ・ディスク近接相互作用によるスライダ不安定挙動の解明を行うとともに，その知見を基に革新的な潤滑膜の開発実用化を行った．新規分子構造を持つ潤滑剤の分子膜流動特性や分子動力学法による分子存在形態の解析，AFMによる直接可視化など，潤滑膜の総合評価を行いその有効性を検証するとともに商品化した．

次世代熱アシスト磁気記録に対しては，DLC保護膜（膜厚2－3nm）・潤滑膜（膜厚1nm）をレーザ光により極短パルスで400℃程度まで高速局所加熱するという極限状態において発現するナノトライボロジー現象を独自の実験装置を開発して解明した．そして従来にない新知見を世界にさきがけて得ることができ，その実用化推進に貢献した．

* 名誉員，関西大学システム理工学部機械工学科（〒564-8680 吹田市山手町3-3-35）

技術功績

(4) 組付作業用複腕ロボット開発とハイブリッド電気自動車用小型高出力モータとリチウムイオン電池の生産技術開発

永松 茂隆*
(1961年生)

生産技術開発の目指すことは，製品機能の付加価値向上と付加価値を生まないムダの徹底排除にあり，betterの精神で永続的に続けることにある．

受賞者は，一貫して自動車ユニットの生産技術開発に取り組み，3つの分野において独自のコンセプトやアイデアを織込み技術革新し実用化に貢献した．特に近年はハイブリッド電気自動車（以後HEVと略）のモータとリチウムイオン電池（以後LIBと略）の生産技術革新に努め，モータやLIBの小型高出力化を達成し，HEVの燃費性能の向上に寄与，HEVの普及に大きく貢献した．また，先輩技術者から受けた技術の襷を後輩技術者や学生につなぐ“人づくり”に注力し，大学講師等を通じ積極的に機械業界を目指す技術者の育成に取り組んできた．

① 組付作業用複腕ロボット開発

両手作業を可能とする組付作業用複腕ロボットという新たな生産技術を提案・開発し'91年に実用化した．難組付作業の効率的な自動化とコンパクトな生産ラインの実現のため，1軸並進＋5軸回転型双腕多関節ロボット機構と複腕ロボット特有の干渉回避等操作機能を考案した．近年，ロボットメーカーや大学・研究機関の組付作業用複腕ロボットの開発・研究事例が多く公表されているが，本開発はその先駆的な開発で，複腕ロボットの有効性の実証と開発の方向性を提示したものとなった．

② HEV用小型高出力モータの生産技術開発

平角コイルを成形したセグメントコイルを整列させステータコアへ挿入し成形・溶接するセグメントコイル式分布巻モータの生産技術開発を行った．本開発により，巻くという従来モータの生産方法で必要なコイル線の長さやコイル間の隙を抜本的に削減することが可能となり，モータの小型高出力化に大きく寄与した．2002年当時の材料では高電圧時の信頼性に課題があったが，その後の材料の性能向上により2015年に当時の部下によって実用化した．

③ HEV用小型高出力LIBの生産技術開発

「素のいい電極・構造」と「コンパクト電池工場」のコンセプトを掲げ，材料ポテンシャルを使い切る適材適所適量な電池を追求し，材料・構造・プロセスを一から見直した．その実現に向け，反応点や加工点の視える化とメカニズム解明を大学や研究機関と進めた．反応面積拡大と均一化によりLIBの大幅な性能向上・低コスト化を達成し，2015年に実用化した．

* 正員，トヨタ自動車㈱　電池生技開発部（〒410-1193 裾野市御宿1200番地）

論　文

(1) 小規模降伏条件下応力分布スケーリング法の提案と破壊靭性値の温度依存性予測への適用

石原 健一*1（1981年生）　濵田　猛*1（1961年生）　飯井 俊行*2（1958年生）

破壊靭性値K_{Jc}の温度依存性については，“温度低下による脆化”のように物性要因として理解されてきたこともあってか，そのばらつきについてはワイブル分布に従うとし，中央値については指数関数型経験式で表現できるとするような経験的手法の検証と修正が最近では主流となっているように思われる．しかし，この経験式では，K_{Jc}の下限値を含めたばらつきを適切に行えない，遷移温度における高温側での評価が適切でない，などの事例が報告されている．本研究では，「すべり起因へき開破壊の場合には破壊時の応力は温度によらない」との知見に着目し，まずは小規模降伏条件下のき裂先端応力分布をスケーリングする新たな応力分布スケーリング手法（Tスケーリング法）を提案した．その後このTスケーリング法を活用し，任意の基準温度で得られた破壊靭性試験結果と材料の応力－ひずみ関係の温度依存性を考慮した弾塑性有限要素解析を行うことにより，K_{Jc}の温度依存性を予測する手法を提案し，JIS S55C鋼を対象に実験により提案手法の妥当性を検証した．提案手法は，実験結果の破壊荷重及び破壊靭性値を十分な精度で予測でき，従来問題となっていた高温域での評価についても解決する可能性が示唆された．

＊ 掲載：日本機械学会論文集，83-847，(2017-3)，16-00499.
*1 正員，㈱コベルコ科研（〒651-2271 神戸市西区高塚台1-5-5）
*2 正員，福井大学学術研究院工学系部門（〒910-8507 福井市文京3-9-1）

論　文

(2) 樹脂材料向け高速曲げ疲労試験法（ガラス繊維強化樹脂への適用の試み）

植木 洋輔*1（1982年生）

樹脂材料や繊維強化樹脂材料の工業製品への適用は益々拡大している．同時に，評価対象となる材料自身の多様化も進んでおり，材料選定の選択肢も増加している．一方で，樹脂材料はそのわずかな組成の違いや添加剤の有無，硬化条件などによって材料特性が大きく異なることが知られている．そのため，製品開発に当たっては個々の材料特性を十分に把握した上での信頼性設計が必須となる．静的強度であれば比較的短期間で評価できるが，動的な繰り返し荷重条件下で使用される製品を想定した場合には疲労強度評価が必要となり，試験に非常に長期間を有することが製品開発上のボトルネックとなることが多い．実際に風力発電機用ブレードをはじめ，10^7回を超えるような繰り返し荷重を想定した設計が求められる製品も増えており，通常の数Hzから数十Hzでの疲労試験では，１回の試験に１ヶ月以上を要することもある．

そこで著者は，樹脂材料の迅速な疲労強度評価を目的として，共振を利用して試験片に200Hz以上の高周波で繰り返し曲げ変形を与える試験手法を提案した．電磁式加振機を用いて，片持ちはり状の試験片をその固有振動数で加振して共振状態とし，比較的少ない加振力で試験片に大変形を与えられるようにした．また，試験中に疲労損傷によって生じる試験片の固有振動数変化を自動追随する制御方式を採用し，共振状態を維持しつつ固有振動数変化から疲労損傷過程をモニタリング可能とした．さらに，繰り返し変形に伴う試験片の発熱量解析に基づき，適切な外部冷却温度を設定することで，試験片を常温に保ったまま高周波での試験を可能とした．

本手法を汎用的な繊維強化樹脂材料であるエポキシガラスクロス積層板に適用して約230Hzで疲労試験を実施し，得られた疲労寿命の妥当性を通常速度（１Hz）の試験と比較したところ，同一の疲労強度線図上にプロットされる結果が得られた．以上より，本手法は樹脂材料の疲労強度を短期間で取得するために適した特性を有していることを示した．

＊ 掲載：日本機械学会論文集，81-821，(2015-1)，14-00225.
*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）

論　文

(3) CrMoV鍛鋼環状切欠き試験片のボイド成長シミュレーションに基づくクリープ損傷評価

緒方 隆志*1 (1959年生)　池田 直人*2 (1992年生)

種々の高温機器に使用されている耐熱金属材料の多軸応力条件下でのクリープ損傷過程の解明とその定量的な予測手法の開発は，高温機器の損傷・寿命評価精度向上の観点から極めて重要な課題とされている．本研究は，蒸気タービンロータ材として広く使用されている代表的な耐熱金属であるCrMoV鍛鋼を対象に，クリープ破断寿命およびクリープ損傷の進行に及ぼす多軸応力の影響を実験的に明らかにするとともに，有限要素解析を援用することにより著者らが提案したボイド成長シミュレーション法を適用して，多軸応力クリープ条件下で進行するボイド発生・成長挙動を定量的に予測することを主な目的としている．

CrMoV鍛鋼平滑試験片および弾性応力集中係数の異なる２種の環状切欠き試験片（切欠き半径0.5mmと2.0mm）を用いてクリープ破断試験ならびに中断試験を実施した．クリープ破断試験結果からは，環状切欠き試験片の破断寿命が平滑試験片より長い切欠き強化となること，試験片の３次元弾塑性クリープ解析結果より，切欠き底で３軸引張応力状態となり軸方向変形の進行が抑制されることがその要因であることを示した．中断試験で得られたクリープ損傷材の走査型電子顕微鏡観察から，ボイド個数密度の損傷に伴う変化を計測した．その結果，多軸応力下では単軸応力下に比べボイド個数密度が10倍以上となること，切欠き半径0.5mmでは切欠き底近傍で個数密度の極大値を示すが，半径2.0mmでは切欠き底から試験片中心部にかけて増大しており，切欠き半径の相違によりボイド個数密度の分布が異なることが明らかとなった．単軸応力クリープ条件下で有効性が確認されているボイド成長シミュレーション法によって，切欠き底断面におけるボイドの発生・成長を予測した結果，損傷に伴う“ボイド最大長さ”や“ボイド個数密度”の変化を定量的に予測することができた．このように多軸応力下に対しても適用できることが確認された同法を活用して，最大主応力や多軸係数（応力多軸性の度合い）をパラメータとして種々の条件を組み合わせたシミュレーションを実施し，任意の多軸応力条件下でのボイド個数密度の時間に伴う変化を予測する簡便予測式を導出した．同式によって，上記２種の環状切欠き試験片の切欠き底断面におけるボイド個数密度分布の損傷に伴う変化が良好に予測された．本研究の成果が，多軸応力下におかれる高温機器のクリープ損傷評価精度の向上に寄与できれば幸いである．

* 掲載：日本機械学会論文集，82-844，(2016-12)，16-00259.
*1 正員，千葉工業大学工学部（〒275-0016 習志野市津田沼2-17-1）
*2 正員，千葉工業大学大学院　(現)㈱神戸工業試験場（〒675-0155 加古郡播磨町新島47-13）

論　文

(4) Primary soot particle distributions in a combustion field of 4 kW pulverized coal jet burner measured by time resolved laser induced incandescence (TiRe-LII)

橋本　望*1 (1976年生)　林　潤*2 (1979年生)　中塚 記章*3 (1983年生)

泰中 一樹*4 (1988年生)　梅本　賢*5 (1983年生)　辻　博文*4 (1967年生)

赤松 史光*6 (1966年生)　渡邊 裕章*7 (1972年生)　牧野 尚夫*5 (1954年生)

世界の発電量の約40%は石炭をエネルギー源としており，その多くが微粉炭燃焼の形態により発電されている．実用的な大型の発電用微粉炭ボイラでは，出口においてフライアッシュ中に未燃炭素が残っているものの，すす粒子はほとんど計測されない．そのため，ボイラ内部を可視化するための微粉炭燃焼数値解析では，これまですす粒子の生成が考慮されてこなかった．しかし，ガス燃料，液体燃料，固体燃料を含む全ての燃料を視野に入れてすす粒子の生成のしやすさを考えた場合，分子量が大きい，C/H比が大きい，分子中に二重結合や芳香環構造を多く含む，などの特性を持つ燃料ほどすす粒子が生成しやすい．その観点から考えると，石炭は燃料の中でも特にすすが生成しやすいと考えるべきである．前述したように，大型の微粉炭ボイラの出口ではすす粒子はほとんど計測されないが，これは，炉内の滞留時間が十分に長いため，燃焼場で一度生成されたすす粒子は，出口までにほぼ全てが酸化されるからである．しかし，バーナゾーンでは大量のすす粒子が生成しているはずであり，微粉炭燃焼場におけるすす粒子生成を考慮することは，石炭揮発分の燃焼過程の詳細なモデリングおよびふく射による熱輸送量予測の高精度化に大きな影響を与える．この考えに基づき，筆者らの共同研究グループでは，微粉炭燃焼場のすす粒子生成過程を明らかにするため，レーザ誘起赤熱法（LII）を用いたすす粒子体積分率分布の計測技術を微粉炭燃焼場に適用し，研究を行ってきた．最初の報告（Hayashi et al., Proc. Combust. Inst. 34 (2013) 2435-2443）では，LIIを石炭燃焼場に適用する際には，石炭粒子が赤熱しないよう，レーザのエネルギー密度を適切に調整する必要があることを明らかにするとともに，小型微粉炭バーナ燃焼場におけるすす粒子体積分率分布特性を明らかにした．関連研究の二報目に当たる本論文では，LIIを発展させた時間分解レーザ誘起赤熱法（TiRe-LII）と熱泳動原理によるすすサンプリング手法を組み合わせることにより，すす粒子径分布の空間分布計測に世界で初めて成功した結果を報告している．これにより，すす一次粒子が微粉炭燃焼場において成長していく過程を明らかにできた．本論文の実験データは，微粉炭燃焼数値解析用のすす粒子生成モデル開発にも活用されることが期待される．

* 掲　載：Journal of Thermal Science and Technology, 11-3, (2016-12), JTST0049.
*1 正員，電力中央研究所　(現) 北海道大学（〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目）
*2 正員，大阪大学　(現) 京都大学（〒060-8501 京都市左京区吉田本町）
*3 正員，大阪大学（〒565-0871 吹田市山田丘2-1）
*4 正員，電力中央研究所（〒240-0196 横須賀市長坂2-6-1）
*5 電力中央研究所（〒240-0196 横須賀市長坂2-6-1）
*6 フェロー，大阪大学（〒565-0871 吹田市山田丘2-1）
*7 正員，電力中央研究所　(現) 九州大学（〒819-0395 福岡市西区元岡744）

論　文

(5) Set-off length reduction by backward flow of hot burned gas surrounding high-pressure diesel spray flame from multi-hole nozzle

冬頭 孝之*1（1971年生）　服部 義昭*2（1971年生）　山下 勇人*3（1976年生）

戸田 直樹*3（1981年生）　増田　誠*4（1966年生）

近年，世界各国でディーゼルエンジンの排気規制や燃費規制が一段と強化されている．パティキュレートフィルタや尿素SCR触媒などの排気後処理装置への過度の依存はコスト上昇を伴うため，エンジン内部でsoot（煤）・NOxを低減することが求められている．ディーゼルエンジンではピストンが上昇してシリンダ内空気を圧縮した後に燃料が高圧で噴射され，着火した後に噴霧が火炎に包まれる．高負荷運転時のように噴射期間が長い場合，高速で噴射されるディーゼル噴霧火炎のノズル近傍には10 ～ 20㎜程度の火炎が進入しない領域が形成される．この火炎が進入しない領域の長さであるset-off長はsoot生成の重要な因子である．例えばset-off長が長い場合は燃焼する前に燃料と空気の混合が進むためsoot生成量が低下する．しかし，噴流速度と火炎伝播速度の釣り合いでlift-off長が決まる定常予混合火炎とは異なり，ディーゼル噴霧火炎では噴霧形成，自着火などの複雑な現象が混在するため，このset-off長が決まる機構は未解明であった．また，欧米の研究機関ではディーゼルエンジン燃焼室と同等の高い圧力・温度を再現できる大容量の定容容器内で単噴孔ノズルから噴射される噴霧火炎を観察することでset-off長に関する研究が数多く行われてきたが，実機エンジンの多孔ノズルからの噴霧火炎に形成されるset-off長とは乖離が生じることが課題であった．

本研究で筆者らは，噴霧根元での空気導入が制約される実機エンジン・多孔ノズルからのディーゼル噴霧火炎ではset-off長の主たる支配要因が高温既燃ガスのノズル方向への逆流であるとの仮説を立て，理論計算と実験で検証した．従来の噴霧運動量理論を拡張して噴霧周囲ガスのノズル方向への逆流速度を簡便に計算できる運動量理論式を新たに構築し，実機・多孔ノズル噴霧の周囲には，大容量容器内の単一噴霧の場合にほとんど生じない強い逆流が誘起されることを理論的に示した．また，非燃焼場において噴射開始直後から噴霧周囲に生じる逆流速度の定量的なPTV計測と可視化エンジンを用いた噴霧火炎の観察を行うことにより，噴霧火炎周囲の既燃ガスが逆流によってノズル方向へ運ばれ噴霧に再導入されることでset-off長が短縮することを明らかにした．

* 掲載：International Journal of Engine Research, 18-3, (2017-3)，173ページ．
*1 正員，㈱豊田中央研究所（〒480-1192 長久手市横道41-1）
*2 ㈱豊田中央研究所（〒480-1192 長久手市横道41-1）
*3 正員，㈱SOKEN（〒470-0111 日進市米野木町南山500-20）
*4 ㈱デンソー（〒448-8661 刈谷市昭和町1-1）

論　文

(6) 上昇気泡からの高シュミット数条件下における物質輸送の数値解析手法の開発

足立 理人*1（1991年生）　大森 健史*2（1979年生）　梶島 岳夫*3（1958年生）

液中の上昇気泡から気体成分を溶解させる操作は，多くの工業的分野において用いられ，例えば，水質浄化装置，反応装置や二酸化炭素の海洋隔離装置などの性能を決定づける．これらの装置において高い気体溶解効率を達成するためには，多数の気泡の相互干渉によって生じる複雑な流れおよび物質輸送に対する深い理解が必要となる．数値計算による解析は領域全体で流れ場および濃度場の詳細な情報の取得を可能とし，種々の因子の効果を個別に調査可能であるため，そのような理解を助ける手段として大変有効であるといえる．多くの工業プロセスにおいて用いられる酸素や二酸化炭素といった難溶性気体では，気体の液相側における拡散係数と液体の動粘性係数の比であるシュミット数が大きく，液相側界面近傍に形成される濃度境界層は速度境界層と比較して薄くなる．数値解析においては，気体成分の移流に加えて溶解および薄い濃度境界層内での拡散過程を正しく再現することが要請され，従来の計算手法では計算コストが膨大となることが問題であった．

本論文では，高シュミット数条件下における濃度境界層の相似性に着目し，液相側界面近傍の気相成分の物質量を保存するように濃度境界層を相補誤差関数で「再構成」することにより，濃度境界層厚さが計算セル幅に満たないような場合においても気体成分の溶解・拡散量を精度良く計算できる合理的な手法を提案した．ここでいう「再構成」とは，各計算セルの代表点のみで離散的に定義される濃度からサブグリッドの濃度分布を構成することを指す．本計算手法においては，物質量や運動量の保存性が考慮されている点と単調な相補誤差関数を用いたことにより計算の安定性が損なわれていない点も重要である．

本計算手法を用いれば流れ場の解析に必要な時空間解像度を維持したままで高シュミット数条件下における物質輸送の数値解析を行うことができる．本論文中の計算例ではシュミット数100，終端速度に基づくレイノルズ数29の条件下における上昇気泡の計算において，二次元計算でありながら，従来の単純な差分法ベースの計算手法に対して計算コストが$O(10^{-3})$で低減されることを示している．本研究は，気泡集団によるマルチスケール性が顕在化するような大規模系での物質輸送の予測を可能にするものである．なお，本計算手法は任意のVOF（Volume-of-Fluid）法と組み合わせて使用することが可能であり，拡張性が高い点も利点といえる．

* 掲載：日本機械学会論文集，82-839，(2016-7)，16-00079.
*1 正員，大阪大学大学院　（現）三菱電機㈱
*2 正員，大阪大学工学研究科機械工学専攻（〒565-0871 吹田市山田丘2-1）
*3 フェロー，大阪大学工学研究科機械工学専攻（〒565-0871 吹田市山田丘2-1）

論　文

(7) 乱流境界層の平均量特性に及ぼす粗さの影響

亀田 孝嗣 *1 望月 信介 *2 大坂 英雄 *3
（1970年生） （1962年生） （1945年生）

粗面上の流れは，はく離抑制，伝熱促進，物質混合など工学上重要である．一方で，壁面上の粗さは流動抵抗の増加を引き起こし，流れを駆動させるポンプや送風機，あるいは移動物体の動力を増加させることになる．一般的に，粗面上の乱流境界層の流動抵抗の見積もりに使用される抵抗則の導出には，局所相似性から導かれる平均速度分布（対数則）に頼ることになる．しかし，対数則が成立するための高さ方向原点や外層の平均速度分布形状は壁面の粗さ状態（形状や配置等）に依存して変化するため，粗さ状態に依存した粗さ近傍の流れ（粗さ底層）構造がこれらに対してどのように影響を及ぼすか知る必要がある．

本研究では，境界層に対して粗さの影響のみを議論するために圧力勾配のない外部条件でかつレイノルズ数の影響を排除できる平衡境界層を実現した．そのために，粗さ要素高さが流れ方向距離に対する変化率1.25mm/1000mmで増加する粗面を製作した．粗さ底層において詳細に平均速度や変動速度の２次モーメント量に関する速度データを取得するために，熱線流速計による算出手法を１次元レーザー流速計に適用した．流動抵抗である壁面せん断力は浮動片要素を用いた直接測定法により測定された値を使用した．また，粗面における流動抵抗の増加は圧力抵抗に起因するため，粗さ要素側面に設けた圧力孔から取得した圧力から圧力抵抗を算出した．本研究では，高さ方向原点位置を粗さ要素表面上に分布する抗力の平均値が作用する抗力中心位置とした．

粗さ底層内の流れは，粗さ要素間溝部の幅で空間平均された運動量方程式中の速度の空間平均量に基づき議論された．抗力中心位置は空間平均運動量流束の溝部内での積分値として評価され，主としてレイノルズ応力がその位置に寄与した．溝部内の流動の駆動力に基づく速度と溝部幅の長さを代表尺度とすることで，粗さ底層内の空間平均量分布の相似性が期待された．相似性と混合距離モデルによる空間平均運動量方程式の解析により，抗力中心位置と粗さ底層の流れ構造との関係性を与えた．さらに，粗さ底層内の結果をColesの後流法則に適用することで，粗さ底層と外層との関係を議論し，境界層の外層における構造が摩擦パラメータと相対粗度に依存することを明らかにした．本研究の成果は，粗さによる流動抵抗や乱流混合の増加の推定や，その制御法に関する基礎データの提供に貢献できる．

＊ 掲載：日本機械学会論文集，82-841，(2016-9)，16-00306.
*1 正員，近畿大学工学部（〒739-2116 東広島市高屋うめの辺１番）
*2 フェロー，山口大学大学院 創成科学研究科（〒755-8611 宇部市常盤台2-16-1）
*3 永年会員，山口大学名誉教授（〒755-8611 宇部市常盤台2-16-1）

論　文

(8) Analysis for fluid-elastic instability of tube arrays in cross-flow

内海 雅彦 *1
（1958年生）

流れ場中の管群に不安定振動が発生する臨界流速の予測は，熱交換器の安全性確保のため非常に重要な課題であり，従来，CFD解析，１本の管の運動が隣接管に及ぼす流体力の測定結果から管群モデルを作成する半実験的方法，流体が管になす仕事を近似評価し，この仕事が管の散逸エネルギを超える不安定条件を導くコナーズの経験式が用いられてきた．しかし，流体に関する支配方程式系を流れ場全体の基底関数展開のような解析的手法で解く研究は，非線形項や流体領域形状の複雑さに起因して行われていなかった．このような解析的手法が適用できれば，臨界流速計算の効率化だけでなく，コナーズ経験式等では得られない固有値問題と不安定固有モードに基づいた演繹的，物理的洞察が，臨界流速の振動方向依存性，管軸方向流速分布依存性について可能になる．本論文は，このような解析法の基盤を構築したものである．

まず，系を１本の管を含む多角形セルの集合と考えて，セル辺上での解の基底展開表示を導き，次に，この表示に基づきセル内の任意位置での解を，各セルの中心を原点とする極座標を用いて基底展開表示する．この極座標表示は，セル外周の動径座標が周方向に変動することを許容する形に導いている．このような二段階の過程を踏む基底展開法によって低次元モデルを作成し，正方配列管群と回転三角配列管群に適用して，臨界流速の算定結果が過去の実験データと符合することを確かめた．

次に，回転三角配列管群について，揚力方向の管の固有振動数を上げることによる安定化，すなわち，臨界流速増大効果について調べた．その結果，臨界流速はある一定値まで増加した後一定になり，安定化に限界が生ずることが分った．このような臨界流速挙動につき物理的洞察を得るため，不安定固有モードを調べた結果，管の振動方向が，臨界流速の増大時には揚力方向であるが，一定値に到達後は流れ方向に遷移し，この遷移が上記の安定化対策に限界を生じさせることが判明した．一方，流れ方向の管の固有振動数が低下する際には，管の振動方向が流れ方向に遷移した時に臨界流速の低下が始まることが確かめられた．本解析で導いた固有値問題は，このような臨界流速の振動方向依存性に関する考察に加え，臨界流速の低下をもたらす管軸方向流速分布の条件式導出に応用できる．

＊ 掲載：Mechanical Engineering Journal，2-2，(2015-4)，14-00377.
*1 正員，㈱ IHI技術開発本部 基盤技術研究所（〒235-8501 横浜市磯子区新中原町1）

論　文

(9) 魚眼ステレオカメラを用いた全天周時系列画像からのオーロラ3次元計測

竹内　彰*1（1991年生）　藤井 浩光*2（1982年生）　山下　淳*3（1973年生）　田中 正行*4（1975年生）

片岡 龍峰*5（1976年生）　三好 由純*6（1973年生）　奥富 正敏*7（1957年生）　淺間　一*8（1959年生）

極地などで観測されるオーロラの３次元計測は，理学分野だけではなく工学的にも重要な課題である．例えば，オーロラが活発に形状変化するような場合には，地磁気の状態が大きく変動しGPSや通信衛星に障害を及ぼす場合がある．それら天文現象の動向を知る上で，オーロラの形状を正確に計測し，形状変化の様子を知ることは重要な課題である．

本研究では，不規則に発生するオーロラを恒常的に計測する目的で，魚眼ステレオカメラによる３次元計測手法および計測システムを提案した．提案したオーロラの計測システムは，２台の魚眼カメラを用いた約８kmもの基線長を持つ巨大なステレオ系であり，全天にわたる広範囲を３次元計測することが可能である．

特に本論文では，オーロラの３次元計測の一貫した方法論を提案している．長距離を隔てたカメラ間の位置姿勢関係を精度良く求めるため，星を用いたカメラ校正法を提案した．カメラ校正のために，GPSと星の地図を照合し得られる複数の星の位置情報と，実際の画像上での星の座標を用いることでカメラ同士の位置姿勢の関係を正確に求めることが可能である．

また，ステレオ計測に必要な密な対応点群を，特徴の少ないオーロラ画像から正確に検出するための手法を提案した．対応点検出において，背景差分によるオーロラ検出を行い，空間方向のマッチングと時間方向の追跡を組み合わせたフィルタリングを行うことで，強く輝く星などの影響に頑健で，正確かつ密な対応点検出が可能である．特に，オーロラのテクスチャパターンを利用した領域相関によるテンプレートマッチング結果に対して，変形に頑健な局所特徴量を用いた時間方向の追跡を行うことで，時空間における整合性を評価し，対応点検出の高精度化を実現した手法は，本研究独自のものである．

実験では，提案したシステムを米国アラスカ州フェアバンクスに設置し，実際のオーロラ画像を用いて検証を行うことで，精度良くオーロラの３次元形状を復元・可視化することを確認した．

* 掲載：日本機械学会論文集，82-834，(2016-2)，15-00428.

*1 正員，東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻 （現）日本放送協会（〒420-8721 静岡市葵区西草深町1-21）
*2 正員，東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻 （現）千葉工業大学 先進工学部 未来ロボティクス学科（〒275-0016 習志野市津田沼2-17-1）
*3 正員，東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻（〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1）
*4 東京工業大学工学院システム制御系（〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1）／産業技術総合研究所 人工知能研究センター（〒135-0064 東京都江東区青海2-4-7）
*5 国立極地研究所（〒190-8518 立川市緑町10-3）
*6 正員，名古屋大学 宇宙地球環境研究所（〒464-8601 名古屋市千種区不老町）
*7 東京工業大学工学院 システム制御系（〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1）
*8 フェロー，東京大学大学院 工学系研究科 精密工学専攻（〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1）

論　文

(10) 運転条件下の振動計測による はすば歯車のかみ合い伝達誤差の推定

南雲 稔也*1（1985年生）　松村 茂樹*2（1967年生）　北條 春夫*3（1951年生）

動力伝達用の歯車装置において振動・騒音の低減はますます重要な課題になっている．歯車装置の振動・騒音の主な発生原因は，歯のかみ合いに起因して生じる歯車間の回転角の誤差（かみ合い伝達誤差）である．そのため歯車の低振動設計では，かみ合い伝達誤差を減らすべく，歯にはμm単位で最適な歯面形状が与えられる．その際，実際の装置がもつ組立て時の誤差やガタ，外部荷重による変形などの要因が歯のかみ合いに及ぼす複合的な影響を反映させる必要がある．しかし負荷運転時の実機に対してそれらを正確に見積もるのは困難であり，よって歯車の低振動設計による振動・騒音のさらなる低減には限界がある．

これに対し実機で負荷運転時のかみ合い伝達誤差を取得できれば，かみ合う歯に種々の影響を与えた条件でのかみ合い伝達誤差を計算で求めた上で，それらの比較により各要因の影響を把握でき低振動設計に役立つと考えた．しかし，実機に対し負荷時のかみ合い伝達誤差を求めるための有効な方法はこれまでなかった．そこで本論文では，負荷運転中の振動計測をもとにかみ合い伝達誤差を推定する手法を提案し，その有効性を実験的に検証した．

歯車装置の振動はかみ合い伝達誤差が強制変位として入力される線形時不変系の振動に近似して扱えるから，出力である振動と系の周波数応答関数（FRF: Frequency Response Function）を用いることで，入力であるかみ合い伝達誤差を推定できる．しかしそれにはゼロから数千Hzにわたって負荷運転状態の実機のFRFを正確に求める必要があり，従来ある実験的方法や数値計算による方法では不十分という課題があった．そこで，回転速度を掃引させて計測した振動と，遺伝的アルゴリズムを用いてパラメータを実機に適合させた数値計算の結果とを合成する方法を新たに考案し，FRFを取得可能とした．実験検証では本推定手法を一段減速のはすば歯車振動試験装置に適用し，得られたかみ合い伝達誤差の推定結果を歯当たり解析による計算結果と比較した結果良好な対応付けが認められ，μm単位の歯面形状の影響を検出できることを確認した．

本推定手法は負荷運転時の実機のかみ合い伝達誤差を評価できるようにするものであって，歯車の低振動設計に展開することで更なる振動・騒音の低減に寄与するものと考えられる．また，分解・組立することなく実機内部の歯車のかみ合いの状態を知ることができるため，歯車装置の振動診断への応用も今後期待できる．

* 掲載：日本機械学会論文集，82-844，(2016-12)，16-00429.

*1 正員，住友重機械工業㈱ 技術研究所（〒237-8555 横須賀市夏島町19）
*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 名誉員・フェロー，東京工業大学（〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1）

論　文

(11) 部分構造FEMモデルを活用した統計的エネルギー解析による鉄道車両の車内騒音解析

吉澤 尚志*1（1980年生）　高野 靖*2（1957年生）　用田 敏彦*3（1974年生）　瀬畑 美智夫*4（1959年生）

鉄道車両のような公共性の高い乗り物において，車内静音化は乗客の快適性向上にとって必要不可欠な要素の一つである．しかし車両の速度向上や軽量化などに伴って，車内騒音は通常増加する傾向にあるため，車両の開発においては設計段階で車内騒音を予測し，車体の強度信頼性確保や軽量化など基本性能と両立しながら，目標とする車内騒音レベルを達成することが必要である．鉄道車両のような大規模構造物の車内騒音解析，及びそれに必要な車体振動解析を高周波数域まで実施しようとする場合，有限要素法（FEM : Finite Element Method）や境界要素法（BEM : Boundary Element Method）では要素数増加に伴い解析時間が膨大になり，解析実行が困難となる．そこで，FEMやBEMに比べて解析モデルの自由度が圧倒的に小さく，高周波問題に適した統計的エネルギー解析（SEA : Statistical Energy Analysis）が使用される．

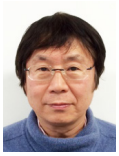
SEAを鉄道車両に適用するにあたっての課題として，実際の複雑構造物ではSEA要素間の結合損失係数（CLF : Coupling Loss Factor）を求める理論式が適用できない場合が多いことが挙げられる．理想的な平板要素などであればCLF の理論式が用意されているが，近年の高速鉄道車両の構体断面は中空押出型材を用いたトラス構造をしており，単純な平板要素でモデル化することができない．このため実際の鉄道車両SEA モデルでは，実験的にCLF を同定するのが一般的であった．本研究では，実物がない設計段階での車内騒音解析を実現するため，部分構造のFEMモデルから算出したCLF を用いて鉄道車両全体のSEA モデルを構築した．その上で，床下に搭載されたエンジンからの加振パワーを入力として，内装材を含む車体全体の振動および車内騒音を解析し，実車両による大規模な検証実験を行った．また，鉄道車両の客室のような細長い空間を複数のSEA要素に分割した場合には，車両長手方向の距離減衰を過大評価してしまうことが知られている．そこで本論文では，室内音響の分野で知られている理論式からSEA要素間のCLFを補正する係数を導出し，本モデルに適用することで，解析による距離減衰量が実測結果と一致することを確認した．これにより実用上十分な車内騒音解析精度を確認した．

* 掲載：日本機械学会論文集，81-825，(2015-5)，15-00009.
*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832-2）
*2 フェロー，㈱日立製作所　研究開発グループ　（現）京都大学 工学研究科（〒615-8540 京都市西京区京都大学桂C1-4-385）
*3 正員，㈱日立製作所　鉄道ビジネスユニット（〒744-8601 下松市大字東豊井794）
*4 ㈱日立製作所　鉄道ビジネスユニット

論　文

(12) レベルセット法に基づく複数材料を対象としたトポロジー最適化

岸本 直樹*1（1992年生）　野口 悠暉*2（1991年生）　佐藤 勇気*2（1992年生）



泉井 一浩*2（1973年生）　山田 崇恭*2（1984年生）　西脇 眞二*3（1962年生）

近年，複数材料を用いた機械製品の構造設計が注目されている．異なる性質を持つ複数材料を用いた構造設計により，機械製品の性能向上が見込まれるだけでなく，従来には無いような複数の機能を持つ製品の実現も期待できる．しかしながら，その設計法は設計者の勘や経験に基づくことが多く，詳細設計段階で手戻りが度々発生する．そのため，設計期間が長期化し，開発コストも増大する問題がある．この課題を解決する一つの方策として，力学的・数学的根拠に基づく統一的な設計法である構造最適化手法，中でも，最適化の過程においてトポロジーの変更を許容するトポロジー最適化の適用が有効である．さらに，その中でも，レベルセット法に基づく方法は，物体境界の明瞭な表現が可能であり，かつ最適構造の幾何学的複雑さの定性的な調節が可能といった利点を持つため，工学的に有用な設計解を得る方法として有効である．この方法では，レベルセット関数と呼ばれるスカラー関数の零等位面により構造の外形形状を陰的に表現し，トポロジー導関数を反応項に持つ反応拡散方程式によりレベルセット関数を繰り返し更新することで，最適化を行う．トポロジー導関数とは，ある材料内に微小な孔，または他の材料が生じた際の目的関数値の変化量を表し，物理現象の支配方程式と目的関数に基づく感度解析により，多くの設計問題において，解析的に導出可能である．しかしながら，従来のレベルセット法に基づくトポロジー最適化法は，主に単一材料を対象としており，複数の材料間でのトポロジー導関数を適切に考慮した研究は未だに報告されていない．そこで本研究では，複数の材料間での材料変化を考慮した複数材料のトポロジー導関数を導出し，レベルセット法による形状表現を用いた新しいトポロジー最適化の方法論を構築した．複数材料の表現方法としては，n個のレベルセット関数を用いて空洞を含む$n+1$種類の材料を表現できる Multi-Material Level Set法を採用し，これらを本研究において導出した複数材料のトポロジー導関数と反応拡散方程式に基づいて繰り返し更新する最適化アルゴリズムを構築した．数値計算例として，片持ち梁の剛性最大化問題を通して，構造の複雑度，及び材料分布の複雑度を定性的に調整できることを示した．また，二材料だけでなく三材料を使用する場合においても，提案手法を容易に拡張でき，妥当な結果が得られることを示した．

* 掲載：日本機械学会論文集，83-849，(2017-5)，17-00069.
*1 正員，京都大学大学院工学研究科　（現）三菱電機㈱（〒661-8661 尼崎市塚口本町8-1-1）
*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C3）
*3 フェロー，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C3）

論　文

(13) Active omni wheel capable of active motion in arbitrary direction and omnidirectional vehicle

小森 雅晴 *1 (1973年生)　松田 吉平 *2 (1985年生)　寺川 達郎 *1 (1991年生)

竹岡 郁 *3 (1981年生)　西原 秀明 *3 (1987年生)　大橋 啓生 *4 (1985年生)

空間内で素早く効率的に移動するため，工場等で利用される運搬装置には任意の方向に移動できる機能が求められている．特に，狭い場所では横方向に移動できる移動装置が望まれているが，通常の移動装置では横方向への移動は困難である．任意方向への移動を可能にする車輪としてオムニホイールと呼ばれる従来型車輪がある．オムニホイールは受動的に回転可能なフリーローラを車輪の外周に持っており，それにより横方向への受動的な移動を可能にする．しかし，フリーローラには回転抵抗が存在するため，正確に移動を制御することは難しい．また，オムニホイールは能動的に移動できる方向が限定されており，単体では全方向には移動できないため，全方向移動を実現するためには２つ以上のオムニホイールが必要であった．この問題を解決するため，本論文はアクティブオムニホイール（全方向駆動車輪）と呼ぶ新しい車輪機構を提案した．アクティブオムニホイールは車輪本体と円周状に配置された外周ローラから構成されており，差動機構によりその両方を外部のモータで能動的に回転させることができる．このため，車輪単体だけで任意の方向に能動的に移動することが可能である．また，車輪本体だけでなく外周ローラもモータで制御できるため，正確な移動が可能である．本論文では，アクティブオムニホイールの移動速度の分析を行い，移動の制御に必要となる本車輪の運動に関する理論を明らかにした．また，本車輪を用いた4輪型全方向移動装置の車輪配置について理論的に検討を行い，各車輪の速度と移動装置の速度の関係の理論式を明らかにした．アクティブオムニホイールの入力軸の構造，それを支持する構造，移動装置の本体の構造やサスペンションについて適した構造を提案した．これらに基づき，本車輪と，人が搭乗可能な全方向移動装置を設計し，製作した．これを用いた実験を行い，人が搭乗した条件下でも前後，左右，斜め方向の移動や旋回，スロープ登坂が可能であることを確認し，製作した全方向移動装置が有効に機能することを実証した．

* 掲載：Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 10-6, (2016-10), JAMDSM0086.
*1 正員，京都大学大学院工学研究科機械理工学専攻（〒615-8540 京都市西京区京都大学桂C3）
*2 正員，元京都大学大学院工学研究科機械理工学専攻 （現）川崎重工業㈱（〒673-8666 明石市川崎町1-1）
*3 元京都大学大学院工学研究科機械理工学専攻（〒615-8540 京都市西京区京都大学桂C3）
*4 元京都大学工学部物理工学科機械システム学コース（〒606-8501 京都市左京区吉田本町）

論　文

(14) 複列円すいころ軸受の転動体荷重に与える内部すきまの影響

高橋 研 *1 (1983年生)　鈴木 大輔 *1 (1988年生)　永友 貴史 *1 (1969年生)

機械の回転軸を支持する転がり軸受として，複列円すいころ軸受が幅広く用いられており，更なる信頼性向上が求められている．複列円すいころ軸受は，外輪と内輪にそれぞれ2列の軌道面を持ち，その間を円すい台形状の転動体が転がる構造であり，軸受に作用する荷重は内部で複数の転動体が分担して内輪と外輪の間で伝えられる．転動体が負担する荷重を転動体荷重，その軸受内部での分布を転動体荷重分布と呼ぶ．転動体荷重分布は一般に，荷重を負担する負荷圏では荷重作用線を中心とする山型の形状となるが，軸受に作用する荷重の大きさだけでなく，荷重の負荷方法や，軸受の内部すきまの大きさによって変化することが知られており，これにより軸受の転動疲労寿命に影響を与えると考えられる．しかし，軸受の寿命計算方法には，このような転動体荷重分布の変化は考慮されず，転動体荷重は軸受の負荷圏側の半周全体に分布するものとして一律に扱われてきた．そのため，使用条件により様々な内部すきまを持つ軸受の寿命を正確に予測し，機械の効率的な設計・保守指針を得るためには，内部すきまの変化が転動体荷重に与える影響を把握することが実用上，重要である．

本研究では，試験条件の変更が容易である小型の複列円すいころ軸受を用いて，転動体に挿入した光ファイバセンサにより，種々に設定した内部すきまの条件下で，軸受を回転させながら直接かつ動的に転動体荷重を測定し，内部すきまの変化が転動体荷重分布に与える影響を調べた．加えて，転動体荷重分布の負荷圏の大きさを表す負荷率（負荷圏が軸受の半周の場合に0.5であり，負荷圏が狭くなるにつれて減少する）と内部すきまとの関係を，軸受のラジアル荷重と最大転動体荷重の関係を示す転動体荷重分布の理論，および最大転動体荷重と全弾性変位量の関係を示す線接触における弾性変位の理論から算出し，測定結果と比較した．その結果，軸受に作用するラジアル荷重が同じであっても，内部すきまが大きいほど最大転動体荷重が大きくなることが確認された．また，負荷率が内部すきまの増加とともに減少することや，ラジアル荷重が小さいほど，内部すきまの増加にともなう負荷率の減少の程度が大きくなることなどを明らかにした．さらに，これらの傾向は理論から求めた計算結果とも一致したことから，測定結果の合理性が説明できた．

* 掲載：日本機械学会論文集，82-840，(2016-8)，16-00205.
*1 正員，(公財)鉄道総合技術研究所（〒185-8540 国分寺市光町2-8-38）

論　文

(15) A possible common physical principle that underlies animal vocalization: theoretical considerations with an unsteady airflow-structure interaction model

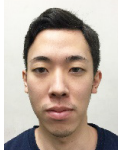
出口 真次*1
(1975年生)

本論文は，ヒトを含む複数の脊椎動物（いずれも似通った喉頭の骨格構造を有する）の発声が同一の力学的メカニズムによって生じるものであるかを理論的に検証したものである．特に，（ヒトでは）声帯（もしくは他の動物でもそれと同様の喉頭内組織）が呼気流との相互作用を経て動的不安定化を発現し，声の原音を成す自励振動へと至る起声のメカニズムについて議論を行った．多くの動物種に典型的な高い基本振動数で変形する流路内の流れを記述できる非定常呼気流モデルを構築し，自励振動（ホップ分岐）を起こす臨界圧力と振動数について無次元数を含む表現――すなわち当該現象を特徴づける物理的要素を明示しかつ相似則に基づく比較が可能な式――として解析的に導出した．その理論的帰結が，マウスやヒトなど，体長や発声振動数の異なる動物間において広く当てはまることを示した．本研究の解析手法としての特徴は，動物間で二桁以上異なる広い基本振動数の範囲に適用することが可能な非定常内部流モデルを基礎としていることである．また本論文では，声帯自励振動のメカニズムとして従来から知られるMyoelastic aerodynamic theory（MA説）およびMucosal wave theory（MW説）と本モデルとの関係性を詳しく議論している．ここで，MA説はヒトの地声（左右の声帯の衝突を伴う振動と定義）を記述するのに対して，裏声（顕著な衝突を伴わない振動と定義）を対象とすることはできず，またMW説は地声と裏声のいずれも適切に記述できないと結論づけた．特にMW説が，数千Hzの値を基本振動数とする（ヒトの裏声を含む）動物発声を記述できないとの主張は，解析的な裏付けをもとに提示している．このように本研究は発声様式の力学的基盤を抽出して異種動物に及ぶ統一的な説明を導いたという学術的成果に加え，機械工学的観点からも本知見は人工喉頭の設計指針を与えるものである．また，生理学・解剖学的見地を含め多岐に渡る視点で議論を展開して発声条件の解析解を得ており，異なる学問分野（例えばマウスによる超音波発声の役割や鳥類による音声学習に注目が集まる脳科学）への波及性を有している．

* 掲載：Journal of Biomechanical Science and Engineering, 11-4, (2016-12), 16-00414.
*1 正員，大阪大学大学院基礎工学研究科機能創成専攻（〒560-8531 豊中市待兼山町1-3）

論　文

(16) A level-set-based topology optimisation of carpet cloaking devices with the boundary element method



中本 謙太*1 (1991年生)　飯盛 浩司*1 (1984年生)　高橋　徹*1 (1973年生)　松本 敏郎*2 (1960年生)

本論文は，境界要素法を用いたトポロジー最適化によるカーペットクローキングデバイスの設計手法の構築に関するものである．カーペットクローキングとは，平面上に置かれた対象物の周囲に誘電体などの物質を配置することで，電磁波の軌道が対象物を迂回するように制御し，あたかも対象物が透明化したかのように見せかける技術であり，対象物周囲に配置する物質をカーペットクローキングデバイスという．カーペットクローキングデバイスのトポロジー最適化は，半無限領域における波動問題を精度良く効率的に解いた上で，全方位への散乱を抑える構造を決定する必要があるため，波動問題におけるトポロジー最適化法の中でも最も難しい問題の一つである．これまでに開発されてきたトポロジー最適化法では感度解析の際に有限要素法が用いられるものがほとんどであり，電磁場における設計問題のように無限遠を含む領域で定義される問題を解く際に無限領域を適当な境界条件を有する有限領域で近似する必要がある．したがって十分な精度を得るためには，非常に大きい有限領域を解析対象としなければならず，メッシュの生成コストが問題となる．本論文で提案する手法では，境界要素法を用いて高精度・高速な解法を実現した．境界要素法は，グリーン関数を用いた定式化により無限領域を厳密に取り扱うことができることに加え，メッシュの生成が境界のみで必要となるためメッシングにかかるコストが低く抑えられるという特長を有する．境界要素法を用いたトポロジー最適化により，種々の問題設定に対して機能するカーペットクローキングデバイスの構造を効率よく得られることを確認した．さらに，多目的最適化問題としてカーペットクローキングデバイスの設計問題を定式化することで，従来の手法では極めて困難であった広帯域な光に対して機能するカーペットクローキングデバイスの設計に成功した．また，本論文で採用したトポロジー導関数に基づく手法は，音場や弾性場などの他の物理現象，さらには三次元領域を対象とする問題への発展性も有している．

* 掲載：Mechanical Engineering Journal, 4-1, (2017-2), 16-00268.
*1 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）
*2 フェロー，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）

(1) ガスインジェクションヒートポンプシステム

井上 誠司 *1 (1964年生)　小林 寛幸 *2 (1988年生)　谷畑 拓也 *2 (1967年生)　遠藤 義治 *2 (1968年生)　林 浩之 *1 (1973年生)

1．概　要

近年の環境規制強化に伴い，自動車業界では電気自動車(EV) やプラグインハイブリッド車 (PHEV) などの環境対応車の開発が加速している．これらの車両ではエンジン廃熱がないため，暖房するための熱創出技術が必要となる．電気ヒータを使用した場合，車の全消費エネルギーに対する冬季の暖房エネルギーの割合は50%以上になる場合もあり，走行に利用できるエネルギーが減り，実走行距離が大きく低下する．そこで高効率な熱創出技術であるヒートポンプサイクルが注目されるが，低外気温での暖房性能確保や防曇のためのリヒート機能などは電気ヒータに頼っているのが現状であった．今回，上記の低外気温度での暖房性能と防曇性を，小型の気液分離器を用いたガスインジェクションサイクルと，室外器の熱交換量をコントロールする除湿暖房サイクルを用いて達成するヒートポンプシステムを開発した．

2．技術の内容

①ガスインジェクションサイクル

ガスインジェクションサイクルは高圧の冷媒を２段階に膨張させ、その中間圧で気液分離してガス冷媒をコンプレッサへ戻す（インジェクションする）サイクルである．室外器にて吸熱に寄与しないガス冷媒を中間圧からコンプレッサに戻し，液冷媒を室外器へ流すことで外気からの吸熱量が増大する．また密度の大きいガス冷媒をコンプレッサへインジェクションすることにより冷媒流量が増加し，暖房能力が増加する。ガスインジェクションサイクルのために、従来システムに対して気液分離機能と絞り機能、流路切替え機構が追加で必要であるが，本システムではそれらの機能を統合することでガスインジェクションサイクルを簡素なサイクル構成で達成している（図１）．今回開発のガスインジェクションサイクルは従来のヒートポンプサイクルと比較して暖房能力26%向上，電気ヒータと比較して消費電力63%低減の効果が得られた．これにより電気ヒータに頼らず空調システムのみで外気－10℃環境下までの暖房を実現している．

②リヒート技術

冷凍サイクルにおいて，冷却量をコンプレッサ回転数でコントロールした場合，リヒート量は冷凍サイクルの原理上，冷却量と動力で一義的に決まってしまう．ここで，リヒート量を調整するためには、室外器に能力調整機能を持たせることがキー技術となる．そのため，必要なリヒート量に応じて２つの冷媒流れ（エバポレータと室外器が直列流路、並列流路）の使い分けと電気式膨張弁の開度コントロールにより室外器の圧力を調整することで熱交換量を調整することで，広範囲の外気温度に対応できるリヒート機能をエンジン廃熱，電気ヒータに頼らず空調システムのみで達成している（図２）．同様のリヒート機能を電気ヒータを用いて行った場合と比較して60%の消費電力低減効果が得られた．

今回開発したサイクル構成図を図３に示す．今回開発した機能とカーエアコンに従来から必要な冷房機能を簡素に達成している．

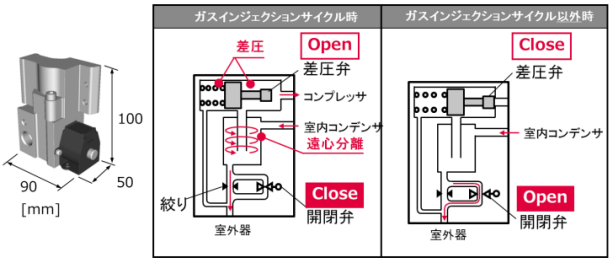


図１　ガスインジェクション用統合弁の概略図

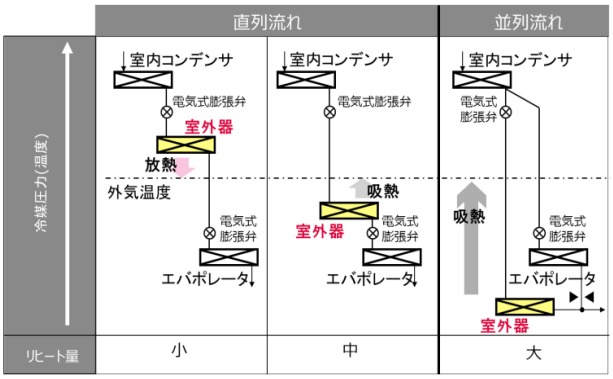


図２　室外器の温度コントロールによるリヒート量の調整方法

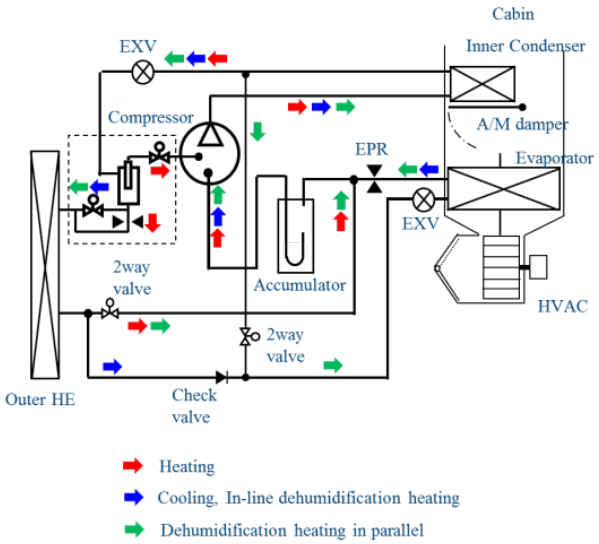
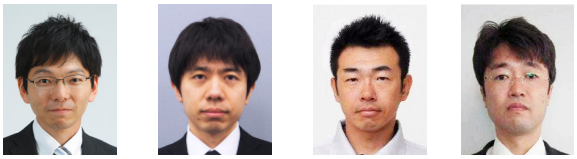


図３　サイクル構成

*1 正員，㈱デンソー（〒448-8661 愛知県刈谷市昭和町1-1）
*2 ㈱デンソー（〒448-8661 愛知県刈谷市昭和町1-1）

(2) 鉄道車両用上下制振制御システムの開発



菅原 能生*1 (1969年生)　小島　崇*1 (1981年生)　五十嵐 靖弘*2 (1973年生)　赤見 裕介*2 (1966年生)

1．概　要

近年，観光特急列車やクルーズトレインなどと称される「乗ること自体が旅行の目的となるような列車」が注目されている．このような列車は観光名所を周遊するため，幹線のみならず，いわゆる“ローカル線”も走行することが多い．“ローカル線”は，幹線に比べると軌道等の地上設備の整備水準が低いことが多く，比較的低速で走行する場合でも大きな車体上下振動が発生し，乗り心地が低下することがある．乗り心地向上のためには，軌道等の地上設備の改良や運転速度の制限が効果的だが，大幅なコスト増や利便性低下につながる．そのため，これらに依らない車両側での乗り心地向上策として，鉄道車両用の上下制振制御システムを開発し，世界で初めて実用化した．

2．技術の内容

鉄道車両の車体上下振動は，1～2 Hzの剛体モードの振動（車体の変形を伴わずに一体となって動く振動）に加え，10Hz前後の車体曲げモードの振動（車体の変形を伴う振動）が乗り心地に大きな影響を与える．特に軌道変位の大きい線区を走行する際には，前者の振動低減が乗り心地向上に効果的である．しかし，例えば車体を支持する空気ばねの減衰を大きくすると，後者の振動が増大するといった副作用が生じ，鉄道車両の上下振動低減には独特の難しさがある．

そこで，前者の振動低減を主体とし，同時に後者の振動も低減する上下制振制御システムを開発した．本システムは，1両あたり，車体－台車間に取り付ける可変減衰上下動ダンパ4本，車体に設置する加速度センサ4個，制御装置1台で構成される（図1，図2）．開発したダンパは，10Hz程度の車体曲げモードの振動制御に対応できるよう優れた応答性を有している．ダンパの減衰力は電流値により制御し，センサから得た上下加速度を車体の振動モード別に分離し，モードごとに目標値を計算してその結果を合成し，指令電流値を決定する．

実走行時の本システムの振動低減効果例を図3に示す．1～2 Hzの車体剛体モード，10Hz付近の車体曲げモードの振動を同時に低減し，乗り心地評価指標であるLT値を，本例の場合3.2 dB改善した．一般にLT値が3 dB以上異なると乗り心地の差が体感で判別できるとされており，乗り心地向上効果が実証された．

本システムは，JR九州の観光特急列車「指宿のたまて箱」に初めて搭載された．その後，「ゆふいんの森」などの観光特急列車，国内を走行する全てのクルーズトレイン（JR九州「ななつ星 in 九州」，JR東日本「TRAIN SUITE 四季島」，JR西日本「TWILIGHT EXPRESS 瑞風」）に搭載され（図4），乗り心地向上に寄与している．

3．まとめ

鉄道車両の乗り心地を向上する上下制振制御システムを世界で初めて実用化した．最後に，開発・走行試験に際しご協力頂いた鉄道事業者関係各位に心より御礼申し上げる．

*1 正員，（公財）鉄道総合技術研究所（〒185-8540 国分寺市光町2-8-38）
*2 正員，日立オートモティブシステムズ㈱（〒252-1121綾瀬市小園1116）

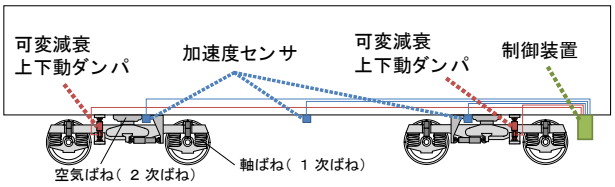


図1　上下制振制御システムの構成

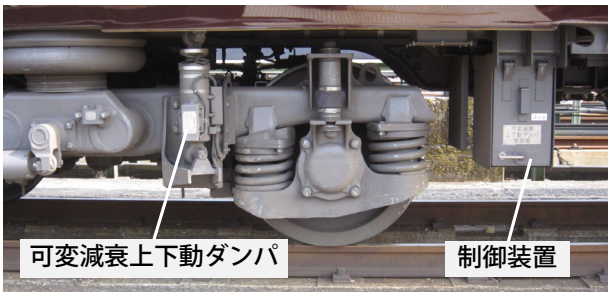


図2　上下制振制御システムの実車への搭載状況

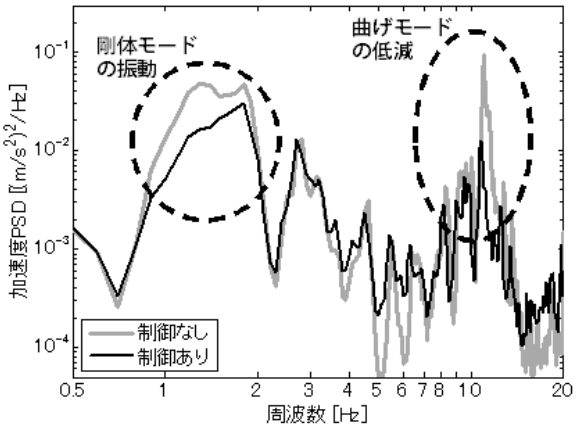


図3　上下制振制御システムの振動低減効果例
（車体中央上下加速度 PSD 走行速度 80km/h，
「鉄道車両と技術」No.251, p.23 図3より引用）

図 4　上下制振制御システム搭載車両例

技　術

(3) アモルファスモータ 一体型 オイルフリースクロール圧縮機の開発と製品化

相馬 憲一 *1 (1954年生)　榎本 裕治 *2 (1968年生)　坂本 晋 *3 (1959年生)　兼本 喜之 *4 (1971年生)　小俣 剛 *5 (1957年生)

1．概　要

産業界におけるモータ動力の電力使用量は，全電力使用量の75％を占めモータの省エネルギー化は世界的課題である．モータの高効率化には低損失な材料の活用が有効であり，そのような材料として鉄基アモルファス金属が知られている（図１）．しかし，硬くて脆いという機械的特性によりモータへの適用は困難であった．また，希土類を用いたネオジム磁石を用いることもモータの高効率化には有効であるが，資源調達リスクがあった．本開発では鉄基アモルファス金属とレアアースを用いないフェライト磁石を用いたモータ設計とものづくりに挑戦し，世界で初めてIEC規格最高効率クラスIE5のアモルファスモータを実現した．一方，工場内駆動源として使用される空気圧縮機は，高効率･小型･軽量化のニーズが高い．上記の薄型で高効率なアモルファスモータとオイルフリースクロール圧縮機構を一体化する構造工夫と筐体内熱流れの最適化などにより，従来機比－63％の大幅な小型化を達成するスクロール型空気圧縮機を開発し，2017年３月より販売を開始した．

2．技術の内容

ロータの磁石にフェライト磁石，ステータの鉄心にアモルファス金属を利用するアキシャルギャップ型アモルファスモータを開発し，高効率化（≧IE5）と省資源化（レアアース未使用），薄型化（従来比40%減）を実現した．また，このモータの高効率，薄型の特長を活かしたモータ組込み構造のスクロール型空気圧縮機を開発した．従来のスクロール型空気圧縮機はベルト駆動でモータと圧縮機構が分離した構造であったものを，薄型モータを圧縮機構と一体構造とすることにより圧縮機本体の小型化37%を実現した．

(1) アモルファス金属を鉄心に利用する鉄心構造，製法

アモルファス金属の，薄く硬く脆く，加工による特性劣化が著しいという課題を解決する，「短冊積層鉄心構造，製法」を考案し，単純形状のアモルファス金属箔を鉄心とする鉄心構造（図２）とその量産技術を確立した．

(2) 薄型アキシャルギャップ構造モータ技術

アキシャルギャップモータは，ロータ径を大きくできるため，ラジアルギャップモータよりもギャップ面積（トルク発生に寄与するロータとステータが対抗する部分の面積）を３倍程度に大きく採る事ができる（図３）．このため，磁力が1/3程度のフェライト磁石で構成可能である．モータ効率は，IE5以上となる96.2%を達成した（図４）．

(3) モータ一体型オイルフリースクロール圧縮機設計技術

それぞれが発熱体である圧縮機構部とモータ部を一体実装するための熱設計技術を構築し，体積を63%削減したアモルファスモータ一体型のオイルフリースクロール圧縮機を開発した（図５）．

3．まとめ

アモルファス金属，フェライト磁石を使用した薄型で高効率なアモルファスモータを圧縮機構部と一体化して大幅な小型・省エネを実現するスクロール型空気圧縮機を'17年３月に製品化した．本製品は，CO_2やエネルギー消費削減でSDGsの実現に貢献できる．

項目	電磁鋼板	鉄基アモルファス金属
外観写真		
材料名	35A300 (JIS)	2605SA1
密度	7.7 g/cm^3	7.2 g/cm^3
厚さ	0.35 mm	0.025 mm
B_1(100A/m)	0.95T	1.26T
固有抵抗	0.52μΩ･m	1.3μΩ･m
損失 $W_{10/400}$	18 W/kg	1.5 W/kg
硬度(HV)	100～200	900

図１　電磁鋼板とアモルファスの得失比較

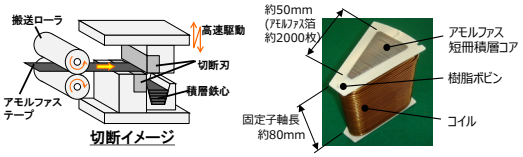


図２　アモルファスの短冊積層コア製法と構造

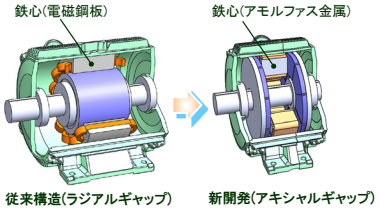


図３　薄型アキシャルギャップモータ構造

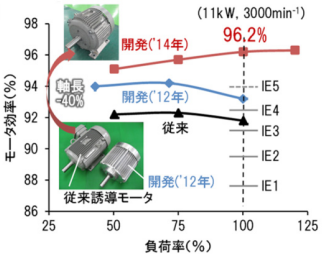


図４　開発モータの効率

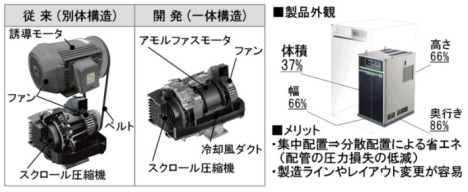


図５　アモルファスモータ一体型オイルフリースクロール圧縮機

*1 正員, ㈱日立産機システム 研究開発センタ（〒101-0022 東京都千代田区神田練塀町3番地AKSビル）
*2 ㈱日立製作所 研究開発グループ 制御イノベーションセンタ モータシステム研究部（〒319-1292 日立市大みか町7-1-1）
*3 ㈱日立産機システム 事業統括本部 空圧システム事業部（〒424-0926 静岡市清水区村松390番地）
*4 ㈱日立産機システム 事業統括本部空圧システム事業部 相模事業所（〒252-1121 綾瀬市小園1116）
*5 ㈱日立産機システム 事業統括本部 ドライブシステム事業部（〒275-8611 千葉県習志野市東習志野7-1-1）

技　術

（4）医工・産学連携による麻痺患者向け装着型超小形歩行補助機の実用化

田中 英一郎*1（1972年生）　弓削　類*2（1957年生）　池原 忠明*3（1975年生）　河原 裕美*4（1977年生）　山崎 文敬*5（1974年生）

1. 概　要

医工連携および産学連携により，片麻痺患者の歩行訓練用として装着型の歩行補助機RE-Gait®を開発し実用化した（図１）．本装置は，人間の筋肉構造と生理現象を活用することにより，足首の動作を補助するだけで足を上げる動作を誘発する．装置は足首にのみ装着するため，ズボンの裾に隠すことができるほど小形であり，１kgと軽量である．また専用のタブレットソフトウェアにより，病院や施設の医師や理学療法士などの専門家が容易に調整可能であり，現場での使い勝手も考慮されている．本装置は製品化され，すでに多くの病院や施設で使用され，多くの患者の歩容改善効果が得られている．

2. 技術の内容

脳卒中などにより片麻痺となった患者数は，国内100万人以上といわれる．その多くは，麻痺側の足の爪先が伸びた状態となるため，ぶん回し歩行や爪先接地が発生し，わずかな段差でもつまずきやすく非常に危険である．患者は歩容改善のために歩行訓練を行うが，従来の歩行補助機は股関節や膝関節などに複数のモータ駆動部を備えた大型のものが多かった．これに対し本装置は，歩行中に足が地面から離れた瞬間に二関節筋の伸張反射を利用する（患者によっては異なる場合もある）ことにより，足首の低背屈動作を補助するだけで足を上げる動作を誘発し，踵からの接地を実現する（図２）．

装着部は，目立たないようズボンの裾に隠すことを考え（図３），多条ウォーム＋ヘリカルギヤによる高効率かつセルフロックレスな厚さ２cmの超薄型ギヤボックスを開発し，駆動部が下腿部に沿うよう設計した．また，カーボンフレーム化により，患者が普段装着する短下肢装具と同程度の重量１kgに抑えた．

一方，本装置を使用する現場は，病院や介護施設であり，医師や理学療法士などの専門家が患者の状態に応じて適切な調整を瞬時に行う必要がある．そこで，専用のタブレットソフトウェアを開発した（図４）．足関節の目標角度変化をタッチパネル上で容易に調整できるため，設定者および患者の両方が視覚的にどう動かすかを理解しながら訓練が可能である．また，歩行周期やセンサ感度，立脚期から遊脚期への移行タイミングなどもこのソフトで設定し，無線送信して随時調整できるものとした．

RE-Gait®は，すでに多くの病院や介護施設にて多くの患者が利用しており，本装置を使用して１回20分程度の歩行訓練を週２，３回実施し，これを数ヶ月続けたところ，多くの方の歩容改善が確認できた．

今後，RE-Gait®を一人でも多くの患者に使用して頂き，効率的に歩行訓練することにより，もう一度歩くことのできる喜びを実感して頂きたい．

*1 正員，早稲田大学理工学術院（〒808-0135 北九州市若松区ひびきの2-7）
*2 広島大学大学院医歯薬保健学研究科（〒734-8551 広島市南区霞1-2-3）
*3 正員，東京都立産業技術高等専門学校（〒116-8523 東京都荒川区南千住8-17-1）
*4 ㈱スペース・バイオ・ラボラトリーズ（〒734-8551広島市南区霞1-2-3 広島大学霞総合研究棟210号室）
*5 ㈱イクシスリサーチ（〒212-0055 川崎市幸区南加瀬5-18-16）

図１　製品化した歩行補助機 RE-Gait®2016 年タイプ

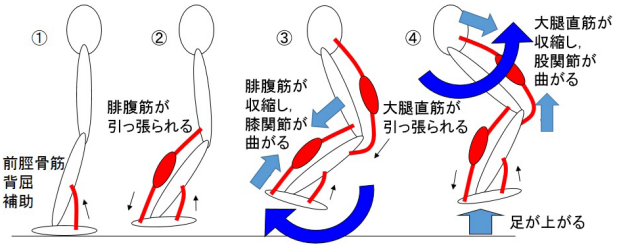


図２　足首だけの補助で足が上がるメカニズム

図３　ズボンの裾に隠すことができる小形設計

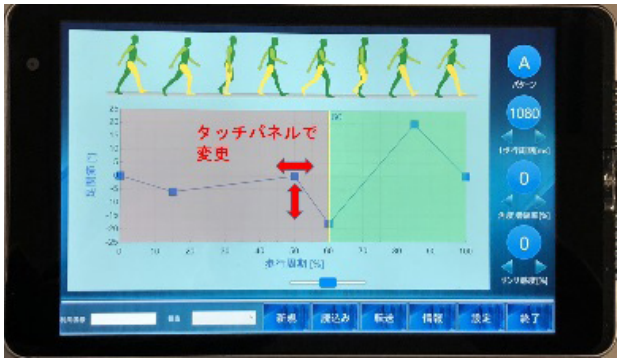


図４　開発した専用タブレットソフトウェア

(5) 内歯車新加工法の開発

西村 幸久*1 (1965年生)　菊池 寿真*1 (1977年生)　千原　悠*2 (1988年生)　門田 哲次*3 (1981年生)　小林 哲平*4 (1979年生)

1. 概　要

近年，内歯車の加工法として，約100年前に考案されたスカイビングが注目されている．スカイビングは内歯車を精度良く，高能率に加工することができるが，工具寿命が短いという課題を解決できず，これまでほとんど実用化されてこなかった．

スカイビングは歯車形状の工具を用い，粗加工から仕上げ加工まで同じ切刃で加工を行う．これに対し，新加工法では粗加工と仕上げ加工の切刃を分けた新工具を用い，工具の長寿命化を図った．また，新工具の切削シミュレーションを開発し，最小限の試加工で，工具寿命，加工精度を満足する工具諸元と加工条件の設計を可能にすると共に，新工具の利点を活かせる加工機を開発した．その結果，従来のスカイビングと同等の生産性と加工精度を確保しつつ５倍以上という圧倒的な工具寿命を実現した．

2. 技術の内容

スカイビングは，図１に示すように工具を傾けた状態で工具とワークを同期回転させ，工具を上下に３～６回程度，切込み深さを変えながら移動させることで加工を行う．工具はピニオンカッタと呼ばれ，１つの内歯車歯溝に対して１つの切刃しか作用しない．

新加工法の加工動作は従来のスカイビングと同じであるが，図２に示す新工具を適用している．新工具は，１つの内歯車歯溝に対して粗，中，仕上げの３つの切刃が作用するようになっており，切刃を増やすことで工具の長寿命化を図っている．新加工法では，スカイビングに比べ，工具形状が複雑かつ多数の切刃が作用するため，最適な工具諸元と加工条件をシミュレーションできるソフトを開発した．図３に本ソフトによる工具寿命予測の一例を示す．この例では形状の異なる７つ切刃について，摩耗部が黒色で示されている．

図４に乗用車用変速機の加工の一例を示す．従来のスカイビングの寿命200個に対し，1200個と６倍の寿命を達成した．

3. まとめ

内歯車を高精度かつ高能率に加工する新加工法を開発したことで工具寿命の課題を克服し，実用化を可能とした．今後，更なる工具コスト低減を目指し，新工具に最適な工具材料，コーティングについて技術開発を推進する．

*1 正員，三菱重工工作機械㈱（〒520-3080 栗東市六地蔵130）
*2 三菱重工機械システム㈱（〒652-8585 神戸市兵庫区和田崎町1-1-1）
*3 三菱重工工作機械㈱（〒520-3080 栗東市六地蔵130）
*4 三菱重工業㈱　総合研究所（〒652-8585 兵庫県高砂市荒井町新浜2-1-1）

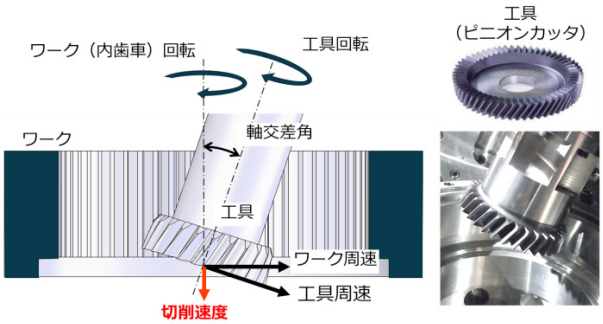


図１ スカイビング加工

図２　新加工法の工具（スーパースカイビングカッタ）

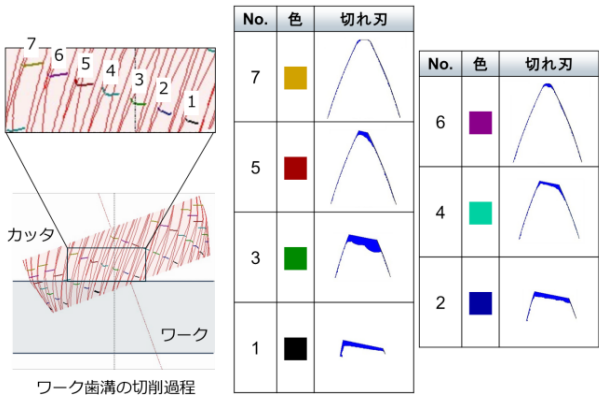


図３　切削シミュレーション（工具摩耗予測）

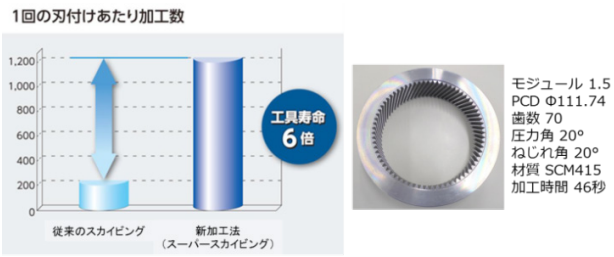


図４　乗用車用変速機の内歯車加工事例

(6) プロペラファンを搭載した新構造のルームエアコン室内機の開発

福井 智哉*1 (1982年生)　迫田 健一*1 (1978年生)　山田 彰二*1 (1969年生)　高守　輝*2 (1969年生)　松本　崇*2 (1972年生)

1. 概　要

地球環境保護を目的にトップランナー方式の省エネ法が施行され，家庭における消費電力の多くを占めるルームエアコンにおいても省エネ性能の向上が進んでいる．また，省エネ性能の向上に加え，センサーを活用した温度分布の検知によって気流を制御する快適性の向上に向けた技術開発も行われている．

これらの取り組みに加え，更に大幅な省エネ性と快適性の向上を実現するため，約半世紀ぶりに内部構造を抜本的に見直した新構造のルームエアコン室内機（図１）を開発した．また，新しいファン形態の特徴を生かした気流の制御によって快適性の向上を実現した．

2. 技術の内容

図２（左）に示す従来構造の室内機で用いられる貫流ファンは，前面側（図中左）から吸気し，下方に向けて排気する流れが特徴のファンである．しかし近年では，前面側が意匠面となることで吸気ができず，貫流ファンに適した風路形状とは異なってきている．そのため，風路構造の抜本的な変更と風路構造に適した高効率なファンの開発を行った．

新構造の室内機では，室内機の気流の流れに合わせて吸気方向と排気方向が一致する流れが特徴のプロペラファンを採用した．さらにプロペラファンは一般的に貫流ファンに対して効率が高いことから室内機に搭載することで消費電力を低下することができる．また，ファンを上方に配置することで，従来貫流ファンが配置されていた箇所に熱交換器を稠密に配置することが可能となった．

図３に新構造の室内機用に開発したプロペラファンを示す．室内機に可能な限り多くの熱交換器を搭載するため，薄型で高効率なファンを開発した．翼弦長を短くすると同時に羽根枚数を増加させる一般的な方法では薄型化に伴い，ファン効率が低下する．これらを解決するために，翼形状やベルマウス形状に対して流体解析と実験を併用して好適化を図った．さらに，モーターを保持するモーターステイを静翼化し，旋回流れからの圧力回復を図った．

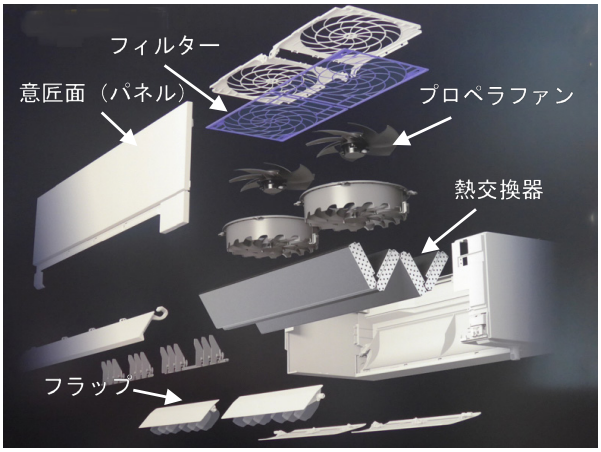


図１　新構造ルームエアコン室内機

これらの改善により，表１に示すように前年度モデルに対して，室内機の消費電力を31%低減し，省エネ性能を約13.3%改善した．さらに複数のプロペラファンを搭載し，独立に制御することで同じ室内に異なる２つの温度空間を作り出すとこが可能となった．

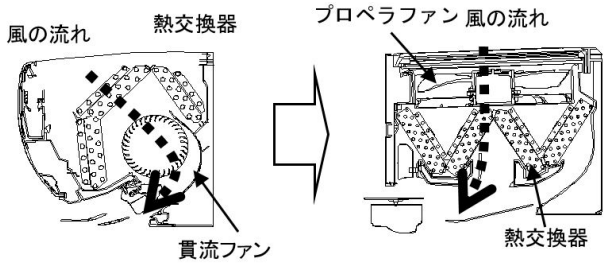


図２　従来構造室内機（左）と新構造室内機（右）

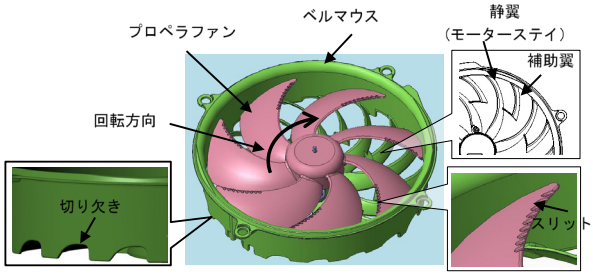


図３　プロペラファンとその周辺構造

表１　室内機消費電力と性能（APF）比較*3

	従来型	新　型
消費電力 (風量 18m³/min 時)	47.9 W	32.8 W
APF	6.0	6.8

＊3　2016 年度モデル MSZ-ZW565S と MSZ-FZ5616S との比較
APF（Annual Performance Factor : 通年エネルギー消費効率）

3. まとめ

従来の室内機構成を抜本的に見直した新構造のルームエアコン室内機を開発し，大幅な省エネ性能と快適性の向上を実現した．

今後も高効率化による更なる省エネルギー化を目指した空調機器の開発を推進し，地球環境保護に貢献していきたい．

*1 正員，三菱電機㈱ 先端技術総合研究所（〒661-8661 尼崎市塚口本町8-1-1）
*2 三菱電機㈱ 静岡製作所（〒422-8528 静岡市駿河区小鹿3丁目18-1）

(7) 田植機直進キープ機能の開発

宮本 惇平*1 (1986年生)　久保田 祐樹*2 (1988年生)　直本　哲*2 (1977年生)　石見 憲一*2 (1969年生)　吉田 和正*2 (1967年生)

1．概　要

今日の日本農業においては，農業従事者の減少や高齢化が進んでおり，熟練した技術・技能を持った人員の確保が困難になっている．また，本開発の対象となる田植え作業は，前行程で植え付けた苗列に沿って，常に高精度かつ真っ直ぐに走行しながら植え付けをおこなう必要がある．この作業精度が低い場合は管理作業，収穫作業といった後工程に影響が及び，結果的に収穫量の低下につながる．近年では海外を中心に，全地球航法衛星システム（GNSS）を活用した農業機械の自動制御技術の導入が進められているが，コストの高さや操作の煩雑さなどの問題もあり，日本での普及は限定的である．これらの背景から，農家の方々に広く受け入れられ，パートタイム雇用者などの未熟練オペレータでも高精度に田植え作業が可能になる，「安価で誰でも簡単に直進キープ」をコンセプトとした．安価なシステム構成で高精度に位置，方位情報を算出する信号処理技術，および水田という不確定要因が多い走行条件下において熟練オペレータ同等の直進精度を実現するための直進走行制御技術を独自開発し，全国の水田で走行試験を繰り返すことでその性能を実証した．開発製品は自動操舵という高度な制御機能を農家の方々に受け入れられる価格で提供したことにより，2016年の発売以来市場から高く評価されている．

2．技術の内容

機能の概要を図１に，操作インターフェースを図２に示す．オペレータは最初の直進走行時に，２つの基準登録スイッチにより自動操舵の目標直線を登録する．旋回後，自動操舵の開始と終了を切り替えるGSスイッチを操作し，自動操舵を開始する．以降は，端まで行き着いたらGSスイッチで自動操舵を終了し，旋回して再度開始という手順を繰り返す．必要な操作を絞り込むことにより，操作の煩雑化を防ぎ，誰にでも簡単に使用できるという高いユーザビリティを実現した．

図３にシステム構成を示す．操舵機構としては，ステアリングを駆動する操舵装置（電動モータと減速機構を組み合わせたもの）を，パワーステアリングの直上にビルトイン構造で実装した．また，本開発では，農業分野で一般的に用いられる高精度RTK-GNSSではなく，比較的安価なDGPSを採用した．中精度のDGPSと姿勢計測ユニット（IMU）を組み合わせ，車両位置と方位角をリアルタイムかつ高精度に算出するアルゴリズムを実装した．

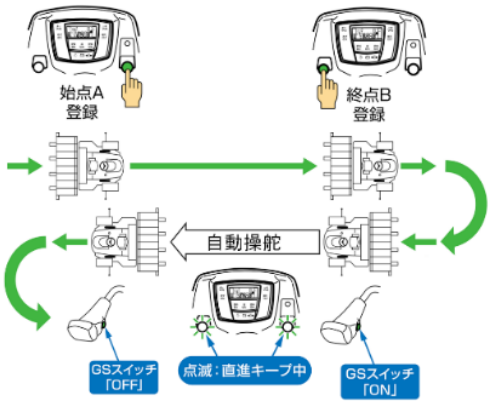


図１　機能の概要

図２　操作インターフェース

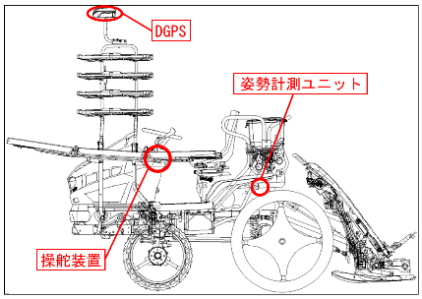


図３ システム構成

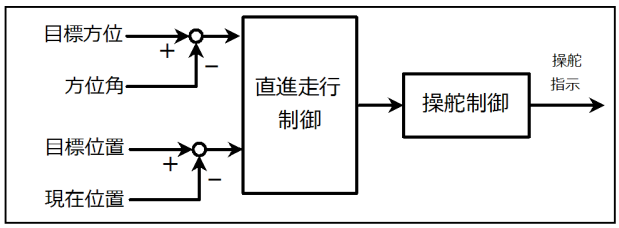


図４ 制御ブロック図

車両制御は，熟練オペレータの優れたステアリング操作を参考にして開発した．目標ラインからの位置ずれを補正する制御と目標方位に向かって直進させる制御を組み合わせた直進走行制御アルゴリズムを開発し（図４），不確定要因の多い水田内でも直進可能な高いロバスト性を実現した．

3．まとめ

日本農業が抱える人材確保課題解決の一助として，DGPSを活用した位置，方位の高精度測位技術と，軟弱路面に対応した直進走行制御技術を開発し，熟練度に左右されない高精度田植え作業を実現できた．また，シンプルな運転操作で農家の方々に広く受け入れられ，今後の日本農業に必要不可欠である自動走行やロボット化等の先進技術の社会実装に寄与できたと考える．

*1 正員，㈱クボタ（〒590-0823 大阪府堺市堺区石津北町64）
*2 ㈱クボタ（〒590-0823 大阪府堺市堺区石津北町64）

(8) 人の操舵操作に基づくエンジン制御を用いた車両運動性能向上システム

吉岡　透*1（1962年生）　梅津 大輔*2（1981年生）　砂原　修*2（1968年生）　高原 康典*2（1975年生）　加藤 史律*2（1976年生）

1．概　要

運転の楽しさや安心感と言った車両運動性能の質を論じる上で，減速・旋回・加速という車両運動の連係性，すなわち「加速度のつながり」は非常に重要である（図１）．その実現のため，ドライバのハンドル操作に応じてエンジンの駆動トルクをわずかに減少させることで，従来別々に制御されていた横方向と前後方向の加速度を統合的にコントロールする技術（G-Vectoring Control（GVC））を開発した．

これにより，走行中，４輪に望ましい接地荷重が発生し（図２），スムーズで効率的な車両運動が実現されることで，車両は微小なハンドル操作に同期してより正確に応答するようになる．この機能は直進走行など一般のドライバが日常的に経験する幅広い走行シーンで有効に働き，ドライバによる修正操舵が自然に抑制される等，人の運転行動が変容して車両挙動が大幅に改善する．

2．技術の内容

本技術の基本アルゴリズムは，様々な走行シーンにおいてスムーズな車両運動（「なめらかな加速度のつながり」）を実現できる熟練ドライバが横加加速度に応じて前後加速度を調整していることに基本的な着想を得て開発された（図３）．すなわち，ドライバのハンドル操作と車速から予測される横加加速度に応じた減速度をエンジントルク制御により発生させることで横方向と前後方向の加速度を連成させる機能を，特別なセンサやデバイスを要しないシンプルなシステムとして実現した（図４）．その減速度は最大でも，エンジンブレーキよりも小さい0.5m/s²程度とし，意図しない減速としてドライバが違和感を抱かないレベルとした．

本技術によって，車両がドライバによる微小なハンドル操作に同期してより正確に運動するようになり，ドライバの運転行動がより良い方向に変容することが確認されている．たとえばレーンチェンジ走行では，ドライバによるハンドルの切り戻しの遅れや切り戻し過ぎが抑えられ，スムーズにハンドルが切れるようになる．またワインディング走行では，コースに追従するために操舵角を調整する頻度と量が減り，ドライバによるハンドル操作の負荷を表す指標であるステアリングエントロピーが半減するなど運転負荷の低減に寄与する（図５）．さらに，微小な修正操舵が連続する走行シーンである直進走行においても，一般ドライバが運転したときの修正操舵量が減少することが確かめられている（図６）．

本技術は，“エンジンでシャシー性能を高める”という新たな発想に基づき，日常的な走行における車両運動の質を高めることにより，走行シーンを問わずドライバに“走る歓び”を提供するものである．今後，本技術の展開を進めるとともに，より一層の“走る歓び”につながる車両運動性能の向上に取り組んでいく．

*1 正員，マツダ㈱（〒730-8670 広島県安芸郡府中町新地3-1）
*2 マツダ㈱（〒730-8670 広島県安芸郡府中町新地3-1）

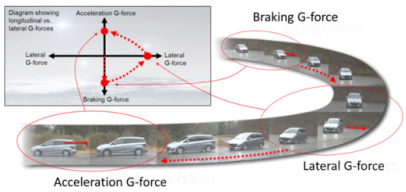


図１　減速・旋回・加速における前後加速度と横加速度のつながり

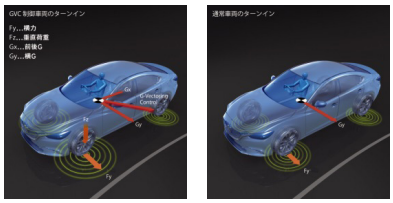


図２　GVC あり（左図）となし（右図）での接地荷重の違いのイメージ

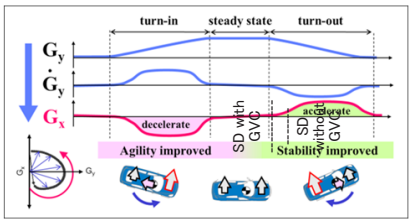


図３　熟練ドライバの運転操作の例
（上から横加速度，横加加速度，前後加速度）

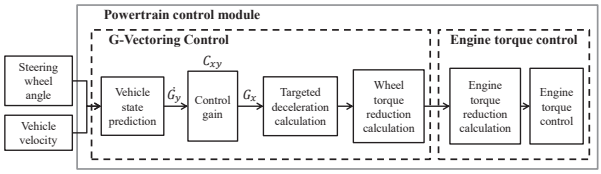
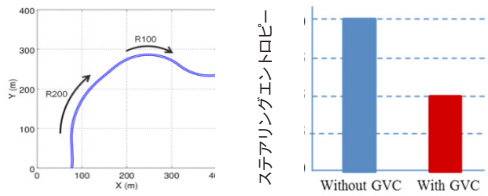


図４ GVC システム構成図



(a) ワインディング路の形状　(b) ステアリングエントロピー

図５　ワインディング路走行におけるステアリングエントロピーの変化

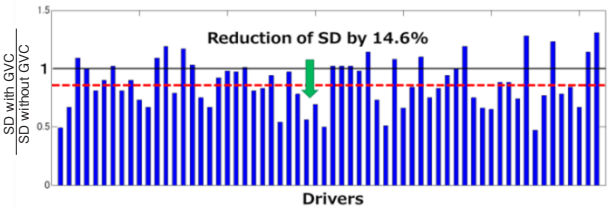


図６　直進走行での一般ドライバの修正操舵量
（標準偏差（SD））の減少

研究奨励

(1) 逆解析を援用した複合構造における界面の力学モデルの構築と評価の研究

岸本　喜直*
(1983年生)

複数の部材を締結，接合した複合構造において，部材間の界面は破壊起点になりやすいなど構造全体の強度や剛性を決定づける．本研究では，直接測定が困難な界面の応力や剛性を，他の直接測定が可能な物理量と関連付けた数理モデルを構築して，逆問題解析によって同定する手法を開発した．具体的には，ボルト締結構造における構造全体の剛性と接合界面の表面性状，応力分布との相互の関連付けや，サンドイッチパネルの表面板とコア材間の支持反力分布を高い精度で同定することに成功した．同様のアプローチで，薄板を積層した構造をなす電池の電極板間の電流密度，温度，応力を，測定可能な周辺磁場などで情報を補い，連成解析する手法を開発した．

* 正員，東京都市大学工学部（〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1-28-1）

研究奨励

(2) 自立金属ナノ薄膜における疲労に関する研究

近藤 俊之*
(1984年生)

厚さが100 nmオーダーである金属ナノ薄膜における疲労破壊とその寸法効果の解明を目的として，基板から自立した銅ナノ薄膜に対する疲労き裂進展試験を実施した．疲労き裂の電界放射走査型電子顕微鏡（FESEM）観察により，ナノ薄膜ではき裂先端前方における面外方向への疲労損傷の蓄積・疲労破壊が疲労き裂進展を支配し，バルク材とは異なる機構で進展することを明らかにした．さらに，き裂開閉口挙動のその場FESEM観察により，薄膜においてもき裂閉口が生じ，また，き裂閉口を考慮するとバルク材に比べて疲労き裂進展抵抗が小さくなることを明らかにした．また，厚さが減少すると疲労き裂進展が加速する寸法効果を明らかにした．

* 正員，大阪大学大学院工学研究科（〒565-0871 吹田市山田丘2-1）

研究奨励

(3) ドライプレス金型の表面構造設計に基づく高耐久性硬質膜形成技術の開発に関する研究

清水 徹英*
(1982年生)

環境負荷低減および製造プロセスの洗浄レス化に向けたプレス金型の完全ドライ化を目指し，金型表面の高靱性・低摩擦化と優れた熱的・化学的安定性を実現する硬質膜形成技術の開発が要求されている．申請者は，無潤滑下の摩擦理論を起点として，テクスチャ構造を有する硬質膜の開発とその設計指針を提言すると共に，表面材料構造の幅広い制御を可能とする成膜技術として，大電力パルススパッタリングの応用研究に着手し，工業的実用性を明らかにしてきた．一連の業績は，摩擦法則に基づいた表面設計指針の確立と，それを実現する成膜技術開発，さらにはドライプレス加工性の評価に至るまでの研究成果を総合的かつ体系的にまとめたものである．

* 正員，首都大学東京大学院システムデザイン研究科（〒191-0065 日野市旭が丘6-6）

研究奨励

(4) 固体酸化物燃料電池の連成現象とミクロ組織シミュレーションの研究

村松 眞由*
(1984年生)

固体酸化物形燃料電池（SOFC）の電気化学・変形の電気化学-力学連成モデルを構築し，その長期運転環境下における機械的劣化を予測可能な数値解析手法を開発した．開発した手法の機能拡張により，商用の解析ソフトウェアに実装し，SOFCの設計・開発に利用可能なツールへと発展させた．さらに，空気極として用いられる酸化物（LSCF）に対してマイクロメカニクスに基づくPhase-fieldモデルを適用することで，立方晶母相から複数のバリアントの菱面体晶の核が生成され，それらが成長してラメラ組織が形成される様子を再現し，応力解析と連成させることで，巨視的に観察される強弾性特性を特徴づけることに成功した．

* 正員，東北大学大学院環境科学研究科（〒980-8572 仙台市青葉区荒巻字青葉468-1）

研究奨励

(5) 微細粒子を複合する流体と固液界面における伝熱の研究

植木 祥高*
(1985年生)

放熱，伝熱，断熱といった熱制御技術は熱エネルギーの有効活用や機器の小型化に必須の要素技術である．これら熱制御にナノスケールの表面微細構造や粒子の活用が見込まれている．固体材のみならず，伝熱媒体となる液体に微細粒子を複合することで熱輸送を変えることが可能である．しかしながら，液体の場合は互いに位置関係を拘束しないため一層複雑な現象となることが知られている．本研究ではこれを対象とし，伝熱面となる固液界面から液体に至る一連の伝熱現象がナノスケールの微細粒子の存在によりどの物理的因子に依ってどの程度変化するのかを分子動力学法に基づく数値解析と実験計測を併用して明らかにし，微視的な伝熱の理解に貢献した．

* 正員，大阪大学大学院工学研究科（〒565-0871 吹田市山田丘2-1）

研究奨励

(6) 数値解析による燃焼振動機構の研究

北野 智朗*
(1988年生)

燃焼振動とは，航空エンジンなどの燃焼器内部の乱流，発熱および圧力変動の相互作用に起因して火炎や燃焼器が強く振動する現象であり，燃焼器壁面の疲労破壊にもつながる重要な現象である．しかし，燃焼振動を精度良く捉えることは実験的にも数値解析的にも困難であるため，その発生条件や抑制方法は十分に明らかにされていない．本研究では，ガス燃焼および噴霧燃焼の数値解析を実施し，燃焼振動の発生メカニズムについて検討を行うとともに，燃料の噴霧条件の違いが燃焼振動特性に及ぼす影響について明らかにした．さらに，噴霧燃焼中の燃料液滴の蒸発特性や，燃焼振動に起因して発生するフラッシュバックの挙動についても明らかにした．

* 正員，㈱IHI（〒196-8686 昭島市拝島町3975-18）

研究奨励

(7) アンモニア燃焼の基礎特性解明とその応用の研究

早川 晃弘*
(1985年生)

アンモニアは水素エネルギーキャリアとしてのみならず，燃焼させても二酸化炭素を排出しないカーボンフリー燃料としても注目されている．しかしながら，従来，燃料としては注目されておらず，その燃焼特性は十分明らかではない．本研究では，実験および詳細反応機構を考慮した数値計算によって，窒素酸化物排出特性や層流燃焼速度に及ぼす圧力の影響を明らかにした．このような基礎的な結果に基づき，アンモニアを燃料とするガスタービン燃焼器の実現に向けて，旋回流燃焼器におけるアンモニアの燃焼特性を検討した．その結果，燃焼速度の低いアンモニアであっても，幅広い流速，当量比条件において安定した燃焼が実現できることを明らかにした．

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

研究奨励

(8) 量子・分子論的解析を用いた高分子電解質膜の高次構造内における物質輸送現象の研究

馬渕 拓哉*
(1987年生)

次世代のエネルギーシステムとして期待されている固体高分子形燃料電池に着目し，その発電性能の支配要因の１つである電解質膜内における化学反応を伴うプロトン輸送現象を分子シミュレーションにより解析し，その輸送メカニズムを明らかにした．本研究では，プロトン輸送現象と密接に関わる水分子の構造および輸送特性を正確に再現可能なモデルの構築に成功し，輸送現象解析モデルの基盤を築いた．さらに，本モデルを用いて電解質膜内のナノスケールの水クラスター構造とプロトン伝導特性との相関性を明確にすることで，ナノスケールの観点からプロトン輸送現象を明らかにし，物質輸送現象の本質的解明およびその普遍化に大きく貢献した．

* 正員，東北大学学際科学フロンティア研究所（〒980-8577 仙台市青葉区片平2丁目1-1）

研究奨励

(9) 高クヌッセン数流れにおける移動境界および連成問題の数理と応用に関する研究

辻 徹郎*
(1985年生)

流体中における物体の運動解析は支配方程式の移動境界問題であり，連成問題として取り扱う場合，従来の流体力学の枠組みでさえも困難とされている課題の一つである．本研究では，低圧環境やマイクロ・ナノデバイス近傍の流れ場に代表される高クヌッセン数流れに対し，分子運動論に基づく連成問題の解析を行った．特に，通常の流体力学には現れない高クヌッセン数流れ特有の履歴効果について，独自の解法によりその基礎を構築した．また，高クヌッセン数流れの非線形音響流，水平対流，緩和問題，ボルツマン方程式における分子無秩序の仮定の検証など，分子流体力学における種々の基礎問題に取り組み成果を挙げた．

* 正員，大阪大学大学院基礎工学研究科（〒560-8531豊中市待兼山町1-3）

研究奨励

(10) 補助人工心臓用メカニカルシールのしゅう動面設計の研究

神田 航希*
(1987年生)

体内埋込型補助人工心臓内部の潤滑および血液の密封を担うメカニカルシールは機器の高機能化と信頼性の鍵を握る．本研究では，新規に設計試作した実機を模した試験機により摩擦に伴うメカニカルシール表面へのタンパク質膜の形成過程ならびに摩擦に及ぼす影響を明らかにしている．さらに低摩擦と密封性を両立するためのメカニカルシール界面におけるタンパク質吸着膜の存在を明示し，それを自己形成させるための初期表面の導入により血液中における摩擦係数を2桁低下させ得ることを実証している．これらの成果は，従来たんぱく膜の吸着に起因した摩擦の問題が指摘される人工臓器の高機能化と信頼性向上技術の発展に寄与するものと期待される．

* 正員，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6-6-01）

研究奨励

(11) 微細表面テクスチャを有する高機能切削工具の開発に関する研究

杉原 達哉*
(1985年生)

近年，切削加工の分野においては，加工の高速化やドライ化，被削材の難削化などへの対応が求められているが，いずれの加工も工具に著しい熱的・機械的負荷が加わることが課題となっている．本研究ではこの問題を解決するために，切削工具表面は可能な限り平滑にするべきであるという従来知見とは全く逆に，工具表面に微細な三次元周期構造（表面テクスチャ）を有する切削工具を提案・開発し，その優れた潤滑性・耐摩耗性・耐凝着性を明らかにした．さらに，開発工具の機能発現メカニズムを明らかにすることで，工具-被削材間の摩擦・摩耗・潤滑といったトライボロジー的挙動の理解に貢献している．

* 正員，大阪大学 大学院工学研究科（〒565-0871 吹田市山田丘2-1）

研究奨励

(12) 高配向カーボンナノチューブ膜の機械材料としての基礎と応用に関する研究

月山 陽介*
(1982年生)

高配向カーボンナノチューブ膜はカーボンナノチューブ（CNT）が高密度に配向した材料であり，その構造とCNTの卓越した機械的特性および熱伝導率は，新規摩擦材や電子部品の冷却（TIMなど）への応用が期待される．固体の接触では微視的な塑性変形がほぼ不可避であるが，本材料は直径５nmの先端を有する個々のCNTがたわむように変形し耐摩耗性に優れた摩擦材料として期待できる．同様にCNTのたわむ性質を利用して，固体接触間の粗さに起因する空隙を効率的に埋めることができると期待される．本研究では，このような高配向CNT膜の機械的性質を実験的に明らかにし，その設計指針を提案した．

* 正員，新潟大学自然科学系（工学部）（〒950-2181 新潟市西区五十嵐2の町8050）

研究奨励

(13) 手術支援ロボットシステムの研究

堀瀬 友貴*
(1988年生)

外科治療は年々進化しているが，手術手技についてはまだ課題が残っている．本研究では，これまでに単孔式内視鏡手術と脳外科手術を対象とした手術支援ロボットシステムを開発してきた．単孔式内視鏡手術は，ひとつの孔で手術が行なえ整容的である一方，操作が難しく医師の負担が大きい．そこで，仮想的に孔の数を増やす“仮想孔の概念”を導入したロボットを開発し，操作性を改善した．脳外科手術では，繊細な操作のため光学式顕微鏡を用いているが，顕微鏡の移動には外科操作を中断する必要がある．そこで，ビデオ顕微鏡をロボット化し，医師が把持する手術器具によって顕微鏡位置を制御し，外科操作に集中しながら術野を変更できるシステムを開発した．

* 正員，東京女子医科大学先端生命医科学研究所（〒162-8666 東京都新宿区河田町8-1）

研究奨励

(14) 流れ場のトポロジー最適化における高速解法の研究

米倉 一男*
(1985年生)

トポロジー最適化は，構造物の最適化手法の中でも形状変更の自由度が高いことが特徴であり，近年，機械設計分野で広く使われるようになった．しかし，流れ場のトポロジー最適化を行う場合，従来手法では流れ場の形を更新する度にCFD解析を行う必要があるため，大規模な流れ場では計算時間が膨大になるという課題があった．そこで，本研究では形状変更と流れ場の収束計算を同時に行う高速解法を提案した．本手法により，従来手法の数十倍の速度で同様の結果を得ることができた．これにより，トポロジー最適化を大規模な流れ場の問題に適用する可能性を拓いた．

* 正員，㈱IHI （〒235-8501 横浜市磯子区新中原町１）

研究奨励

(15) 脳動脈瘤コイル塞栓術の患者別診断・治療支援にむけた計算力学フレームワークの構築の研究

大谷 智仁*
(1987年生)

脳動脈瘤の成長・破裂を防ぐ治療法であるコイル塞栓術について，その診断・治療支援にむけた計算力学フレームワークを構築した．コイルが瘤内血流に与える巨視的な流体抵抗の表現や，瘤内へ留置後のコイルの分布形状を表現する数理モデルを構築し，これらをそれぞれ用いた数値流体計算により，コイル塞栓術による瘤内血流動態の変化を明らかにした．さらに，患者個別に最適なコイルの物性や挿入手順の決定支援にむけ，瘤内でのコイルの大変形や多点接触を考慮したコイル挿入の計算力学シミュレータを構築した．以上より，患者ごとに最適なコイルの充填率や分布形状，さらにその挿入手順の決定支援にむけた診断・治療用フレームワークを確立した．

* 正員，大阪大学大学院基礎工学研究科（〒560-8531 豊中市待兼山町1-3）

研究奨励

(16) 数値流体・電磁場解析による宇宙機の再突入ブラックアウト予測の研究

高橋 裕介*
(1983年生)

惑星大気再突入時において，宇宙機が高温プラズマに包まれ，地上局・データ中継衛星との通信途絶（通信ブラックアウト）に陥ることは従来からの問題であった．しかし，再突入プラズマに包まれた機体近傍の電磁波挙動は必ずしも明らかではなく，ブラックアウト低減に繋がる知見の獲得は簡単ではない．著者は数値流体・電磁場解析による予測ツールを構築し，大型計算機での大規模連成シミュレーションを高速・高精度で実現した．これによって宇宙機近傍のプラズマ流・電磁波伝播挙動の詳細が明らかになった．本研究は，再突入時における宇宙機の通信可能性や通信時間・通信視野角の定量的評価，ブラックアウト低減化研究へ展開される．

* 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丁目）

研究奨励

(17) トンボの飛翔と翅構造を規範としたバイオミメティクス技術に関する研究

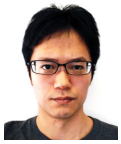
中　尚義*
(1991年生)

飛翔昆虫の一種であるトンボは，生物の中でも極めて優れた飛翔能力を有する．そうしたトンボの特性を応用することで，様々な環境下で活動可能な超小型飛翔体（Micro Air Vehicle）の開発が期待できる．本研究ではトンボの羽ばたき運動と翅の特性に着目し，その性能についてトンボと同サイズのシミュレータ・ロボットを用いた実験と数値解析の両面で検証している．これにより，羽ばたき運動のパラメータについて直線飛翔や離陸など目的に応じて適した値があることを示した．また，従来その効果が明らかでなかったトンボの翅に特有の結節構造が飛翔時の翅の変形に影響し，飛翔効率の向上に寄与していることを明らかにした．

* 正員，東海大学大学院総合理工学研究科　(現) テネコジャパン株式会社（〒231-0062 横浜市中区桜木町1-1-8）

研究奨励

(18) カプセル懸濁液および血液の大規模レオロジー解析の研究



松永 大樹*
(1988年生)

カプセルとは膜内に流体を保持する微小粒子の総称であり，この粒子が分散した流体をカプセル懸濁液と呼ぶ．血球細胞や高分子で皮膜された薬剤等がこれらカプセルの代表例であり，その流動やレオロジーの理解は医用工学・ソフトコロイド化学にとって重要な課題である．これまで実験・理論の先行研究によりカプセル数体の変形挙動について報告されてきたがカプセルを多数含む懸濁液のバルクの性質は未解明であった．この研究では第一に並列処理・計算機工学の技術を用い，これまで困難であった高精度かつ大規模な流体構造連成解析を実現した．また第二にその計算基盤を活かしてカプセル濃厚懸濁液のレオロジー特性やカプセル変形挙動を解明した．

* 正員，オックスフォード大学ルドルフ・パイエルス理論物理学研究所（1 Keble road, Oxford, OX13NP, UK）

技術奨励

(1) ケミカルヒートポンプ車載化に向けたシステム小型化技術の開発

岩田　隆一*
(1983年生)

化学蓄熱材や吸着材を利用した蓄熱/冷熱生成技術は，廃熱有効利用のための有望な手段であるが，蓄熱・出力密度が課題である．そこで，180℃前後の廃熱利用に適したアンモニアを作動媒体とする蓄熱システムについて，容量法に基づく蒸気輸送量評価装置により，蓄熱材の反応速度計測を行った．その結果を基に反応を伴う輸送現象のモデリングを行い，システム性能予測を可能にした．また，水を媒体とする吸着式ヒートポンプについて，大気圧の10分の１以下の圧力下でも高い熱交換性能を示す伝熱面液保持型蒸発凝縮器を提案した．本取り組みにより，廃熱利用システムの設計基盤技術を構築し，車載検討が可能な水準の出力密度を実現した．

* 正員，㈱豊田中央研究所（〒480-1192 長久手市横道41-1）

技術奨励

(2) 二次電池製造技術と製造設備の開発

岡本 浩典*
(1982年生)

密閉型二次電池における電解液注液口の封止工程では，弾性体を用いて注液口を仮封止した後，金属製の封止板を溶接して封止する方法や，弾性体付き封止板を溶接して封止する方法が一般に用いられている．これらの方法では，弾性体の存在が，リークテストによる封止板の溶接不良検出を困難にしている．そこで，電解液を注入した電池セルを真空チャンバ内で減圧し，減圧環境下において封止板を注液口の上に載せ，レーザを照射して封止板を溶接する技術，およびその技術を用いた製造設備を開発した．本技術の開発によって，弾性体封止材を用いずに密閉型二次電池を製造することが可能となり，製品品質と信頼性の大幅な向上に貢献できた．

* 正員，東芝インフラシステムズ㈱（〒183-8511 府中市東芝町1番地）

技術奨励

(3) ガス遮断器熱ガス流の三次元非定常解析手法の開発

小川　慧*
(1982年生)

ガス遮断器は50万Vの電力系統等に設置されるスイッチである．電流遮断時は電極を 20ミリ秒で切り離すが，電極間に電流 63kAで数千Kを超える高温のアーク放電が生じるので，それを電気絶縁性の高いガスで吹き消す．本開発では，遮断動作時のガス物性値の変化，三次元乱流流れ，吹付ノズルの蒸発現象，電極の移動等に対し，乱流モデル，移動格子法，放射係数モデルを含み包括的に取扱えるようにした．これにより，従来手法では予測できない圧力変化状況等が実用的な範囲で予測可能となり，新規格対応製品の開発時に本手法を適用することで吹付ガス量低減，小型低駆動力化に貢献した．製品は国内電力会社に採用され主要な幹線変電所で運用されている．

* 正員，㈱東芝（〒210-0862 川崎市川崎区浮島町2番1号）

技術奨励

(4) 建設機械の乗り心地評価・事前検討手法の開発

神田　佳*
(1982年生)

油圧ショベルの乗り心地を，簡単なアンケート形式の試乗評価と，加速度合成値を相関させることで，数値評価を可能にするとともに，数値解析による事前検討技術を確立した．本乗り心地評価技術は，測定値の加工は人体感度補正の適用と，合成値算出など最小限であるため，試乗評価結果を周波数解析，振動モードといった視点で分析可能である．また，実測値より同定した加振力や車体強制変位，車体構造物の有限要素モデル，エンジンマントやキャブマウントなどのサプライヤ提出値を用いた疑似非線形解析技術，伝達経路解析技術など，実験解析を組み合わせた，車体アセンブリのハイブリット振動解析技術を構築し，事前検討を可能とした．

* 正員，日立建機㈱（〒300-0013 土浦市神立町650番地）

技術奨励

(5) 分散型汎用アクティブ制振用ネットワーク型制御システムの開発

三枝 高志*
(1983年生)

産業機械製品では，位置決め性能低下や騒音の要因となる振動を低減させる制振技術が重要である．このニーズに応える技術として，多様な振動を制振しながら既存装置にアドオンできる分散型汎用アクティブ制振技術の基本原理を考案した．本技術は，小型化した複数のセンサ，アクチュエータを用い，装置サイズに応じて適用数を変更し任意の位置に分散設置可能とすることで大小様々な既存装置へアドオン搭載できる．さらに，本手法の実装技術として分散化の際に課題となるモジュール間の通信遅延を最小化する制御用リアルタイムネットワーク技術を開発した．開発した技術を実システムで評価し，本手法で有意な制振効果が得られることを示した．

* 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）

技術奨励

(6) リアルタイム熱変位補正技術の開発

桜井 康匡*
(1983年生)

工作機械において，室温変化や構造体の複雑形状に起因する熱変位は加工精度悪化の主な要因の一つである．熱変位を補正するには，工作機械のCNC上でリアルタイムに計算可能かつ高精度な熱変位推定手法が求められる．そこで，開発した技術では，工作機械構造体の有限要素モデルを用いることで形状や剛性の情報を維持しながら，少数の温度測定点から高精度な熱変位推定を可能にした．さらに，工作機械のCNCのような少ない計算リソースでも，リアルタイムに演算可能な計算ロジックを開発し，マシニングセンタに搭載した．これにより，熱変位による加工誤差を大幅に低減した．本技術により，生産性の向上や空調の使用軽減による省エネ化が期待される．

* 正員，㈱ジェイテクト（〒448-8652 刈谷市朝日町1-1）

技術奨励

(7) 油圧回路の不安定振動の解析と安定設計の開発

山藤 勝彦＊
(1983年生)

輸送機器における油圧システムは，環境問題の要求から小型化，衝突安全性の要求から軽量化が求められ，下流の圧力を上流の小さな圧力弁で制御する構成が広く使用されている．しかしこのシステムは，圧力弁増幅器として用いるためゲインが大きく不安定になり易く，製品とする上でハードの変更や制御・適合の変更を繰り返している．

そこで，圧力弁単体ではなく圧力弁が油圧システムに与える動的特性を解析し，この不安定メカニズムを解明した．さらに，従来の線形近似による解析ではなく，非線形フィードバック系によるモデル解析により理論的な安定設計法を構築した．本設計手法により，自動車用トランスミッションの製品品質が向上した．

＊ 正員，日産自動車㈱（〒243-0192 厚木市岡津古久560-2）

技術奨励

(8) 摩擦力を活用した電動パワーステアリングの操舵終端衝撃力低減技術の開発

白石 岳人＊
(1984年生)

可動域終端に達した装置を衝撃無く停止させることは，可動部を有するシステム全般の課題である．

電動パワーステアリング(EPS)は，ハンドルを終端に突き当てた際にモータ慣性による衝撃力が発生する為，高強度化が必要となって大型化すると共に操舵感の低下を招いていた．

本開発ではEPSの可動域終端に設けられた緩衝ブッシュに着目し，従来からのばね力に加えて摩擦力を活用するという新たな着想により，シンプルな構造かつ従来同等寸法で衝撃力を大幅に低減するブッシュを考案・開発した．これによりEPSの大幅な小型化と操舵感向上を可能にした．また本技術は他システムへの応用が可能であり，これらの小型化と性能向上が期待される．

＊ 正員，㈱本田技術研究所（〒321-3393 芳賀郡芳賀町下高根沢4630）

技術奨励

(9) 完全予混合型表面燃焼バーナを搭載した潜熱回収貫流ボイラの開発

鈴木 卓哉＊
(1983年生)

近年の省エネルギー化の流れから小型貫流ボイラにおいても高効率化が求められている．本開発では，従来の小型貫流ボイラに使用されているバーナよりも大きいターンダウン比10：1をもった完全予混合表面燃焼バーナを比例燃焼方式で制御し，インバータを使用することにより低燃焼から高燃焼までの広いターンダウン幅で各種運転条件に応じて適正な空気比で燃焼させる制御を確立した．また，排熱回収部には排ガスの潜熱まで回収する高性能熱交換器を採用することで，従来の小型貫流ボイラよりも高い運転効率を実現した．これにより従来機に比べて，より大きな負荷変動に追従出来，運転効率も格段に高めることが可能となった．

＊ 正員，㈱ヒラカワ 滋賀事業所 開発室 開発グループ（〒520-2323 野洲市三上2308番地）

技術奨励

(10) 複数場所の温度情報に基づく電子機器の冷却性能診断技術の開発

鈴木 智之＊
(1985年生)

産業用電子機器は様々な使用環境，使用方法が想定され，個々の使用状況に応じて的確に保守する必要がある．特に，冷却部品（ファンやヒートシンク）は，ホコリの蓄積等によって性能が大きく低下する．しかし，従来は冷却部品個々の性能を高精度に監視，異常判定する実用的な技術がなかった．本技術では，冷却性能の低下が温度に与える影響度合いが機器内部の場所ごとに異なる点に着目し，各冷却部品の性能を，温度の多変数関数で表す冷却性能診断技術を開発した．これにより，冷却性能低下の検出だけではなく，その原因を精度良く特定できるため，状況に応じた的確なメンテナンスの実現に期待がもてる．

＊ 正員，㈱東芝（〒212-8582 川崎市幸区小向東芝町1）

技術奨励

(11) コンクリート打音検査システムの開発

高橋 悠輔＊
(1989年生)

打音法を利用したコンクリート検査システムとして，３つの新規技術を有する打叩ロボットを開発した．１つ目は，点検員の腕の動きを再現した機構により，人の打音に近い音を発生可能としたことである．２つ目は，重力に応じて機構の回転軸位置を移動させ，一定の打叩エネルギーで点検可能としたことである．３つ目は，点検員の打音を機械学習し，高精度な自動変状識別を可能としたことである．本技術によって点検作業の自動化や人件費の削減，危険作業・苦渋作業の軽減ができることに加え，今までに得た知識や経験を利用した点検や，多量の学習データを使用した高精度な自動変状識別，打音解析による点検技能の伝承が可能となる．

＊ 正員，東急建設㈱ 技術研究所 メカトログループ（〒252-0244 相模原市中央区田名3062-1）

技術奨励

(12) スクロール圧縮機のスラスト・スライド軸受のEHL解析技術の開発

辻 琢磨＊
(1986年生)

主に空調機に利用されるスクロール圧縮機は旋回スクロールと固定スクロールと呼ばれる渦巻状の部品を用いて冷媒を圧縮する機械である．この旋回スクロールを安定支持するためにスラスト・スライド軸受が用いられており，圧縮室内外圧力差による大荷重が作用している．本研究では，このスラスト･スライド軸受を単純な円筒モデルとして取り扱い，軸受がマクロ的に弾性変形していることを実験的に突き止め，さらに，弾性変形によって生じたポケットに潤滑油が閉じ込められることによって良好な潤滑状態を形成していることをEHL解析より明らかにし，軸受の弾性変形が軸受特性に及ぼす影響を明らかにした．

＊ 正員，㈱前川製作所技術研究所（〒302-0118 守谷市立沢2000）

技術奨励

(13) ロケットダイナミクスに対応した慣性航法と衛星測位による複合航法アルゴリズムの開発

中山　聡*
(1983年生)

ロケットの飛行安全システムはリアルタイムに位置・速度を計測する必要があり，従来は複数の地上レーダ局による追尾を用いていた．しかし，地上レーダ局の維持・運用コストの低減が求められており，新たな計測機器として航法センサRINA（Radio and Inertial Navigation sensor）を開発した．RINAは低価格IMU（Inertial Measurement Unit）と衛星測位を用い，ロケットダイナミクスに対応した複合アルゴリズムを搭載している．これにより，ミッション開始から終了までRINAによる位置・速度計測を行うことで，地上レーダ局を不要とし，飛行安全システムの低コスト化を実現した．

* 正員，三菱プレシジョン㈱ 宇宙電子機器課（〒247-8505 鎌倉市上町屋345）

技術奨励

(14) 斜流ポンプ不安定特性の現象解明に関するLES解析技術の開発

萩谷　功*
(1982年生)

斜流ポンプでは高信頼性が求められ，流量－揚程曲線が低流量域で右上がりとなる不安定特性を回避して設計する必要があり，長年研究されてきた．加えて近年は高効率化と運転範囲拡大が求められ，不安定特性回避の難易度が増しており，現象の詳細把握が必要である．本開発では，非定常性と三次元性が強い低流量域での内部流れを高精度に解析できるLES（Large Eddy Simulation）を，不安定特性を有する供試斜流ポンプに適用した．その結果，不安定特性発生時に揚程低下を引き起こす部位を特定し，さらに失速域が動翼翼間を遅い速度で伝播しつつ発達する現象を明らかにし，不安定特性の発生原因を把握できることを実証した．

* 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

(15) 道路シールドトンネルにおける避難施設の開発

箱﨑 隆徳*
(1988年生)

首都高速道路㈱では横浜地区の交通利便性等向上に向け，2017.3開通を目標とし高速神奈川7号横浜北線（8.2km）の建設を行ってきた．この路線の大半はシールドトンネルであり，延長約6kmの長大トンネルで計画されていたため，防災安全に配慮した計画が求められた．本件では火災時の安全な避難計画にあたって，交通弱者を含めた利用者及び救助者である消防隊の行動等を考慮し，安全空間構築（道路空間下の気圧制御による火災時の煙侵入を防止するシステム）と同安全空間へ安全かつ速やかに避難できる施設（跳上げ式扉・滑り台式非常口）を組み合わせ安全性の高い避難施設の開発を行った．

* 正員，首都高速道路㈱（〒100-8930 東京都千代田区霞が関1-4-1）

技術奨励

(16) 2つのA/Fセンサを用いた新排気システムの開発

林下　剛*
(1983年生)

地球環境保護や規制強化対応としてガソリンエンジンの更なるエミッション低減が必要であり，三元触媒の上下流に空燃比センサを配置して三元触媒の浄化効率を画期的に向上する技術開発を行った．従来は触媒下流に起電力式の酸素センサを用いていたが，酸素センサは触媒が高浄化となるストイキ近傍で出力にヒステリシスを持つため，ヒステリシスのない空燃比センサが触媒制御に有効である事を解明した．更に触媒下流に空燃比センサを用いて触媒状態を高精度に推定し，従来のシステムでは難しかった触媒からエミッションが排出する前にエンジンの空燃比を補正するロジックを構築した．以上によりエミッションを大幅に低減する新技術を確立した．

* 正員，トヨタ自動車㈱（〒471-8572 豊田市トヨタ町1番地）

技術奨励

(17) パワー半導体用セラミックス基板の熱反り変形予測技術の開発

春別府 佑*
(1984年生)

鉄道車両や電気自動車，発電システム等の電力制御を担うパワー半導体装置では，小型化等のために放熱性能向上が求められている．そのため，パワー半導体装置のセラミックス基板では，半導体の発熱を熱伝導率の高い銅配線で拡散させることを目的に銅配線の厚板化の開発が進んでいる．銅配線の高剛性化により接合プロセス時の反りが増大するため，熱反り変形量の把握が課題となる．本開発では厚板銅配線基板の熱変形を評価し，熱反り現象が従来の知見と異なることを見出した．この現象が塑性変形による部材間の剛性バランスの変化に起因することを解明して，変形予測技術を開発した．開発技術は厚板銅配線基板製品に適用され，高信頼化に貢献した．

* 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

(18) エンジンシステム過渡性能予測を実現する高速・高精度燃焼シミュレーション技術の開発

平岡 賢二*
(1982年生)

自動車に代表されるように，エンジンは回転数や負荷が都度変化する過渡条件で運転される．実運転条件での燃料消費率や排ガスを低減するためには，その時々の状態に応じた最適な燃焼･過給制御が必要であり，エンジンと過給機の挙動を高速で予測できるシミュレーションが求められる．そこで本研究では，ディーゼルエンジンやガスエンジンの燃焼を高精度かつ数秒で予測する現象論的燃焼モデルを構築した．さらにエンジンサイクルシミュレーションとの連成手法も構築し，エンジン過渡性能を予測可能とした．これにより，コンピュータ上でエンジン燃焼・過給制御を最適化できるようになり，エンジンのさらなる高効率化・低排ガス化に貢献できる．

* 正員，三菱重工業㈱（〒851-0392 長崎市深堀町5丁目717-1）

技術奨励

(19) 紙幣処理機向け高速ベルトレス・フライング搬送技術の開発

藤原 弘章*
(1986年生)

紙幣処理機は，紙幣を１枚ずつ高速連続搬送し，鑑査部で種類，真贋，汚損度を判定，再流通可能な紙幣とそれ以外を仕分ける装置である．紙幣の搬送にはベルト挟持方式が採用されているが，鑑査部での画像取得においてベルト部分が不可視領域となる課題があった．そこで，ベルトで挟持せずに紙幣を搬送するベルトレス・フライング搬送方式を考案．搬送中の紙幣のばたつき挙動（上下方向の変位）を計測，統計的に分析することで搬送機構の最適構成を見出し，紙幣の全面検出と搬送安定性を両立させた．更に，実稼働の想定を超えるマージン試験を実施して実用レベルの信頼性能を確保，難易度が高い高速機（搬送速度7.5m/s）への適用に至った．

* 正員，㈱東芝（〒105-8001 東京都港区芝浦1-1-1）

技術奨励

(20) ダイヤモンドライクカーボンベーンを用いた冷凍空調用コンプレッサ摺動部の耐摩耗性の向上技術の開発

森　義憲*
(1985年生)

冷凍空調機器の省エネ性能向上には，冷媒を圧縮するコンプレッサの摩擦損失を低減するとともにその信頼性を担保することが重要である．特に，コンプレッサ圧縮機構の摺動部で発生する摩耗の低減が近年では信頼性における喫緊の課題となっている．この解決には摺動部での潤滑状態を明らかにし，最良な潤滑を実現する設計技術の確立が必要になる．そこで本技術は，コンプレッサ特有の摺動状態を模擬した摩擦摩耗試験による評価手法を構築し，ロータリーコンプレッサにおいて特に潤滑条件の厳しい摺動部材であるベーンにダイヤモンドライクカーボン膜をコーティングすることで摺動部の摩耗を著しく低減する最適設計条件を確立したものである．

* 正員，㈱東芝（〒212-8582 川崎市幸区小向東芝町1））

教　育

(1) 世界で通用する制御技術者を育む高専生向けキャンプ・コンテストの実施

上　　泰*1
(1978年生)
三谷 祐一朗*2
(1967年生)
佐藤　拓*3
(1978年生)

下尾 浩正*4
(1978年生)
佐竹 卓彦*5
(1969年生)

高専機構とオムロン㈱による共同教育事業として，全国の高専生を対象に，制御技術に加えて実社会で必須の社会人基礎力を育成するため，同社から，新人研修でも利用される最新のPLC（Programmable Logic Controller）を用いた教育用教材を長期にわたり貸与して頂き，主に以下の２つの教育事業を推進している．１つめは，学校対抗戦で行う「コンテスト」である．約２ヶ月間，発表会に向けて，各高専で課題に取り組むため，計画性や役割分担の能力が向上する．２つめは，全国の高専生を１箇所に集め，１週間泊り込んでPBL方式で取り組む「制御キャンプ」である．ここでは，初対面の高専生でチームを組むため，コミュニケーション能力や協調性が育まれる．なお，平成28年度は韓国の大学生も参加し，世界を相手に仕事をする場に非常に近い環境で，言葉や文化の違いを乗り越えて課題に取り組み，参加者は素晴らしい成長を遂げた．なお，両事業には参加者選抜用の制御課題を設け，所定のレベルに達しなければ本番には参加できないが，参加前はリレーの存在すら知らなかった学生が，最新の制御機器を驚くレベルで使いこなせるようになるほどの成長を遂げる．

*1 明石工業高等専門学校電気情報工学科（〒674-8501 明石市魚住町西岡679-3）
*2 正員，沼津工業高等専門学校機械工学科（〒410-8501 沼津市大岡3600）
*3 仙台高等専門学校総合工学科（〒981-1239 名取市愛島塩手字野田山48）
*4 佐世保工業高等専門学校電気電子工学科（〒857-1193 佐世保市沖新町１番１号）
*5 沖縄工業高等専門学校技術室（〒905-2192 名護市字辺野古905番地）

教　育

(2) オートマチックトランスミッションを通した産学連携による基礎と実践の教育プログラム～設計から試乗まで

田中 和博*1
(1952年生)
山口　健*2
(1965年生)

本プログラムでは，企業側講師が大学院学生に製品設計をさせる．しかも企業側で行われている設計プロセスに則って行われるため，実務経験のない学生達は学部時代に修得した要素技術（理論）を応用し，自分達グループの頭で考えて製品設計を行わなければならない．大学院生達には，自動車用自動変速機（オートマチックトランスミッション（以下，ATと略記））内の一部品であるトルクコンバータの性能向上を目指した設計（ステータ形状設計）を課題として与える．座学にてATの授業を受講したのち，分解実習を通じて，それぞれの部品の形状，役割等を理解する．設計段階では，学生一人一人がCAEあるいは，流体実験を駆使してステータの形状を決めていく．最終的には，様々な視点から学生自らが議論し，ベストであると考える形状を決め，そのステータがトルクコンバータ試作品に組込まれる．最終日には，車を2台用意し，学生デザインのATと従来のものとを乗り比べ，その変化あるいは，課題が達成されたかを体感してもらう．機械工学基礎をベースとした実践的な教育であり，現在の機械工学の教育に望まれている内容を実現した典型的な教育プログラムの一つである．

*1 フェロー，九州工業大学名誉教授（〒818-0036 筑紫野市光が丘1-5-14）
*2 正員，アイシン・エィ・ダブリュ㈱（〒444-1192 安城市藤井町高根10）