

日本機械学会賞(技術功績) 4件

(配列は受賞者の五十音順)

1	空気吹き石炭ガス化複合発電の開発および実用化への貢献	金子 祥三〔三菱日立パワーシステムズ(株)〕
2	レスキューロボットの研究開発	田所 諭〔東北大学〕
3	計算科学シミュレーション援用折紙工学の創設と産業への展開	萩原 一郎〔明治大学〕
4	自動車の燃費・運動性能と連成した空力特性の技術開発と実験流体技術の発展への貢献	前田 和宏〔トヨタ自動車(株)〕

日本機械学会賞(論文) 16件

分野 1:材料力学, 機械材料, 材料加工, 2:熱工学, 内燃機関, 動力エネルギーシステム, 3:流体工学, 流体機械, 4:機械力学, 計測, 自動制御, ロボティクス, メカトロニクス, 交通・物流, 5:設計, システム, 製造, 環境工学, 化学機械, システム安全, 6:計算力学, マイクロ・ナノ工学, 生体工学, 第1部から第5部までの分野に限定されないもの。

(配列は分野別代表者の五十音順)

1	1	1.8GPa 級超高強度フェールセーフボルトの耐遅れ破壊特性 日本機械学会論文集, 84 巻 860 号(2018 年 4 月),17-00493	木村 勇次〔物質・材料研究機構〕 井上 忠信〔物質・材料研究機構〕 中田 隆之〔(株)共和工業所〕 福田 又一〔(株)共和工業所〕
	2	Ni 基超合金 Alloy718 合金の疲労強度に及ぼす表面加工層の影響(第 2 報:結晶塑性有限要素法を用いた残留応力解放の検討) 日本機械学会論文集, 83 巻 846 号(2017 年 2 月),16-00264	蓮沼 将太〔東京大学〔現 青山学院大学〕〕 波田野 明日可〔東京大学〕 泉 聡志〔東京大学〕 酒井 信介〔東京大学〔現 横浜国立大学〕〕
	3	多結晶 Ni 基超合金の室温疲労き裂進展に及ぼす結晶粒の方位と粒界の影響 日本機械学会論文集, 84 巻 859 号(2018 年 3 月),17-00578	檜垣 真奈〔東京工業大学〔現 ファナック(株)〕〕 阪口 基己〔東京工業大学〕 松浪 賢史〔東京工業大学〕 金子 秀明〔三菱重工業(株)〕 唐戸 孝典〔三菱重工業(株)〕 鈴木 健太〔三菱重工業(株)〕 井上 裕嗣〔東京工業大学〕
2	4	離散化モデルを用いた HCCI エンジンの制御シミュレーション 日本機械学会論文集, 84 巻 860 号(2018 年 4 月),17-00325	林 卓哉〔東京大学〕 山崎 由大〔東京大学〕 金子 成彦〔東京大学〕 疋田 孝幸〔マツダ(株)〕 水野 沙織〔マツダ(株)〕 藤井 拓磨〔マツダ(株)〕
	5	Development of flow-accelerated corrosion prediction method (2) Modeling and validation with thinning rate profile data Mechanical Engineering Journal, 5 巻 1 号(2018 年 2 月),17-00415	米田 公俊〔電力中央研究所〕 藤原 和俊〔電力中央研究所〕 森田 良〔電力中央研究所〕 稲田 文夫〔電力中央研究所〕
3	6	温水キャビテーションにおける熱力学的効果の発現に関する実験的研究 日本機械学会論文集, 83 巻 845 号(2017 年 1 月),16-00377	伊賀 由佳〔東北大学〕 古澤 哲平〔東北大学〕
	7	ポート噴射エンジン用多孔スワールインジェクタによる噴霧の微粒化に関する研究 日本機械学会論文集, 81 巻 831 号(2015 年 11 月),15-00433	吉村 一樹〔(株)日立製作所〕 安川 義人〔(株)日立製作所〕 石井 英二〔(株)日立製作所〕 小林 信章〔日立オートモティブシステムズ(株)〕
4	8	飛行体のあらゆる姿勢に対する位置補償手法の考案と小型無人ヘリのフリップ飛行制御への適用 日本機械学会論文集, 83 巻 854 号(2017 年 10 月),17-00013	磯村 直道〔千葉大学〔現 川崎重工業(株)〕〕 藤原 大悟〔千葉大学〕
	9	音響的境界条件を考慮した燃焼振動発振周波数の検討 日本機械学会論文集, 84 巻 861 号(2018 年 5 月),17-00514	上道 茜〔東京大学〕 金築 一平〔東京大学〕 金子 成彦〔東京大学〕
	10	電磁比例弁内のスプールに作用するクーロン摩擦力に起因した不安定振動の解析と安定化させるための設計法 日本機械学会論文集, 83 巻 852 号(2017 年 8 月),16-00553	山藤 勝彦〔日産自動車(株)〕 山本 建〔東海大学〕 澤田 賢治〔電気通信大学〕

	11	モンテカルロ法を用いたドラム式洗濯乾燥機の脱水起動シミュレータ 日本機械学会論文集, 83 巻 856 号(2017 年 12 月),17-00140	上甲 康之〔(株)日立製作所〕 黒澤 真理〔(株)日立製作所〕 高橋 幸太郎〔日立アプライアンス(株)〕
5	12	フェノール樹脂複合材の摩耗特性に対する雰囲気効果(大気中水分効果の検証と摩擦分解ガス効果の提唱) 日本機械学会論文集, 82 巻 840 号(2016 年 8 月),16-00107	岡山 勝弥〔(株)アドヴィックス〕 岸本 裕也〔(株)アドヴィックス〕 平塚 健一〔千葉工業大学〕
	13	仮想的な物理モデルに基づく幾何学的制約付きトポロジー最適化(型成形及びフライス加工のための幾何学的制約法) 日本機械学会論文集, 83 巻 851 号(2017 年 7 月),17-00081	佐藤 勇氣〔京都大学〕 山田 崇恭〔京都大学〕 泉井 一浩〔京都大学〕 西脇 眞二〔京都大学〕
	14	切削加工のボクセルシミュレータを用いた工作機械の動的挙動と切削力の時間領域連成シミュレーション 日本機械学会論文集, 83 巻 856 号(2017 年 12 月),17-00254	野口 晋〔神戸大学〔現 ダイハツ工業(株)〕〕 西田 勇〔神戸大学〕 佐藤 隆太〔神戸大学〕 白瀬 敬一〔神戸大学〕
6	15	変形勾配の粘塑性・粘弾性乗算分解による熱可塑性樹脂のレオロジー的構成則 日本機械学会論文集, 82 巻 839 号(2016 年 7 月),16-00060	松原 成志朗〔東北大学〕 寺田 賢二郎〔東北大学〕
	16	Strain distribution in the anterior cruciate ligament in response to anterior drawer force to the knee Journal of Biomechanical Science and Engineering, 12 巻 1 号(2017 年 3 月),16-00582	山川 学志〔首都大学東京〕 Richard E. Debski〔ピッツバーグ大学〕 藤江 裕道〔首都大学東京〕

日本機械学会賞(技術) 7 件

(配列は代表者の五十音順)

1	量産型可変圧縮比エンジンの開発	木賀 新一〔日産自動車(株)〕 小島 周二〔日産自動車(株)〕 茂木 克也〔日産自動車(株)〕 松岡 一哉〔日産自動車(株)〕 高橋 英二〔日産自動車(株)〕
2	アクティブ操舵制御による衝突回避支援システムの開発	齊木 広太郎〔トヨタ自動車(株)〕 村野 隆彦〔トヨタ自動車(株)〕 八十嶋 恒和〔トヨタ自動車(株)〕 内田 尚秀〔トヨタ自動車(株)〕 西村 太貴〔トヨタ自動車(株)〕
3	アクティブ振動制御装置を搭載した射出成形機用取出口ポットの開発	白崎 篤司〔(株)ユーシン精機〕 渡辺 文武〔(株)ユーシン精機〕 浜畑 光晴〔(株)ユーシン精機〕 徳山 善之〔(株)ユーシン精機〕 小谷 高代〔(株)ユーシン精機〕
4	完全ティーチレス/知能ロボットコントローラの開発・商品化	滝野 一征〔(株)MUJIN〕 デアンコウ ロセン〔(株)MUJIN〕
5	微粒化技術を適用した都市ガス熱量調整設備	林 謙年〔JFEエンジニアリング(株)〕 鎌水 桂二〔JFEエンジニアリング(株)〕 伊藤 和男〔東邦ガス(株)〕 岩瀬 義和〔東邦ガス(株)〕
6	無人運転トラクタの開発	福永 智章〔(株)クボタ〕 松崎 優之〔(株)クボタ〕 須賀 博基〔(株)クボタ〕 山口 幸太郎〔(株)クボタ〕 堀 哲理〔(株)クボタ〕

7	高効率と低騒音を両立した換気扇用誘導モータの開発	吉桑 義雄〔三菱電機(株)〕 米谷 晴之〔三菱電機(株)〕 宮本 佳典〔三菱電機(株)〕 亀山 正樹〔三菱電機(株)〕 水谷 敏彦〔三菱電機(株)〕
---	--------------------------	--

日本機械学会奨励賞（研究） 20件

分野 1：材料力学、機械材料、材料加工、2：熱工学、内燃機関、動力エネルギーシステム、3：流体工学、流体機械、4：機械力学、計測、自動制御、ロボティクス、メカトロニクス、交通・物流、5：設計、システム、製造、環境工学、化学機械、システム安全、6：計算力学、マイクロ・ナノ工学、生体工学、第1部から第5部までの分野に限定されないもの。

（配列は分野別受賞者の五十音順）

1	1	超音波を用いた炭素繊維強化複合積層構造の層間界面特性評価の研究	石井 陽介〔豊橋技術科学大学〕
	2	カーボンナノチューブの機械的・熱的特性の評価と高出力熱アクチュエータの開発に関する研究	白須 圭一〔東北大学〕
	3	構造材料の微小領域でのひずみ分布の高精度計測法の研究	王 慶華〔産業技術総合研究所〕
2	4	シビアアクシデント時の原子炉格納容器内水素挙動の研究	安部 諭〔日本原子力研究開発機構〕
	5	ナノ粒子散乱性媒体によるふく射伝熱制御の研究	江目 宏樹〔山形大学〕
	6	高カルピッツ数乱流燃焼機構の解明とモデリングの研究	源 勇気〔東京工業大学〕
3	7	気泡流中における非線形波動理論の新展開の研究	金川 哲也〔筑波大学〕
	8	多孔体内外の乱流熱流動現象の解明とモデリングに関する研究	桑田 祐丞〔大阪府立大学〕
	9	円柱周流れにおける抵抗低減および渦放出抑制の研究	内藤 弘士〔東京工業大学〕
4	10	付加・除去複合加工のためのプロセスモニタリングシステムの研究	小池 綾〔慶應義塾大学〕
	11	ヘビ型ロボットによる複雑環境上での移動制御の研究	竹森 達也〔京都大学〕
	12	乗用車用タイヤの簡易3次元弾性リングモデル化の研究	松原 真己〔豊橋技術科学大学〕
	13	極限環境において駆動を実現するアクチュエータの研究	山口 大介〔埼玉大学〕
5	14	高抵抗電極を用いた放電加工の微細化の研究	小谷野 智広〔金沢大学〕
	15	転がり機械要素における非線形摩擦及び振動減衰性に関する研究	酒井 康徳〔東京電機大学〕
	16	CFRP部材加工時における金属表面に対する樹脂付着メカニズムの解明及び付着抑制手法の開発の研究	村島 基之〔名古屋大学〕
6	17	高性能な飛行ロボットの開発を目的とした飛翔昆虫の力学的デザインの研究	中田 敏是〔千葉大学〕
	18	がん外科手術のための低侵襲分子イメージングの研究	南川 丈夫〔徳島大学〕
	19	3次元組織と機械の融合による組織機能を利活用したバイオマシンの研究	森本 雄矢〔東京大学〕
	20	孔やき裂など局所フィーチャを有する大規模構造物の効率的有限要素法シミュレーションの研究	遊佐 泰紀〔東京理科大学〕

日本機械学会奨励賞（技術） 17件

（配列は受賞者の五十音順）

1	ロケット分離時の衝撃発生挙動の予測技術の開発	雨川 洋章〔(株)日立製作所〕
2	ミラー騒音解析に向けた wall-resolved LES の実車適用技術の開発	安部 慧〔(株)本田技術研究所〕
3	新しい流れコンセプトに基づいたアウトターミラー空力騒音低減の開発	伊藤 祐太〔トヨタ自動車(株)〕
4	人共存環境下において移動可能な安全性の高いロボティックモビリティの開発	今岡 紀章〔パナソニック(株)〕
5	対向流燃焼方式を適用したストーカ式焼却炉の開発	薄木 太一〔JFEエンジニアリング(株)〕
6	700°C級 A-USC 蒸気タービン用構造材料の長期信頼性評価手法の開発	生沼 駿〔東芝エネルギーシステムズ(株)〕
7	環境振動を利用した発電を最大化する電磁誘導型振動発電機の開発	大西 敦郎〔(株)東芝〕
8	改良沸騰水型原子力発電所の3次元有限要素法耐震解析のためのモデル化技術の開発	鬼塚 翔平〔日立GEニュークリア・エナジー(株)〕
9	医用CT画像処理と構造-流体解析に基づく低侵襲な冠動脈狭窄診断技術の開発	加納 明〔(株)東芝〕
10	貫流ファンのサージング抑制技術の開発	額賀 晴樹〔(株)日立製作所〕
11	ボイドメカニクスを考慮した高クロム銅溶接部のクリープ損傷力学評価法の開発	本田 尊士〔三菱重工業(株)〕
12	IoT化対応を実現する電力線電流センシングによる工作機械の稼働状態識別技術の開発	前田 真彰〔(株)日立製作所〕
13	鉄道車両の横風走行安定性の評価技術の開発	松居 亮稔〔(株)日立製作所〕
14	大型回転機械の振動予測精度向上技術の開発	見村 勇樹〔(株)東芝〕
15	軽水炉の信頼性向上に寄与する原子炉格納容器下部プレナムの熱流動評価の開発	吉田 和弘〔三菱重工業(株)〕
16	多目的進化的アルゴリズムによるガスタービン複合発電プラントの高速起動技術の開発	吉田 泰浩〔(株)日立製作所〕
17	鉄道向け水冷リチウムイオン電池モジュールの開発	和田 怜〔(株)東芝〕

日本機械学会教育賞 3件

(配列は代表者の五十音順)

1	ロボットミドルウェア ROS の普及への貢献	倉爪 亮〔九州大学〕 表 允哲〔ROBOTIS CO., LTD.〕 渡邊 裕太〔九州大学 大学院〕
2	新☆エネルギーコンテストによる持続可能なエネルギー利用に関する工学教育の推進	佐々木 直栄〔日本大学〕 大久保 英敏〔玉川大学〕 吉田 敬介〔九州大学〕 星 朗〔東北学院大学〕 田中 三郎〔日本大学〕
3	鉄道車両のダイナミクスに関わる基礎教育（講習会・セミナーの開催と書籍出版）活動	グループ名 鉄道車両のダイナミクスに関 わる基礎教育の活動 WG 代 表 者 吉田 秀久〔防衛大学校〕

日本機械学会優秀製品賞 1件

1	ハードスカイピング加工に特化した CNC 旋盤 SKV-8	高松機械工業（株）
---	-------------------------------	-----------

技術功績

(1) 空気吹き石炭ガス化複合発電の開発
及び実用化への貢献



金子 祥三*
(1943年生)

化石燃料のほとんどを輸入に頼る我が国では、火力発電の高効率化は輸入燃料の削減、温室効果ガス排出削減のためにも最重要課題である。世界最高の発電効率が得られる方法として、国はいち早く“空気吹き噴流層石炭ガス化複合発電”に着目し、世界最高の発電効率を目指して、1980年代初頭より、国家プロジェクトとして開発を進めて来た。

噴流層石炭ガス化は、石炭の微粒子を部分酸化し、ガス燃料としてガスタービンでの燃焼を可能とし、複合発電により高効率を実現するものであるが、多くの動力を消費する酸素の製造が不要で、大気中の空気がそのまま使える空気吹きは効率的に優位である。最大の課題は、高温による石炭中の灰の熔融と、ガスタービン燃料としての発熱量の確保という相矛盾する条件を同時満足する必要があり、その技術的困難性により世界で誰も成功していない技術であった。

技術開発の最大の山場であった200トン/日パイロットプラントにおいて、受賞者はガス化炉設計責任者として、数々の改良を重ねながら、多くのトラブルを解決し、789時間の連続運転に成功し、実用化の目的を付けた。これにより25万kW実証機の建設が決定した。受賞者は実施主体である電力10社が設立したクリーンコールパワー研究所の技術担当副社長として、設計・建設・運転を統括・指揮し、2008年以降、数々の良好な運転実績を上げ、同実証機は現在、常磐共同火力勿来10号機として商用運転されている。

これらの成果に基づき、福島復興石炭ガス化プロジェクトとして、54万kW機が2基、福島県に建設中であり、うち1基は2020年に運転を開始し、東京オリンピックに電力を供給する予定である。

石炭ガス化複合発電は、火力発電の中でも、多くの機器が総合的に協調して機能する複雑系のプラントであり、その設計、運転には高度な技術の蓄積が必要であるが、受賞者は基本計画から詳細設計に渡って、豊富な経験と判断力により、これらを実用機として完成するのに最大の貢献を果たした。

世界では未だ我が国以外に空気吹き石炭ガス化複合発電に成功した例はなく、そのため本技術は、現在、世界中から注目されており、受賞者は現在も自ら、ポーランドなどいろいろな国に国際的な技術支援を行っている。

* フェロー、三菱日立パワーシステムズ㈱エンジニアリング本部（〒220-8401 横浜市西区みなとみらい3-3-1）

技術功績

(2) レスキューロボットの研究開発



田所 諭*
(1960年生)

災害は世界における重大課題であり、ロボット技術により災害緊急対応能力を高め、消防等の隊員のリスクを低下させ、災害予防のためのインフラや産業施設の点検・改修の安全化を図り、コストを下げる必要がある。

受賞者は、1995年の阪神淡路大震災を契機としてレスキューロボットの研究開発をリードし、種々のロボットの研究開発に加え、オールジャパン体制の数十億円規模の2つの大型プロジェクトの代表責任者としての実施（2002～2006年文科省大都市大震災軽減化特別プロジェクト、2014～2018年内閣府ImPACTタフ・ロボティクス・チャレンジ）、NEDO等の国プロの実施、NPO法人国際レスキューシステム研究機構（IRS）の設立と全国の研究活動支援、国内外の学会での関連TCの設立、国際会議IEEE SSRの開始、ロボカップレスキュー設立と国際共同研究の実施、産業競争力懇談会（COCN）における災害ロボットの課題整理、種々の災害へのロボット適用を進めた。また、その技術をインフラ・プラント点検、屋外自動搬送車など、災害以外の民生分野へ波及させる研究開発を進めた。

上記活動の一部として共同で開発した「能動スコープカメラ」は、瓦礫内捜索用のヘビ型ロボットであり、分布型繊維振動駆動、空気噴射による浮上、ソフトボディにより、瓦礫内での高い調査性能を実現した。2016～2017年には福島第一原発1号機狭隘部の破壊状況調査に使用され、2008～2009年には、米国やドイツの建物倒壊事故へ適用された。また、地上走行ロボット「Quince」は、低重心全身クローラ機構、3次元マッピング機能、自動階段昇降機能などにより、高い閉鎖空間内の調査能力を実現した。Quinceは、福島第一原発の原子炉建屋で国産初のロボットとして2～5階の調査に使用され、冷温停止状態実現のために他の手段では取得困難な重要データを提供した。

ImPACTでは、研究室のメンバーと協力し、空気ジェット噴射によって能動スコープカメラの先端を浮上させる研究を行い、瓦礫面から離れた視点を確保するとともに、瓦礫の凹凸や障害物を乗り越える移動が初めて可能になった。さらには、これを水噴射に発展させ、空飛ぶ消火ホース「ドラゴン・ファイヤーファイター」を開発した。フィールド評価試験において、浮上力を制御して飛行し、実際に消火できることを、デモンストレーションにより示した。

* フェロー、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）

技術功績

(3) 計算科学シミュレーション援用折紙工学の
創設と産業への展開



萩原 一郎*
(1946年生)

業績は①折紙構造の工業化と②3次元折紙式プリンタの創出からなる。①有限要素法による大規模衝突解析技術をいち早く開発し、この解析技術を用いて自動車のエネルギー吸収構造が途中でオイルクーラー座屈が生じることなく確実に理想的なアコーディオン型圧潰モードを実現させる設計仕様の特許を取得し、その仕様は実際の車両に現在も使用されている。しかし、この自動車のエネルギー吸収材には、1) 自長の70%程度しか圧潰しない、2) 最初のピーク荷重が高い、の二つの課題がある。この解決に受賞者が注目した折紙構造は、所期通り、初期ピーク値は格段に減少し、自長の90%近く潰れた。この折紙構造の優れた衝突特性を利用して開発した世界最軽量安全折畳みヘルメットは好評裏に販売されている。自動車のエネルギー吸収材や落石防護柵のエネルギー吸収構造への適用検討もなされている。その他、四面体と八面体ハーフコアで空間充填した構造は優れた緩衝材兼輸送箱になることを示し市場で活用されるに至っている。②折紙の工業化のため、人手の操作をロボットに模倣させることを目指した関連研究は、さながらロボットのセンサとマニピュレータの複雑さの競演の様相を呈し袋小路に入った感がある。そこでこれまでの研究とは真逆の観点に立ち、ロボットは折り曲げと糊付け、持ち替え機能のみ有す程度の極力簡易にし、代りに折る対象となる二次元型紙を工夫するというコンセプトで検討を進めた。この型紙を作る従来の折紙設計は、全て人間が折る前提のものであり、ロボットで折らせることは困難であるため型紙に木構造を取り込みそれが開いたものであれば上述のロボットで可能となることを示した。特許登録した「実物を型紙から再現するシステム」からは、出来上がったものは同じでも無数に近い数の型紙が得られ、その中には必ず上記の木構造の条件を満たす型紙があることを示した。対象物の写真画像から開の木構造を有する2次元展開図を得、この展開図に対して上述の3基本動作の機能を有すロボットで自動的に構造を再構築する。これを折紙式プリンタと称した。このシステムを用いて、座った時、足を伸ばした時それぞれでビッターする「赤ちゃんオムツ」の製造にも貢献し、大々的に販売されるに至っている。以上、受賞者は折紙式プリンタを含む折紙工学という新しい分野の構築に貢献し、産業界における貢献の期待は益々大きなものがある。

* フェロー、明治大学研究・知財戦略機構（〒164-8525 中野区中野4-21-1）

技術功績

(4) 自動車の燃費・運動性能と連成した
空力特性の技術開発と
実験流体技術の発展への貢献



前田 和宏*
(1962年生)

受賞者は、自動車の燃費性能向上および高速走行時の安定性向上のため、車体まわりの流れコントロール技術、車体にかかる空気力影響（空力特性）の改善に取り組み、流体計測技術・流体制御技術の革新に一貫して務め、それらの技術を活用し、自動車の性能向上を実現した。それと共に、流れ原理説明からの新たな流れ制御や、そのための新計測技術の開発に積極的に取り組み、実験流体技術を発展させた。

自動車の空気抵抗低減においては、車体後部形状によって抵抗が急増する現象の解明が従来からの大きな課題であったが、空間流れ場の計測・流れの可視化の新技術を開発することで、現象の視覚的理解を可能とし、原因である後引き渦の流れの対応策を示した。そこで得られた渦構造の提示と制御手段は、まず考えるべき基本的流れ制御手段として車両の空気抵抗低減に広く適用され、近年の燃費性能向上に貢献した。

また、燃費性能への寄与が主であった自動車の流体工学の取り組みを、運動性能にも広げ、流れからの安定性向上に積極的に取り組んだ。特に、風洞で計測する定常空気力での技術開発に留まらず、空気力と運動との連成、非定常な流れ、流れの応答性まで開発内容を広げ、空気力を動的な現象として捉えたことは、それまでになかった先駆けた取り組みであり、自動車の流体工学を新しい領域に進歩させることとなった。その取り組みから開発した空力デバイスの1つであるタイヤ前整流デバイスは、現在の車両でほぼ全車に標準化され、車両の運動性能と燃費性能を共に大きく向上させた。同時に、その動的な流れ現象を捉えるため、実走行状態を再現できる風洞設備の技術開発、および空気力を動的に計測する技術（風洞での加振試験、変動風試験）も開発しており、走行試験でしか計測できなかった現象を風洞で再現することを可能とした。非常に画期的な技術であり、実験流体技術を大幅に進歩させた。

さらに学会活動を通じて、実験流体技術に対し積極的に取り組みを行い、その1つである国内各メーカーを集めた風洞間の相関試験においては、リーダーとして推進し、風洞測定値の実走行状態への補正方法を確立させた。これを契機にメーカー間の交流が活発化し、結果として自動車の流体工学の進歩を促した。

以上のように、自動車の空力特性の技術開発と実験流体技術の開発において、幅広い、先進的、独創的、積極的な取り組みは、その発展への大きな貢献が認められる。

* 正員、トヨタ自動車㈱ 先進車両技術開発部（〒471-8572 愛知県豊田市トヨタ町1番地）

論文

(1) 1.8GPa級超高強度フェールセーフボルトの耐遅れ破壊特性



木村 勇次*¹ (1968年生) 井上 忠信*¹ (1969年生) 中田 隆之*² (1975年生) 福田 又一*² (1948年生)

本論文は、部材の一部が破損・破壊しても所定の荷重以下であれば部材そのものは完全に破断しないというフェールセーフ機能を有する超微細繊維状結晶粒鋼の温間成形で量産試作した1.8GPa級超高強ボルトについて、その優れた耐遅れ破壊特性をボルト締結体の大気暴露実験で実証するとともにボルト部位ごとの超微細結晶粒組織と関連付けて検証したものである。

部材や部品の高強度化では製造工程や使用環境下で侵入する水素に起因した遅れ破壊の克服が大きな課題のひとつである。この遅れ破壊のため、建築分野では1.4GPa級超強力ボルトが1996年に実用化されるまでの約30年間、ボルトの引張強度は1GPa級で頭打ちであった。一方、著者らは、低合金鋼の温間加工で形成される超微細繊維状結晶粒組織が1.8GPaの超高強度でも耐水素脆化特性に優れることに着目し、ボルトへの温間鍛造成形法を開発した。JIS六角ボルトでは首下円筒部の断面積がねじ部有効断面積よりも大きいことに着目して圧造が困難な頭部を約700°Cで成形後、ねじ部を500°Cで温間鍛造成形した。これより、ボルト首下円筒部から頭部にかけて強度が傾斜的に低くなるもののボルト製品としては1.8GPaの引張強度を確保し、応力集中部となる首下アール部やねじ部には超微細結晶粒組織を適材適所に形成することに成功した。

本研究では、超高強度ボルト締結体の大気暴露実験を2013年5月21日から一般財団法人日本ウェザリングテストセンター宮古島試験場で開始した(継続中)。沖縄県宮古島市は国内でも厳しい腐食環境にあり遅れ破壊が起こりやすい。従来プロセスで作製した1.7GPa級ボルトでは、0.2%耐力の70%の目標締結軸力(=89kN)で1年以内に遅れ破壊が発生し、水素の関与を示唆する粒界割れが確認された。これに対し、開発した1.8GPa級ボルトでは0.2%耐力の85%の目標締結軸力(=122kN)でも遅れ破壊が発生していない。すなわち、遅れ破壊に対する優れた耐性が実証できた。また、ネジ部最弱部の応力集中を模擬した環状切欠き試験片の水素割れ感受性試験で求めた許容水素量と腐食促進試験で推定した最大水素侵入量の比較や、ボルト部位ごとで採取した試験片の水素脆化挙動からも開発ボルトは耐遅れ破壊特性に優れていることが裏付けられた。得られた成果は、ボルトに限らず、耐遅れ破壊特性に優れた超高強度部材や部品の設計・開発の方向性を示すもので、機械・構造物分野において大きな波及効果が期待できる。

* 掲載：日本機械学会論文集，84-860，(2018-4)，17-00493。

*¹ 正員，国立研究開発法人物質・材料研究機構(〒305-0047 つくば市千現1-2-1)

*² ㈱共和工業所(〒923-8620 小松市工業団地1-57)

論文

(2) Ni基超合金Alloy718合金の疲労強度に及ばず表面加工層の影響(第2報：結晶塑性有限要素法を用いた残留応力解放の検討)



蓮沼 将太*¹ (1987年生) 波田野 明日可*² (1984年生) 泉 聡志*² (1969年生) 酒井 信介*³ (1953年生)

材料に機械加工が施されると塑性予ひずみ、微視組織変化および残留応力などが生じる。これらのことを表面加工層という。このうち、Ni基超合金Alloy718の低サイクル疲労寿命は残留応力の影響を受けることが明らかになっている。一方で、降伏応力を大きく超える負荷荷重の場合、残留応力は解放されることも知られている。そのため、低サイクル疲労寿命に及ばず残留応力の影響を明らかにするためには、残留応力の解放挙動を解明することが重要である。しかし、負荷荷重が降伏応力とほぼ同程度の場合、残留応力解放挙動は複雑であり、解放挙動を理解することが難しい。例えば、結晶粒スケールでは変形に異方性があり、ひずみ分布は不均一となる。そのため、巨視的には弾性変形であったとしても結晶粒スケールでは降伏が生じ、局部的に残留応力が解放されている可能性がある。また、加工を施すと材料表面に塑性予ひずみや微視組織変化が生じる。塑性予ひずみや微視組織変化は降伏応力を増加させるため、残留応力が解放されにくくなると考えられる。以上のことから、残留応力の解放挙動を正確に理解するためには、結晶粒スケールでの変形異方性、加工による塑性予ひずみおよび微視組織変化を考慮することが重要である。そこで、本研究では、結晶粒スケールでの変形異方性、塑性予ひずみおよび微視組織変化を考慮することが可能な結晶塑性有限要素法を用いて表面加工層をモデル化した。そして、加工による塑性予ひずみや微視組織変化が局所的な残留応力解放に及ぼす影響を検討した。

解析を行った結果、塑性予ひずみや微視組織の違いによって残留応力の解放挙動が異なることが明らかとなった。塑性変形層(塑性予ひずみが生じている層)の場合、引張負荷時には圧縮残留応力は解放しにくい。一方、圧縮負荷時には解放されやすかった。そして、低サイクル疲労では応力が両振りになることが一般的であるため、塑性変形層の圧縮残留応力は特に解放されやすいと結論付けられた。一方、微細粒層(結晶粒が微細粒化しており、微視組織が変化している層)では、引張時および圧縮時ともに圧縮残留応力が解放されにくかった。以上のように、塑性変形層と微細粒層では残留応力の解放されやすさが異なっており、圧縮残留応力による長寿命化を期待する場合、微視組織変化も考慮する必要があることが明らかとなった。

* 掲載：日本機械学会論文集，83-846，(2017-2)，16-00264。

*¹ 正員，東京大学大学院工学系研究科(現)青山学院大学(〒252-5258 相模原市中央区淵野辺5-10-1)

*² 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)

*³ 名誉員，東京大学大学院工学系研究科(現)横浜国立大学(〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

論文

(3) 多結晶Ni基超合金の室温疲労き裂進展に及ぼす結晶粒の方位と粒界の影響



榎垣 真奈*1 (1994年生) 阪口 基己*2 (1980年生) 松浪 賢史*3 (1995年生) 金子 秀明*4 (1961年生)



唐戸 孝典*4 (1980年生) 鈴木 健太*4 (1990年生) 井上 裕嗣*5 (1962年生)

多結晶金属材料の疲労き裂進展は、発生したき裂が結晶粒2~3個程度に成長するまですべり面に沿ってせん断型で進展する第1段階と、その後荷軸に垂直に開口型 (Mode I) で進展する第2段階に分類される。Ni基超合金の多結晶材はその結晶粒径が0.5~数10mmと非常に大きく、寿命後半に至るまで結晶粒内での第1段階型のき裂進展が続き、き裂が進展する結晶粒の方位や結晶粒界の影響を強く受ける。この問題は、いわゆる微視組織的微小き裂の問題として1980年代からいくつかの研究がなされてきた。しかし、多結晶材におけるき裂進展挙動は、き裂先端が位置する結晶粒の方位、き裂長さとの結晶粒径の相対寸法、隣接する2つの結晶粒の方位差などの複数の因子が複雑に絡み合うため、実験的な理解はまだ途上にある。それぞれの因子の影響を個別に抽出するためには、き裂が進展する結晶粒の方位や粒径を任意に変化させた実験を行い、き裂進展プロセスを詳細に観察することが有効だと考えられる。

本論文では、Ni基超合金多結晶材の室温での疲労き裂進展を対象にし、結晶方位や結晶粒界などの結晶学的因子が与える影響を実験的に評価することを目的とした。具体的には、一方向凝固材MGA1400から、板厚方向に結晶粒界を含まない2次元多結晶試験片を切り出し、結晶粒の方位や結晶粒径が異なる9種の試験片に対して応力拡大係数範囲一定条件で疲労き裂進展試験を行った。その結果、結晶粒内での疲労き裂進展は結晶方位に依存してすべり面に沿ったせん断型と荷軸に垂直な開口型で進展すること、その進展速度は結晶方位に強く依存し、粒径に対するき裂の相対長さが小さくなるほど進展速度が大きくなることを体系的に明らかにした。また、試験片に含まれるすべての粒界近傍でのき裂進展挙動を詳細に分析し、粒界を挟んだ2粒での粒内き裂がせん断型からせん断型に遷移する場合には顕著なき裂の停滞が生じること、その停滞挙動には粒界の持つすべり変形の阻害効果よりき裂面の幾何学的不連続性が強く影響を与えることも明らかにした。

以上、本論文で得られた成果は、超合金の低温域での破壊挙動を精査した点でタービン高温材料の新しい設計指針にも繋がり工業的価値は高い。また、2次元多結晶材を用いてき裂と粒界の相互作用を可視化した成果は、結晶組織の影響が強く現れる発生初期の微小き裂進展の問題にも展開でき、学術的に大きな波及効果を持つと考えられる。

* 掲載：日本機械学会論文集，84-859，(2018-3)，17-00578。
*1 正員，東京工業大学工学院 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1) (現) ファナック(株)
*2 正員，東京工業大学工学院 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1)
*3 学生員，東京工業大学工学院 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1)
*4 正員，三菱重工業(株)総合研究所 (〒676-8686 高砂市荒井町新浜2-1-1)
*5 フェロー，東京工業大学工学院 (〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1)

論文

(4) 離散化モデルを用いたHCCIエンジンの制御シミュレーション



林 卓哉*1 (1991年生) 山崎 由大*2 (1974年生) 金子 成彦*3 (1954年生)



疋田 孝幸*4 (1981年生) 水野 沙織*4 (1986年生) 藤井 拓磨*5 (1989年生)

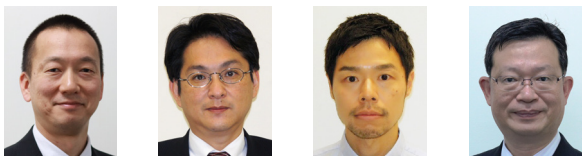
近年、自動車用動力源に電動化の波が押し寄せる中、新興国でのエンジン需要や、電動化の主力がハイブリッドシステムになるという予想があり、エンジンには今後も更なる高効率化、低公害化が求められる。高効率、低公害を実現できる新たな燃焼技術として、従来のガソリンエンジン同様に、燃料と空気を予め混ぜた予混合気を供給し、ピストン圧縮で着火、燃焼させるHCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) 燃焼が期待されている。これまで、その着火燃焼特性や化学反応メカニズムについて多くの研究が行われてきたが、様々な運転環境下で適切な着火、燃焼を実現するには、シリンダ内のガスの温度や組成といった状態量を、従来燃焼に比べてはるかに厳密に制御する必要がある。従来のエンジン制御は、膨大な実験に基づいて各アクチュエーターの指令値のルックアップテーブル (制御マップ) を構築し、それを参照する形で行っていた。しかし、HCCI燃焼で要求されるシリンダ内のガス状態量の制御では、路上のあらゆる場面を想定した実験により、解像度の高い制御マップを作成することが必要だが、現実的にこれは難しい。

本研究では、HCCI燃焼の実現に向け、従来の実験に基づく制御、制御系設計に替えて、モデルベースで制御系を構築し、その有効性をシミュレーションによって示した。まず、制御に利用できる計算負荷が軽く、かつ汎用性を高めるために一部統計モデルとしながらも可能な限り物理に基づく燃焼制御モデルを構築した。そのモデルは非線形特性を有し、モデルの構造上、制御器設計に直接利用することが難しいため、そのモデルを活用して非線形性を考慮したLPV (Linear Parameter Varying) モデルを再構築し、これをもとに逆系となるフィードフォワード制御器およびカルマンフィルタと最適制御理論に基づくフィードバック制御器を設計した。続いて、エンジン出力相当のIMEP (Indicated Mean Effective Pressure) と、HCCI燃焼で解決すべき課題の一つである燃焼騒音に相関の高い圧力上昇率の制御シミュレーションを行った。エンジンへの要求出力をステップ状に上昇させた場合、線形の制御系では発散したのに対し、本制御系ではノイズやモデル化誤差がある場合においても高い制御性能を実現した。

* 掲載：日本機械学会論文集，84-860，(2018-4)，17-00325
*1 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) (現) 三菱日立パワーシステムズ(株)
*2 正員，東京大学大学院工学系研究科
*3 フェロー，東京大学大学院工学系研究科 (現) 早稲田大学理工学術院国際理工学センター
*4 マツダ(株) (〒730-8670 広島県安芸郡府中町新地3-1)
*5 正員，マツダ(株)

論文

(5) Development of flow-accelerated corrosion prediction method (2) Modeling and validation with thinning rate profile data



米田 公俊*¹ (1970年生) 藤原 和俊*² (1969年生) 森田 良*³ (1976年生) 稲田 文夫*⁴ (1961年生)

原子力・火力等の発電プラントにおいては、運転時間の経過と共に配管の肉厚が徐々に減少する配管減肉現象が生ずることが知られている。日本機械学会では、主な減肉現象である流れ加速型腐食(Flow-Accelerated Corrosion: FAC)と液滴衝撃エロージョン(Liquid Droplet Impingement Erosion: LDI)を対象として、配管の肉厚検査結果から得られる減肉速度と余寿命の評価に基づく配管減肉管理に関する規格類が策定され、発電プラントにおいてはこの規格類に則った管理が行われている。筆者らは、配管減肉管理の更なる改善・最適化に向けて、減肉現象の各種因子(流動・水化学・材料)を考慮した減肉予測手法の開発と実用化を目的とした研究を遂行している。本報ではFACによる減肉速度に寄与する、流体による物質移動現象に対して、壁面近傍の局所的な平均流速と変動流速を複合した実効摩擦速度の概念を提案し、新たに減肉予測モデルに組み込んだ。前報にて取得した炭素鋼試験片のFAC減肉速度分布の実験データ(実験条件:温度50~150℃、常温pH7.0~9.4)に対して、予測モデルによる予測値は減肉分布傾向の特徴を捉えて定量的に良く一致した。更に予測モデルを実機原子力プラントから提供された炭素鋼配管の廢材エルボのサンプル9体(運転条件:温度40℃・常温pH7.0(5体) / 温度150℃・常温pH9.2(4体))の減肉分布データと比較した結果、実測値に対して保全管理の観点で概ね保守側に予測し、良い一致を示した。以上より、提案した実効摩擦速度の概念を組み込んだFAC予測モデルは、評価対象とした温度・pH条件の範囲において、実機発電プラントの配管部位におけるFAC減肉速度を、合理的な保守性をもって良い精度で予測できることを示した。本研究では今後、実機プラントの更なる大規模な実測データを用いた予測モデルや予測ソフトウェアの妥当性確認や検証を通じた予測精度の向上を行い、発電プラントにおける配管減肉管理への予測手法の導入を目指す。

* 掲載: Mechanical Engineering Journal, 5-1, (2018-2), 17-00415

*¹ 正員, (一財)電力中央研究所 企画グループ (〒100-8126 東京都千代田区大手町1-6-1)

*² 正員, (一財)電力中央研究所 材料科学研究所 (〒240-0196 横須賀市長坂2-6-1)

*³ 正員, (一財)電力中央研究所 原子力技術研究所 (〒240-0196 横須賀市長坂2-6-1)

*⁴ フェロー, (一財)電力中央研究所 原子力技術研究所

論文

(6) 温水キャビテーションにおける熱力学的効果の発現に関する実験的研究



伊賀 由佳*¹ (1975年生) 古澤 哲平*² (1991年生)

本論文は、キャビテーション流れにおいて主流温度を上昇させた際に発現すると考えられる、熱力学的効果(抑制効果)と寸法効果(促進効果)という相反する2つの効果の関係を、温水キャビテーション実験によって解明したものである。熱力学的効果は、キャビテーションの発生に伴い蒸発潜熱が奪われ、局所の温度低下に伴い飽和蒸気圧が低下することによって、蒸発が起こりにくくなるという効果であり、熱物性値の関係から主流温度が高いほど顕在化することが知られている。一方、寸法効果は、核(残留気泡や不純物、溶存気体、物体表面粗さ)の影響を受け、主流のレイノルズ数が高いほどキャビテーションが早く、大きく発生するという効果であり、主流温度の上昇に伴う粘性低下により、レイノルズ数が上昇し発現すると考えられる。本論文では、単独翼まわりの温水キャビテーション実験を行い、レイノルズ数一定条件下で主流温度を上昇させ、寸法効果のある程度取り除いた状況で熱的な影響を抽出することによって、これまで、熱力学的効果は存在しないとされてきた70℃の比較的低温の温水でも、熱力学的効果によるキャビテーションの抑制効果が潜在していることを明らかにした。また、熱力学的効果が顕在化しやすい流れ場の条件は、キャビテーション未発生状態における翼負圧面の境界層が付着乱流境界層となる迎角であることを示した。本論文の成果は、温水の他、熱力学的効果の影響が大きいことが知られている液体水素などの極低温流体を作動流体とする流体機械において、熱力学的効果を積極的に発現させキャビテーションによる性能低下を防ぐ設計へと、応用が期待できる。

* 掲載: 日本機械学会論文集, 83-845, (2017-1), 16-00377.

*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 東北大学大学院工学研究科機械機能創成専攻 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-01)

論文

(7) ポート噴射エンジン用多孔スワールインジェクタ
による噴霧の微粒化に関する研究



吉村 一樹*¹ (1984年生) 安川 義人*¹ (1978年生) 石井 英二*¹ (1967年生) 小林 信章*² (1965年生)

自動車用ガソリンエンジンの排気性能向上、燃費の改善に向けて、燃料を噴霧としてエンジン内へ供給する装置であるインジェクタの性能向上が求められている。吸気ポートにインジェクタを備えたポート噴射エンジンでは、燃料の吸気ポート壁面への付着がHC (hydrocarbon) 発生の要因となっており、燃料が壁面へ付着しないように噴霧形状を制御する必要がある。さらに、燃焼効率を向上させて燃料消費量を低減するために、燃料を微細な粒子とする(微粒化)ことで燃料と空気を混合しやすくする必要がある。そこで筆者らは、旋回流(スワール)を利用して噴孔出口に液膜を形成した後液滴へ分裂させることで微粒化を促進しつつ、燃料の噴孔を複数設けること(多孔化)で噴霧形状制御を可能とする多孔スワールインジェクタに着目した。

本研究では、スワールインジェクタの多孔化が噴霧粒径に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。まず、単孔および多孔インジェクタの噴霧の可視化と噴霧粒径測定により、多孔化に伴う噴霧干渉の影響について検討した。噴射圧が低いと多孔化によって粒径が粗大化し、噴射圧が高いと微粒化する。粒径が粗大化するのは噴孔出口近傍での液膜同士の干渉が原因であり、液滴同士の干渉は粒径への影響が小さいことが明らかとなった。次に、実験による測定が困難なインジェクタ先端のノズル内部流れ場に関して、volume of fluid法による気液二相流の数値解析を実施した。噴霧形状や粒径は噴孔から噴射される際の流れ場によって決まるため、特に噴孔出口面の流れ場に注目した。局所的な旋回速度が液膜形成に影響していること、また、多孔化すると噴射圧によらず液膜厚さが薄くなることを確認した。以上の結果から、多孔化により燃料が薄膜化され、かつ噴射圧が高いと噴霧が液滴同士で干渉しているために、結果として微粒化が促進されていることが分かった。さらに、上記の検討で得られた知見を用いて、噴霧の平均粒径を簡易に算出する手法を提案した。本手法はノズル内部流れの数値解析と、液膜分裂位置を考慮した平均粒径の予測式を組み合わせたものである。噴霧が液膜干渉しない場合において平均粒径の実験値と算出値は良く一致しており、本手法により平均粒径を精度良く算出することが可能であることを示した。

* 掲載：日本機械学会論文集，81-831，(2015-11)，15-00433。

*¹ 正員，(株)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 日立オートモティブシステムズ(株) (〒372-0023 伊勢崎市柏川町1671番地1)

論文

(8) 飛行体のあらゆる姿勢に対する位置補償手法の
考案と小型無人ヘリのフリップ飛行制御への適用



磯村 直道*¹ (1992年生) 藤原 大悟*² (1978年生)

本論文は、シングルロータヘリコプタの飛行制御について、機体姿勢やメインロータ推力ベクトルの反転を含む高機動飛行時に軌道追従を行う位置補償手法を提案するものである。

昨今、産業応用の取り組みが盛んな自律小型無人ヘリの中で、機体上部に大きな回転翼をもつシングルロータヘリは、ロータブレードのピッチ角を変えざるを得ない機構をもち、大きな姿勢・速度変化を伴う曲技のような高機動飛行が可能である。自動制御による高機動飛行は、飛行任務の迅速性向上や障害物に対する緊急衝突回避への応用により無人ヘリの有用性・安全性を押し上げる効果が期待される。一方、高機動飛行は力の釣り合いがとれない機体姿勢・メインロータ推力を伴い継続的に加速度を持つことで、一般的なホバリングや巡航飛行等のトリム(釣り合い)飛行とは運動が本質的に異なり、そのような飛行状態に対する運動制御は課題が多く、ヘリの運動はモデル化誤差が大きいこともあり、屋外実環境で飛行実証まで行った例はごく僅かである。

提案手法の基礎方針は、産業応用を見据えて学習的手法は避け、トリム飛行状態近傍を仮定し時間スケールの分離に基づいた従来の位置補償器を、トリム飛行に限らず適用できるものへ拡張することである。釣り合い点を加速度を有する参照軌道へ置き換え、参照軌道近傍で成立する力学的な関係に基づいて位置フィードバック系を構成した。推力の大きさに依存して機体の並進/回転運動の従属関係が連続的に変化することを踏まえ、参照軌道における推力値を用いて姿勢目標値を算出するアイデアにより、無推力状態に近づくにつれ姿勢が位置に対して独立することが陽に考慮された。途切れることのない継続的な位置補償を可能とした。また、位置補償器が要求する姿勢追従の速応性を得るための要となる縦・横の角速度制御器を、正面/背面飛行の両方に適用可能な線形モデルを用いた2自由度積分型最適サーボ系により設計した。提案する制御系は、姿勢回転と推力反転を伴う曲技飛行であるフリップ飛行の制御へ適用することとし、フリップの参照軌道は機体の能力限界を超えない軌道に調整しやすいようパラメータ化した式で求めた。

シミュレーションと飛行実験による検証の結果、トリム飛行状態から逸脱する姿勢回転中においても位置追従偏差を抑制する動作が確認され、提案手法の有効性が実証されるとともに、屋外実環境での飛行に耐えるロバスト性が確認された。

* 掲載：日本機械学会論文集，83-854，(2017-10)，17-00013。

*¹ 正員，千葉大学大学院工学研究科(現)川崎重工工業(株)航空宇宙システムカンパニー 技術本部 技術開発部 (〒504-8710 各務原市川崎町1番地)

*² 正員，千葉大学大学院工学研究院 (〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33)

論文

(9) 音響的境界条件を考慮した
燃焼振動発振周波数の検討



上道 茜*1 (1987年生) 金築 一平*2 (1992年生) 金子 成彦*3 (1954年生)

近年、二酸化炭素排出量の低減が期待できる水素混焼（従来化石燃料と水素の混合燃料による燃焼方式）ガスタービン燃焼器の開発が進められている。しかしながら、水素混焼の場合における燃焼振動については十分な検討が行われているとはいえない。燃焼振動は、燃焼器や管路系の音響特性と燃焼系の相互作用が原因となって生じる自励的な気柱振動現象であり、強い圧力脈動を伴うため、発振周波数の把握は重要である。

筆者らは、水素混焼ガスタービン燃焼器を想定し、燃料に含まれる水素が燃焼振動に及ぼす影響を把握するために実験を行った。その結果、水素混焼の場合、都市ガス専焼（都市ガスのみの燃焼）の場合とは異なる発振周波数の発生が観察された。このとき、一次元異径管モデルを適用した最も単純な計算からは、水素混焼の場合に得られた発振周波数が、燃焼器よりも上流の配管も含めて考慮しなければ得ることができない周波数であり、このことから、燃料組成が火炎面の位置や燃焼温度といった燃焼特性に変化を与え、さらに、音響的境界条件に影響を及ぼした可能性が示唆された。

そこで、発振周波数の変化について、音響インピーダンスを用いて音響的境界条件を表現し、解析を行った。まず、非燃焼実験から燃焼器の音響インピーダンスを計測し、燃焼器内温度が断熱火炎温度で同様であると仮定して音響インピーダンスの補正を行った。この補正後の音響インピーダンスを適用した解析から得られた発振周波数は、燃焼振動実験で得られた発振周波数帯とほぼ一致したが、水素含有率による発振周波数の差を表現することはできなかった。次に、水素含有率の違いによってもたらされる化学反応性の違いを考慮するために、素反応を考慮した定常CFDシミュレーションを行った。この結果から、火炎面位置、燃焼温度、遅れ時間といった燃料組成の違いが影響を及ぼす特性を抽出し、一次元音響モデルに適用した。このモデルを用いて発振周波数の算出を行ったところ、燃料中の水素含有率の違いによる発振周波数の変化を表現することができた。

本研究で提案する手法は、実験および定常CFDシミュレーションから得られる情報を活用して構築された一次元音響モデルによって、燃焼（化学反応性）、流動、音響といった複数の物理現象が絡む複雑な燃焼振動現象を表現したものであり、実燃焼器への応用が期待できる。

* 掲載：日本機械学会論文集，84-861，(2018-5)，17-00514.

*1 正員，東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻（現）東京農工大学工学府（〒184-8588 小金井市中町2-24-16）

*2 正員，東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻（現）(株)竹中工務店

*3 フェロー，東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻（現）早稲田大学理工学術院国際理工学センター（〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1）

論文

(10) 電磁比例弁内のスプールに作用する
クーロン摩擦力に起因した不安定振動の
解析と安定化させるための設計法



山藤 勝彦*1 (1983年生) 山本 建*2 (1969年生) 澤田 賢治*3 (1981年生)

環境問題から輸送機器の燃費性能向上のため軽量化、衝突安全性から小型化の要求レベルは年々高まっている。この流れは油圧機械においても同様であり、小型・軽量化を目的に下流の圧力弁を上流の小さな圧力弁で制御する油圧シリンダシステムが広く使用されている。一方で、圧力弁を増幅器として使用する当該システムは増幅出力が大きく不安定になり易い。具体的には、単体では安定な電磁比例弁を油圧システムに組み込むと時に系全体が不安定になることがある。本現象は圧力弁のスプールに作用するクーロン摩擦力が要因であることまでは経験的に良く知られている。しかし、振動を発生させない最低クーロン摩擦力を机上予測できていないため実用上の問題となっている。製品開発時ではハードの変更や制御・適合の変更を繰り返す対応をしている。

不安定振動のメカニズムを紐解く鍵は、一般的に減衰要因となるはずの電磁比例弁のスプールのクーロン摩擦力が、油圧システム組み込み時に不安定化要因につながる原因の解明である。これに対して本論文は、スプールのクーロン摩擦力が弁単体に与える動的特性に加えて油圧システムに与える動的特性を解析することで、不安定振動のメカニズムを解明した。油圧システム設計時に用いられるシステム線形近似では、クーロン摩擦力の強い非線形性の取り扱い方が重要である。従来の線形近似では、不安定振動要因となるクーロン摩擦力の特性がうまく表現しきれない。そこで本論文では、記述関数法を用いてクーロン摩擦力が振動特性に影響を与える振幅・位相特性を独立に記述し、油圧システムの新たなモデル解析手法として線形要素と非線形要素から成る非線形フィードバック系を採用した。本モデルの妥当性は、振幅・周波数の観点から非線形形のクーロン摩擦モデルと比較することで証明した。一方で、採用した非線形フィードバック系は従来の線形近似に基づく安定解析は適用できない。そこで、安定解析法に関しても記述関数法におけるナイキスト軌跡に基づく図的解法を適用した。この結果は不安定振動の発生有無、及び振動発生時の振動周波数において実験結果とよく一致した。これにより、設計安定余裕から振動を発生させないための最低クーロン摩擦力を精度よく予測できるようになった。

本設計手法により、理論的な安定化設計手法をはじめ構築でき、本油圧システムを使った油圧機器の機能信頼性の向上に貢献した。

* 掲載：日本機械学会論文集，83-852，(2017-8)，16-00553.

*1 正員，日産自動車(株)（〒243-0192 厚木市岡津古久560-2）

*2 正員，東海大学（〒259-1292 平塚市北金目4-1-1）

*3 正員，電気通信大学（〒182-8585 調布市調布ヶ丘1-5-1）

論文

(11) モンテカルロ法を用いた
ドラム式洗濯乾燥機の脱水起動シミュレータ



上甲 康之*1 (1985年生) 黒澤 真理*1 (1979年生) 高橋 幸太郎*2 (1983年生)

ドラム式洗濯乾燥機は、水を溜める外槽がばねやダンパなどの防振構造によって筐体に支持され、外槽内には回転するドラムが内包されている。脱水時にドラム内の衣類の分布に片寄り（以下、アンバランス）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となって振動する。そこで、振動低減のために外槽と筐体との間にはばねやダンパなどの防振構造が設けられている。また、ドラム式洗濯乾燥機には、脱水時の振動低減のために脱水起動制御が搭載されている。脱水起動制御は、検出したアンバランス量あるいは外槽振動などの振動レベルが予め決めた閾値以上と判定された場合に、一旦ドラムの回転を減速あるいは停止し、脱水のやり直し（以下、リトライ）を行うことでアンバランスの修正を行う。このリトライは、検出した振動レベルが閾値よりも小さくなるまで繰り返されるため、最終的にはアンバランスが小さくなり低振動化・低騒音化を図ることが出来る。

リトライ回数を評価するにあたっての課題として、衣類は互いに絡み合うことで挙動が極めて複雑となり、物理的またはパラメトリックな定式化が困難であることが挙げられる。その結果、リトライ回数の評価は実機が完成する設計後期に行われることになり、この段階でリトライ回数が基準を超過していたとしても、防振構造の変更の自由度が小さく、改良が難しくなる。

そこで本研究では、実機の無い設計初期段階でリトライ回数を評価するために、モンテカルロ法を用いた脱水起動シミュレータの開発を行った。脱水起動シミュレータは、衣類の挙動により外槽の振動レベルがある確率分布となることに着目し、その確率分布に従う乱数を発生させて閾値と比較することで、リトライ回数を予測するものである。確率分布として、正規分布やポアソン分布は衣類の挙動に適していなかったため、予め実験で得た確率分布と一様分布を用いた。本論文では、ドラムの直径と奥行き長さの異なる2種類のドラム式洗濯乾燥機について、実際の脱水動作で得られたリトライ回数の実験値と予測値との比較を行い、本予測方法の有用性を検証した。

* 掲載：日本機械学会論文集，83-856，(2017-12)，17-00140。

*1 正員，(株)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 日立アプライアンス(株) (現) 日立グローバルライフソリューションズ(株) (〒316-8502 日立市東多賀町1-1-1)

論文

(12) フェノール樹脂複合材の摩耗特性に対する
雰囲気効果（大気中水分効果の検証と
摩擦分解ガス効果の提唱）



岡山 勝弥*1 (1971年生) 岸本 裕也*2 (1962年生) 平塚 健一*3 (1961年生)

ブレーキパッドは、自動車の安全の根幹に関わり、安定した効き以外にも長寿命、低ノイズなど多数の性能を求められる重要な部品である。そのためブレーキパッドは10～20種類の多種多様な原材料を元に、フェノール樹脂をバインダーとして成形されている。このフェノール樹脂複合材の摩耗機構は極めて複雑であり、未だ明らかになっていない現象も多い。今後の自動運転、電動化および環境性能向上などの新たな要求に応えるためには、摩耗機構の本質的な理解に向けた研究が必要である。本論文では、その取り組みの一つとして大気中水分の影響についての基礎研究を行った。これによって、これまで経験的に知られてきたがその詳細が明らかにされていなかった、季節によってブレーキパッドの摩耗特性が変化することについて理解を深めることを目指した。合わせて、摩擦によって摩擦材自身が分解し、それに伴う発生ガスの効果についても言及した。

摩耗実験では、雰囲気湿度を0.8、35、65%RHの3条件に設定し、添加材として酸化セリウム、酸化銅、黒鉛をそれぞれ配合したフェノール樹脂複合材と鋳鉄とを摩擦し摩耗特性を調べた。その結果、65%RHでは摩耗は少なく、かつ添加材による摩耗量の違いは抑えられたが、0.8%RHの低湿度においては酸化銅を添加したフェノール樹脂複合材の摩耗が著しく増大したのに対し黒鉛添加では少ないままであり、添加材の違いが大きく現れることを示した。また、摩擦せずに雰囲気湿度を上昇・下降させる実験も行い、それに伴ってフェノール樹脂複合材の質量が増大・減少することを示した。この現象は添加材の種類に依存せず、かつ湿度の変化に対し可逆的であった。

以上の結果から、大気中の水分がフェノール樹脂複合材表面に物理吸着層として存在し、それが摩擦界面の凝着性を低減することにより高湿度下の低摩耗が現れたと解釈した。さらに、低湿度下でも黒鉛添加フェノール樹脂複合材が低摩耗である原因として、大気中水分に代わりフェノール樹脂の分解ガスが黒鉛に吸着し、その凝着性を低減したためであるという結論を導いた。

これまでの摩耗理論では、摩擦材である固体に対し雰囲気気体は別物として一方的に作用するとされてきたが、本機構はこれに加え、摩擦により摩擦材が自ら雰囲気を作り出し、その雰囲気が添加材に作用し摩耗にフィードバックするという新しいメカニズムを示したものである。

* 掲載：日本機械学会論文集，82-840，(2016-8)，16-00107。

*1 正員，(株)アドヴィックス フリクションマテリアル開発部 (〒470-0424 豊田市御作町坂下918-11)

*2 (株)アドヴィックス フリクションマテリアル開発部

*3 正員，千葉工業大学 工学部 機械電子創成工学科 (〒275-0016 習志野市津田沼2-17-1)

論文

(13) 仮想的な物理モデルに基づく幾何学的制約付きトポロジー最適化（型成形及びフライス加工のための幾何学的制約法）



佐藤 勇気*¹ 山田 崇恭*¹ 泉井 一浩*¹ 西脇 眞二*²
(1992年生) (1984年生) (1973年生) (1962年生)

トポロジー最適化は、構造の外形状変更に加えて、新たな孔の創出といったトポロジーの変更を許容する最も設計自由度の高い構造最適化の方法である。近年では、トポロジー最適化は、様々な物理現象が関連する機械製品の構想設計法への展開が検討されつつあり、産業界からも注目されている。しかしながら、トポロジー最適化では、その設計自由度の高さ故に極めて複雑な部分構造を持つ最適設計解が得られる場合も多く、製造工程を考慮した設計案への修正が不可欠となる。この設計変更の過程において、製品の性能低下を防ぐためには、最適設計解の力学的なメカニズムを十分に理解した上で、製造要件を満たすように設計案を修正する必要がある。こうした試行錯誤的な手続きには多大な時間と高度なノウハウを要し、最適設計による開発期間の短縮という利点が生かされない問題をもつ。さらには、複雑な部分構造に対して十分な力学的理解をするのは困難な場合が多い。そのため、トポロジー最適化の産業製品への展開には大きな壁があるのが現状である。このような問題を本質的に解決するためには、最適化の段階から製造性に関する制約、すなわち製造制約を考慮する必要がある。製造制約の多くは、物理現象とは独立な幾何学的制約であり、現在までも、最大・最小寸法に関する制約、構造の傾斜角（オーバーハング）に関する制約、型抜きに関する制約等、様々な制約法が提案されている。しかしながら、これらの方法は設計空間に制限を与えることで幾何学的制約を満足する方法であるため、高性能な設計解を得るためには適切な初期構造の設定が不可欠となる。そこで本論文では、製造工程を含めた最適設計を行うための新しい基盤技術として、仮想的な物理モデルの考え方を提唱し、その第一段階として成形品とフライス加工品を対象とする具体的な方法論を提案した。この方法は、幾何学的情報を直接取り扱う従来の方法とは異なり、制約を表現するための仮想的な現象を考え、その仮想的な現象に対応する偏微分方程式を介して幾何学的制約を最適化に組み込む。これにより、幾何学的制約も実現現象と同様に偏微分方程式に基づく数値モデルを介して表現される。数値計算例により提案手法の妥当性と有効性を検証した結果、提案手法の初期構造依存性は極めて低く、所望の離型方向やフライス加工の加工軸方向に対して製造要件を満たした最適構造が得られることを確認した。

* 掲載：日本機械学会論文集，83-851，(2017-7)，17-00081.

*¹ 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）

*² 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

(14) 切削加工のボクセルシミュレータを用いた工作機械の動的挙動と切削力の時間領域連成シミュレーション



野口 晋*¹ 西田 勇*² 佐藤 隆太*² 白瀬 敬一*³
(1993年生) (1985年生) (1979年生) (1959年生)

数値制御工作機械で切削加工を行う場合、切削力の変動は工作機械に対する加振力として作用し、工作機械の振動を励起する。一方、工作機械の振動は工具-工作物間の相対変位を変化させ、それによって切削力に変化するとともに、一つ前の段階の加工で生じた加工面の凹凸も切削力に影響を及ぼす。すなわち、実際の加工現象の解明のためには、工作機械の挙動と切削力との相互作用を考慮した解析を行う必要があり、そこには一つ前の段階の加工によって創成された加工面の形状も考慮する必要がある。

本研究では、工作機械の本体構造と送り駆動系および主軸ロータを多体運動学モデルとして表現したモデルと、工作物をボクセルモデルとして表現した切削加工シミュレータとを組み合わせて、工作機械のモデルによってシミュレーションされたテーブルおよび主軸ヘッドの位置と主軸回転角度とを切削力シミュレータに渡し、切削力シミュレータでは渡された位置および角度とから切削力と切削後の形状をシミュレーションできるようにした。切削力のシミュレーション結果は、工作機械モデルの主軸ヘッドおよびテーブルに各方向の外乱力として印加したほか、主軸ロータへの外乱トルクとしても印加した。この計算を所定の時間ステップごとに行うことで、工作機械の浮動的挙動と切削力の時間領域連成シミュレーションを実現した。連成シミュレーションの実施においては、切削力のシミュレーションに用いるボクセルのサイズおよび切れ刃通過周波数と計算周期との関係が重要となり、各計算ステップにおいて切れ刃が一度に複数のボクセルを通過しないよう、計算周期を設定した。

半径方向切込み量を変えた実加工試験とそのシミュレーションとを行った結果、半径方向切込み量を大きくした場合に生じた自励びり振動がシミュレーション結果においても発生したほか、びり振動が発生しない条件の加工においても、連成シミュレーションによって切削力波形を的確に表現でき、切削力波形は工作機械の動的な挙動による影響を受けていることが確認された。さらに、加工中の送り速度の変動や主軸回転数の変動についてもシミュレーションできることが確認された。本研究で開発されたその妥当性が検証された連成シミュレーション技術を活用すれば、加工中の異常振動の回避方法の検討や、より加工能力の高い工作機械の構造および制御系の設計指針の検討が可能になると考えられる。

* 掲載：日本機械学会論文集，83-856，(2017-12)，17-00254.

*¹ 正員，神戸大学大学院工学研究科（現）ダイハツ工業㈱

*² 正員，神戸大学大学院工学研究科（〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1）

*³ フェロー，神戸大学大学院工学研究科

論文

(15) 変形勾配の粘塑性・粘弾性乗算分解による熱可塑性樹脂のレオロジー的構成則



松原 成志朗*1 寺田 賢二郎*2
(1990年生) (1965年生)

本研究では、ガラス状態にある非晶性熱可塑性樹脂の広範な変形域を対象とした力学挙動の再現を目的として、超弾性有限変形理論に基づき、粘弾性と粘塑性を複合的に考慮した現象論的材料構成則を提案した。その構築にあたって参照するレオロジーモデルは、粘弾性モデルと粘塑性モデルに対応する各レオロジー要素を直列に繋ぐことで構成されるため、本材料構成則は変形勾配の粘塑性・粘弾性乗算分解を基点とした定式化がなされる。したがって、本材料構成則では変形の進展に伴って粘弾性から粘塑性へとクリープ挙動の機構がシームレスに変化することを再現可能である。具体的には、線形粘弾性モデルとして採用された標準的な一般化Maxwellモデルが、非晶性熱可塑性樹脂の微小・中間変形域までの材料挙動を支配する一方で、塑性降伏後の中間・大変形域では、粘塑性流れが支配的となりBoyce-Park-Argonモデルによるひずみ軟化やGentモデルによる配向硬化を伴って変形が進展する。この際、変形の乗算分解により、一般化Maxwellモデルが常に弾性特性を担うようにモデル化されているため、粘弾性が等価応力を介して降伏関数に複合的に考慮されて、非晶性熱可塑性樹脂の降伏挙動は、両者が相互に連成して進展する。これにより、粘塑性流れに対して弾性応力の速度依存性が考慮されるばかりでなく、原理的にはガラス転移点前後における剛性の急激な低下も自然な形で考慮することが可能となる。さらに、本材料構成則はColeman-Nollの方法に基づいて熱力学的に整合した定式化がなされており、数理モデルとして必須の要請である熱力学第二法則を満足するばかりでなく、材料発熱の源となる力学的なエネルギー散逸量も同時に算出される。

本材料構成則は、PMMAを対象とした参照の実験データを用いて、関連する材料パラメータを同定したあと、ガラス状態にある非晶性熱可塑性樹脂に特徴的な材料挙動の基本的な表現性能を検証した。さらに、単純な構造物に対して負荷・除荷・無負荷保持試験や応力緩和試験を模擬した構造解析を実施し、その実用性も検証した。結果として、粘弾性・粘塑性が担うべき固有の力学挙動の再現はもちろんのこと、特に、除荷後に無負荷の状態を保持する過程において観察される、ひずみ回復の再現にも成功していることを確認した。

* 掲載：日本機械学会論文集，82-839，(2016-7)，16-00060。

*1 正員，東北大学大学院工学研究科土木工学専攻（〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06）

*2 フェロー，東北大学災害科学国際研究所（〒980-8572 仙台市荒巻字青葉468-1）

論文

(16) Strain distribution in the anterior cruciate ligament in response to anterior drawer force to the knee



山川 学志*1 Debski Richard E.*2 藤江 裕道*3
(1989年生) (1969年生) (1961年生)

靭帯は、骨と骨を繋ぐ軟組織であり、関節運動を制動する役目を担っている。靭帯の中でも際立って損傷しやすく、一度損傷すると外科手術など、重度の治療を必要とするのが、膝関節に存在する前十字靭帯（ACL）である。近年のスポーツの興隆や高齢化の影響で、その損傷頻度は高まるばかりである。また、プロレベルのスポーツでは、ACL損傷により選手寿命の短縮を余儀なくされるケースが頻発している。そのため、整形外科学はもとより、スポーツ医学、リハビリテーション学、バイオメカニクスなどの複数の領域で、ACL損傷の予防や治療に関する様々な研究が行われている。ACLに限らず、損傷靭帯の治療において最も留意すべき点は、靭帯が発揮すべき力学機能を適切に再建することである。靭帯は張力を発揮して関節運動を拘束しているのだから、その力学機能を推し量る最も適当な特性は、関節荷重時における靭帯の引張応力分布であろう。しかし、ACLのような“一筋縄”ではいかないような複雑構造の靭帯では、物性が部位ごとに異なり、作用する荷重も関節姿勢や運動の種類により大きく変化するため、その引張応力分布を実験的、解析的に求めることは不可能である。そこで本研究では、応力分布と密接に関係するひずみ分布に着目し、膝荷重時におけるACLのひずみ分布を3次的に求めることにチャレンジした。関節力学試験システムとして世界標準機となっている独自開発の6自由度ロボットシステムを用いて、正常膝関節に50Nの前方力を負荷し、そのときの関節運動を記録した。ACLを観察できるよう大腿骨内側顆を切除し、記録した正常膝関節の運動軌跡を再現した際のACLの変形挙動をHDビデオカメラで撮影した。その後、撮影動画に対し画像相関法を用いることでACL内側表面のひずみ分布を求めた。ついで、ACL表面を順次剥離し、同様の方法でACL中層および外側層のひずみ分布を求めた。その結果、どの層においてもひずみは長さ方向中央部よりも付着部近傍で大きいことが分かった。また、内側表面において、長さ方向中央部のひずみは直線的に緩やかに増加したのに対し、付着部近傍のひずみは負荷直後に急激に増加することが分かった。ACL表面の組織観察を行ったところ、付着部近傍にクリンプ構造が多数、観察された。クリンプ構造は、腱や靭帯が持つ特有の波状構造で、低負荷時における変形の発生源であることが知られている。ACLひずみに部位依存性があり、特に付着部近傍でひずみが大きくなるのは、このクリンプ構造の集中によるものと推察された。本研究では、臨床的に関心が寄せられるACLの力学機能に関して詳細な計測・解析を行った。バイオメカニクスの観点だけでなく、整形外科学等の臨床医学の観点からも重要な知見が得られたと確信している。

* 掲載：Journal of Biomechanical Science and Engineering，12-1，(2017-3)，16-00582。

*1 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）

*2 正員，Departments of Bioengineering and Orthopaedic Surgery, University of Pittsburgh (4200 Fifth Avenue, Pittsburgh, PA, 15260, USA)

*3 フェロー，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）

(1) 量産型可変圧縮比エンジンの開発



木賀 新一*1
(1965年生)



小島 周二*2
(1973年生)



茂木 克也*1
(1965年生)



松岡 一哉*2
(1978年生)



高橋 英二*2
(1979年生)

1. 概要

世界的にCO₂低減が急務となり、車の燃費も今後10年で50%の削減が不可欠となる中、エンジンの一層の高効率化が求められている。一方、走る楽しさの追及は車への普遍的な要求である。可変圧縮比機構は、高効率と高性能を両立できる技術として注目されてきたが、その機構の複雑さ、技術難易度の高さから、これまで実用化されなかった。

受賞者は、高効率の圧縮比14と、100kW/Lを実現可能な圧縮比8を両立できる可変幅を有し、実用化に有利な小型化が可能なマルチリンク方式を選択し、可変圧縮比機構の開発を進めてきた。この方式は、小型化を実現する一方で、構造上、クランクピン部の軸受荷重が約2倍になる為、新軸受け構造や、高強度16Tボルト、高荷重対応アクチュエータ等の新技術を開発し、世界初の量産可変圧縮比エンジンの開発に成功した。

この可変圧縮比機構を2L直列4気筒ターボエンジンに搭載し、3.5Lエンジンに対して、同等の動力性能と30%の燃費改善を実現した。

2. 技術の内容

可変圧縮比機構は研究レベルでは、これまでも受賞者を含め各機関より様々な方式が発表されている。受賞者は、究極の高効率と高性能化を目的に、圧縮比の可変幅を大きく取れかつ実用化に有利であると考えられるマルチリンク方式を選択した。これにより従来並みのエンジンサイズ(搭載性、重量)を維持しつつ、基本的なエンジン部品(軸受、潤滑要素)で成立できるという量産実用化にとって重要な要件を満たすと同時に、動力性能と燃費を高次元で両立するための大きな可変幅(圧縮比8~14)を実現することが可能となった。

(1) マルチリンク式クランクシャフト回転機構の構成

従来機構と同様にピストンとクランクシャフトは存在するが、従来のコネクティングロッドに代わり、Uリンク(Upper link)とLリンク(Lower link)の2本のリンクにより直列に連係されている。また、Lリンクの片端にはCリンク(Control link)とコントロールシャフトがつながる。コントロールシャフトは偏心シャフトとなっており、Aリンク(Actuator link)を介してその回転姿勢を電動アクチュエータが制御する構成となる。(図1)

(2) 圧縮比の可変作動原理

図2左は高←低圧縮比時を示している。モータ駆動により、偏心カムつきCシャフトが回転し結果Cリンクが下方へ移動すると、Lリンクがクランクピンを中心に時計回りに回転してUリンク上方へ移動、すなわちピストンが上方へ移動して、エンジンの機械圧縮比を高めることができる。低圧縮比へ移る時は右の図のように、逆の動きとなる。また1つのコントロールシャフトを介して、4気筒同時に変更することができる。

(3) 圧縮比制御用アクチュエータ

モータの同軸上に、コンパクトながら高減速比かつバックラッシュが極めて小さい新設計の減速機を設置し、Aシャフト(Actuator shaft)を駆動する。Aシャフトはクランク上にピンでAリンクと接合されておりコントロールシャフトを回転させる。また先端には角度センサーが取り付けられ正確な角度をモニターし、専用コントロールユニットと共に、精密な圧縮比制御を実現させている。(図3)

(4) 特徴的なピストン工程

クランクとコンロッドにより定まっていたピストン工程を、比較的自由に設計することが可能となり、その結果従来機構に比べて単振動に近い工程を実現し、直列4気筒において強調されてしまう慣性2次の上下加振力が大幅に低減できる。一般に、従来機構のピストン工程はその上死点と下死点でのピストン加速度の大きさの違いによって慣性2次振動を産み、それが車室内こもり音となり、対策として2次バランサ機構が用いるのが一般的であった。本機構では、前述のメカニズムによりバランサ機構無く上下加振力を小さくすることが可能となった。(図4)

(5) 可変圧縮比機構搭載エンジンの性能向上

可変圧縮比機構を搭載した2L直列4気筒ターボエンジンにて、従来3.5L自然吸気エンジンや既存2Lターボに比べ大幅なトルク向上を実現。また本エンジンを搭載する新型プレミアムSUV車両において車両燃費性能および動力性能の両方において突出したレベルを達成することができた。(図5)

3. まとめ

世界初の量産型VCR機構と様々な技術との組み合わせにより、ダウンサイズターボエンジンの動力性能を向上させつつも、燃費性能の飛躍的向上を実現した。本エンジンが自動車の持つ、走ることの楽しさ・喜びを損なうことなく、環境負荷低減の一翼を担い、持続可能な社会へ貢献することが期待される。

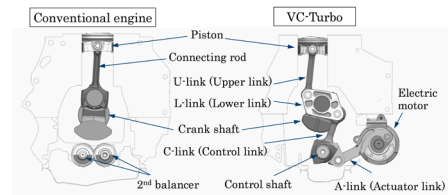


図1 マルチリンク式クランクシャフト回転機構の構成

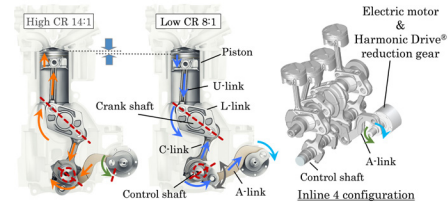


図2 圧縮比の可変原理

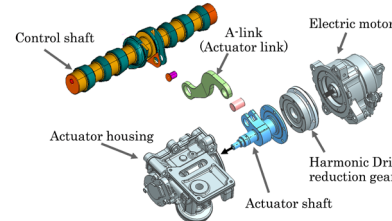


図3 圧縮比制御用アクチュエータ

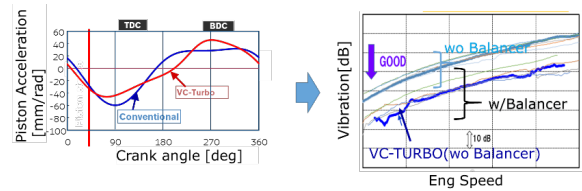


図4 ピストン工程と振動抑制効果

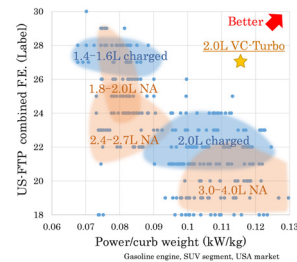


図5 車両燃費性能と動力性能

*1 正員、日産自動車(株)パワートレイン・EV開発本部 (〒243-0192 厚木市岡津古久560-2)

*2 日産自動車(株)パワートレイン・EV開発本部 (〒243-0192 厚木市岡津古久560-2)

(2) アクティブ操舵制御による衝突回避支援システムの開発



齊木 広太郎*1
(1984年生)



村野 隆彦*1
(1970年生)



八十嶋 恒和*2
(1977年生)



内田 尚秀*2
(1981年生)



西村 太貴*1
(1987年生)

1. 概要

受賞者は「交通事故死傷者ゼロ」に向けた基本的な考え方として、図1に示す統合安全コンセプトを掲げている。統合安全コンセプトでは、安全システムを連携させてクルマをより危険の少ない状態に近づけることで、「事故を起こさないクルマ」の実現を目指している。安全システムにおいて、衝突回避または衝突被害低減を実現するプリクラッシュセーフティシステム（以下、PCS）は「交通事故死傷者ゼロ」の重要なカギを握っている。

図2にPCSのシステム概要を示す。衝突可能性があるとシステムが判断した場合、警報によりドライバーに操作を促し、さらに衝突の危険性が高まるとブレーキ制御による支援を開始する。しかし、ドライバー操作との干渉の観点からブレーキ制御のみの衝突回避には限界がある。そこで、ブレーキ制御のみでは回避達成が困難かつ操舵制御により衝突回避可能とシステムが判断した場合、ブレーキ制御に操舵制御を併用した「アクティブ操舵回避支援システム」を開発した。

2. 技術の内容

本技術では、車両前方の歩行者に対し、衝突回避可能な経路が存在することが作動条件の1つである。ここで、「操舵制御により、歩行者は回避できたが回避先の異なる対象と衝突してしまう」ことは避けなければならない。そこで、歩行者だけでなく車両前方の路面を検出し、回避先に異なる衝突対象が存在しない領域（以下、回避スペース）内で回避制御を実現する。

2-1. ステレオカメラによる路面検出

新型LSのフロントガラス上部に搭載されたステレオカメラ（図3）は、デンスステレオマッチング技術と呼ばれる画像処理技術を用いることで、ステレオ画像から得られる視差分布より、路面と考えられる領域を推定する。

2-2. 回避経路の生成

図4のように、回避スペース内で歩行者を回避するための「回避操舵」に加え、自車線内に留めるための「切り戻し操舵」による回避経路を生成。ブレーキ制御を実施しながら回避経路に基づいた操舵制御を実施する。

3. まとめ

本稿では、従来のブレーキ制御に加え、操舵制御を併用した衝突回避支援システムについて述べた。本技術を含む先進安全パッケージ（Lexus Safety System +A）をLEXUS LS（図5）で採用（2017年10月～）。システムが衝突危険性を判断し操舵制御を行う衝突回避支援の製品化は世界初となる。死亡事故で近年最多である歩行者に対して、ブレーキ制御のみで約60%、ブレーキ制御に操舵制御を併用することで約16%のさらなる事故低減効果が期待できる（トヨタ自動車株調べ）。今後は、本技術をベースとした他車両へ展開を計画している。

*1 正員、トヨタ自動車株（〒471-8572 豊田市トヨタ町1）
*2 トヨタ自動車株（〒471-8572 豊田市トヨタ町1）

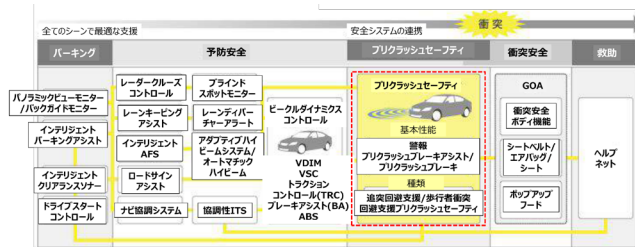


図1 統合安全コンセプト

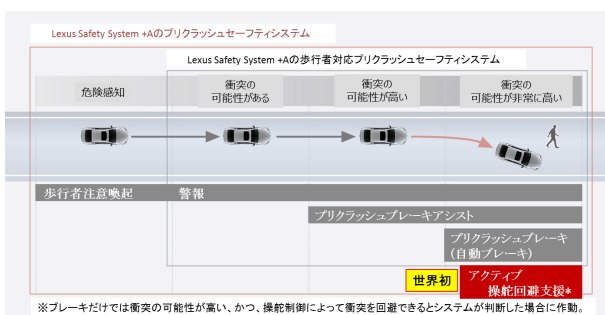


図2 システム概要



図3 ステレオカメラ

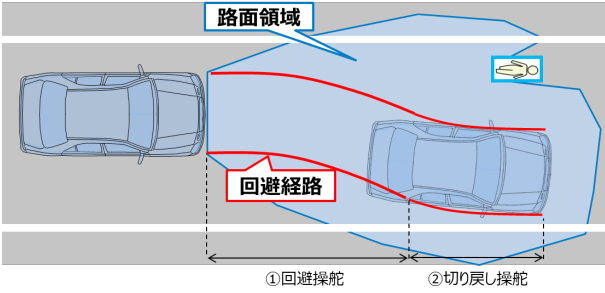


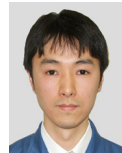
図4 回避経路の生成



図5 新型LS



白崎 篤司*1
(1979年生)



渡辺 文武*2
(1981年生)



浜畑 光晴*2
(1967年生)



徳山 善之*2
(1979年生)



小谷 高代*1
(1978年生)

1. 概要

プラスチック射出成形技術は、金型に溶融した樹脂を射出してプラスチック製品を製造する技術で、安価に大量生産が可能で、プラスチックが軽量であることなど数々の利点があり家電、通信機器、自動車、医療機器等、多くの魅力ある商品を提供してきた。取出口ロボットは、主として射出成形の生産性向上を目的として導入が進められてきた。当社は、これまで形状最適設計による軽量化と剛性の両立によるロボットの高速化(=生産性向上)を推進してきた。この形状最適設計により、軽量で剛性の高い形状を採用し、駆動部の質量を従来機種と比べて質量を16%削減、取出サイクルタイムを最大29%短縮し、その結果生産性を10%向上している。それに加えて、取出口ロボット業界では初となるアクティブ振動制御装置を搭載し、アームの振動を速やかに低減させ、アクティブ振動装置の動作をしない場合に比べて振動が収束するまでの待ち時間を最大71%削減し、更なる生産性向上を実現した。

2. 技術の内容

取出口ロボット動作において、ワークを保持したロボットアームの移動時に振動が残留していると、金型とワークの接触が発生する恐れがある。そのため、振動が収束するまでの待ち時間を設ける必要がある。この待ち時間は生産性低下を招くため、これを削減する目的で、アクティブ振動制御装置を搭載した取出口ロボットを開発した。開発した取出口ロボット外観を図1に示す。アクティブ振動制御装置は、ロボットアームの先端に搭載されている。アクティブ振動制御装置の概念図を図2に示す。このアクティブ振動制御装置は、二つの加速度センサ、制御部及び、駆動部により構成される。加速度センサはアームと付加質量に設置されており、これらのセンサによってロボットアームの振動を計測し、その振動に抗する電磁力をアクチュエータに発生させ、振動を抑える。

アクティブ振動制御による振動抑制を行うためには、取出口ロボットアームの振動変位を用いた変位フィードバック制御が効果的であるが、狭い金型内にアームが進入するという取出口ロボットの特性上、アームの変位を直接測定することは難しい。そのため、加速度センサの加速度信号を2回積分して変位を推定することになるが、積分操作によって制御にとって障害となるドリフト成分が発生してしまう。このドリフト成分を消すためにフィルタを用いて振動変位を推定しても、位相のずれが発生し、これを用いて制御を行うと制振性能が著しく低下もしくは、発振する恐れがある。

この位相補正を行うため、アームの固有振動数をアクティブ振動制御に用いる加速度センサを用いて予め測定し、位相のずれを補正する工夫を行った。

図3に、アクティブ振動制御の効果を示す。アクティブ振動制御を行うことで、振動が速やかに減衰しており、これによって待ち時間の削減が可能となった。

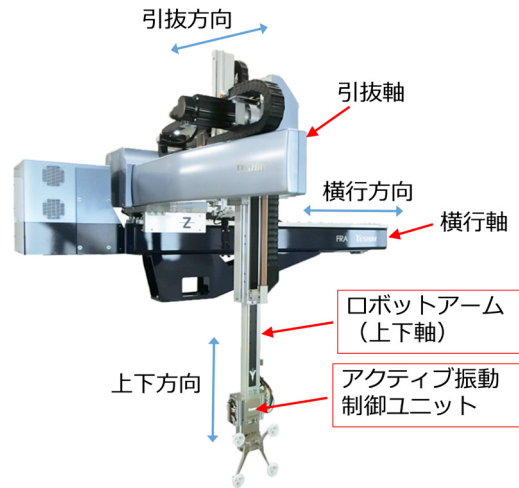


図1 アクティブ振動制御装置を搭載した取出口ロボット外観

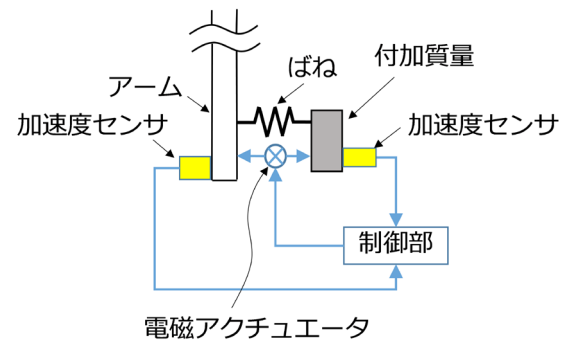
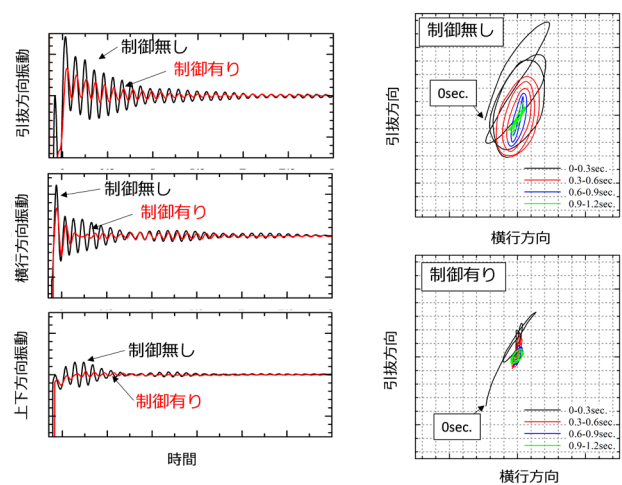


図2 アクティブ振動制御装置の概念図



(a) 時刻歴波形

(b) 水平面内軌跡

図3 アクティブ振動制御の効果

*1 正員、株式会社ユーシン精機 (〒601-8205 京都市南区久世殿城町555番地)

*2 株式会社ユーシン精機 (〒601-8205 京都市南区久世殿城町555番地)



滝野 一征*1
(1984年生)



Rosen Diankov*1
(1983年生)

1. 概要

日本において、労働生産人口の減少により人手不足が叫ばれている中、産業用ロボットによる自動化は、容易には進まない。通常産業用ロボットの導入に対する一番のハードルは、ロボットに動作を教えること（ティーチング）である。これは、ロボットの動作の一手一投足を教え込む作業であり、扱う対象物が変わる度に、都度必要となる。特に物流業においては、対象物の種類数とその入れ替わりの速さのため、ティーチング作業がロボット導入の大きな障害となっていた。そこで、モーションプランニングAI技術や高速並列分散計算処理等により、接続したロボットを人間のように自律制御することで動作ティーチング作業を一切不要にしたのが「MUJINコントローラ・ピックワーカー」である。本製品は、以下のような実績をあげている。

1. 約2週間での産業用ロボットによるバラ積みピッキングの立ち上げ
2. 物流でのピースピッキング、容器変換、デパレタイジング、パレタイジング、デバンニング工程の自動化
3. 24時間365日、多品種商品を取り扱う全物流工程を完全無人化した世界初の大規模物流センターの本番稼働

2. 技術の内容

完全ティーチレス/知能ロボットコントローラ「MUJINコントローラ・ピックワーカー」の主要技術は、以下のとおりである。

1. 独自のモーションプランニングAI技術

受賞者のデアンコウ・ロセンが開発したオープンソースのロボット動作計画プラットフォームである「OpenRAVE」をベースに、独自進化させたモーションプランニングAI技術によって、干渉回避を含む難解なロボット動作の自動生成を実現している。ワークのスタート位置とゴール位置が分かれば、従来製品には対応できない深い箱からのピッキング作業等の自動化がティーチレスで可能となった。

2. 高速並列分散計算処理

たとえ干渉回避を考慮した動作計画と、多品種三次元認識ができたとしても、タクトタイム等の使用が、エンドユーザの希望に沿えることが商品化にあたり必須となる。受賞者は独自の高速並列分散処理計算技術により、実用化に向け最適なタクトタイムを実現した。

3. 各メーカー製のロボットの直接制御技術

受賞者のロボット制御技術は、世界で大部分のメーカー製

ロボット（7社以上）を直接制御できる汎用性があり、簡単な位置座標をメーカー製のロボットコントローラに送信するだけの後付けロボットコントローラとは大きく異なる。直接制御可能であると、細かい動作や干渉回避を自動で詳細に行うことができる上、モータからの詳細なフィードバックを得ることができ、ロボットメーカーの垣根を越えて操作方法を統一することや、ロボットの導入期間を短縮することが可能となった。



図1 MUJIN コントローラ

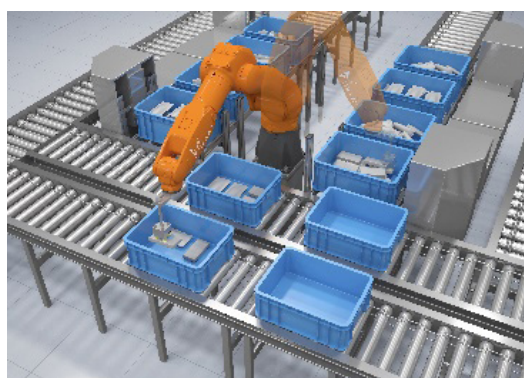


図2 MUJIN コントローラで自動化実現したピースピッキング

3. まとめ

本技術により、ばら積みピッキングや多品種を扱う工程等の自動化を簡単に行うことができるようになるのみならず、以下のような効果に繋げることができる。

1. インテグレーション難易度が下がることによるSIer増加
2. 導入費用安価によるロボット使用顧客の増加
3. ロボット未参入領域へのロボット導入
4. 上記の理由によるロボット市場拡大

「MUJINコントローラ・ピックワーカー」は、現在多くの企業に納入実績があり、今後も世界の工場と物流倉庫の自動化に対して、様々な相乗効果を誘発し、業界全体の拡大を後押しするものである。

*1 正員、(株)MUJIN (〒130-0002 東京都墨田区業平1-1-9)

(5) 微粒化技術を適用した都市ガス熱量調整設備



林 謙年*1 (1965年生) 鎌水 桂二*2 (1970年生) 伊藤 和男*3 (1961年生) 岩瀬 義和*3 (1966年生)

1. 概要

近年の環境意識の高まりを背景に、クリーンな天然ガス（NG）を主原料とする都市ガスの需要が増加している。都市ガスは供給熱量範囲が規定されている一方、原料となるNGの熱量は産地や精製プロセスによってばらつきがあり、また都市ガス規定値より低熱量である場合が多い。そのため、NG熱量を都市ガス供給熱量範囲に調整（増熱）する工程が必要となり、液化石油ガス（LPG）を添加するのが一般的である。都市ガスを製造する代表的な工程を図1に示す。

熱量調整工程は、LPGを液体のまま、気体のNGに添加する方式が主流となっている。添加したLPGの全量を確実に蒸発させることが求められ、蒸発を促進するためにLPGの微粒化が重要となる。また、NG流量と添加LPG流量は都市ガス需要や原料NG熱量に応じて大きく変動し、ターンダウン（運転流量／定格流量）はNGでは1/20、LPGに至っては1/500にも達する。従って、大流量での圧力損失を抑制しつつ、小流量でも微粒化性能を維持できる技術が必要であった。今回、広い流量範囲にわたって、低い圧力損失と高い微粒化性能を両立する技術を開発し、熱量調整設備に適用した。

2. 技術の内容

従来の熱量調整設備は、絞り流路（ベンチュリ）を用いてNGを高速化し、そこに添加したLPGをNG高速流のせん断効果で微粒化していた。しかし、都市ガス需要が減少してベンチュリ部のNG流速が低下するとLPG微粒化効果が得られなくなる。そのため、都市ガス需要の大きなターンダウンに対応するためには、大・小2系列のベンチュリを組み合わせる設置し、運転流量に応じて切り替えていた。

今回開発した熱量調整設備（開発技術）は、独自開発の微粒化ノズルを適用することにより、NG流量が減少した条件でも確実にLPGを微粒化できる。このノズルは、独自の内部構造を有するプレフィルミング型の二流体ノズルであり、

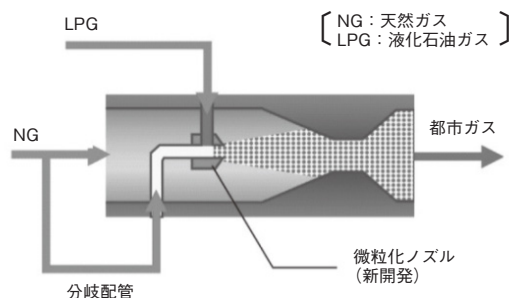


図2 開発技術

LPGに加えてNGの一部をノズルに供給する（図2）。微粒化ノズルへのNG供給量を可変制御することで、添加したLPGを能動的かつ安定的に微粒化する。その結果、圧力損失を増大させることなく、熱量調整運転可能なターンダウンの大幅な拡大を実現した。従来は大・小2系列必要であった流量範囲でも1系列で対応可能となるため、建設コストや設置スペースの低減、運転の簡素化といったメリットが得られる。

3. まとめ

都市ガス熱量調整設備向けに、広い流量範囲にわたって低い圧力損失と高い微粒化性能を両立する技術を開発した。本技術を適用した商用初号機が2013年に運用開始し、要求性能を満足する能力を発揮して順調に稼働している（図3）。その実績が認められ、これまでに5ヶ所の都市ガス製造工場で採用されるに至っている。



図3 商用初号機

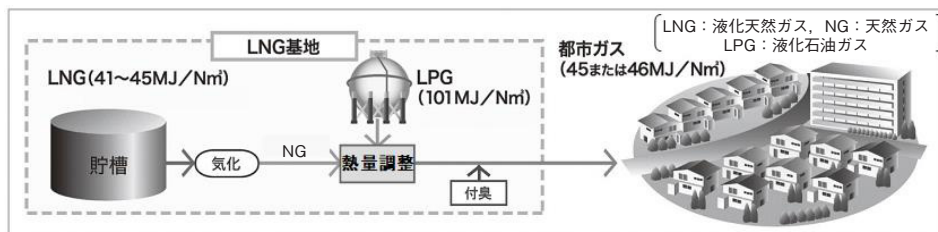


図1 都市ガス製造プロセス

*1 正員、JFEエンジニアリング株式会社（〒230-8611 横浜市鶴見区末広町2-1）
 *2 JFEエンジニアリング株式会社（〒230-8611 横浜市鶴見区末広町2-1）
 *3 東邦ガス株式会社（〒456-8511 名古屋市中熱田区桜田町19-18）

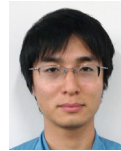
(6) 無人運転トラクタの開発



福永 智章*1
(1978年生)



松崎 優之*2
(1982年生)



須賀 博基*3
(1984年生)



山口 幸太郎*4
(1980年生)



堀 哲理*4
(1985年生)

1. 概要

日本国内において高齢化に伴う離農者は増加している。一方で、認定農業者は増加し営農の組織化と法人化が進んでいる。これら担い手による農地の集約により、営農組織あたりの耕作面積は増加している。効率的で安定的な農業経営を持続するためには生産性と収益性の向上が必要であり、農業機械には更なる効率化と省力化が求められている。次世代農業であるICT（情報通信技術）を活用したスマート農業が推進される中で、クボタは更なる高効率化、高精度化、省人化、軽労化を実現させるためGNSS（全球測位衛星システム）を利用した無人自動作業が行えるアグリロボトラクタを開発した。

2. 技術の内容

トラクタの無人化にあたって、GNSS測位装置・電子油圧パワステータミナルモニタ（操作パネル）・車両間通信機器・レーザスキャナ・超音波ソナーを搭載（図1）し、これらの機器を統合的に制御することで下記3点の技術を確立した。



図1 無人運転関連機器

①高精度な作業精度確保技術

圃場での作業では車輪のスリップや地面の凹凸により逐次車両の挙動が変化するため、直進中であっても常時操舵を行う必要がある。無人運転トラクタ（アグリロボトラクタ）では、制御目標を「目標方位に向かって走る（方位偏差最小）」および「目標経路に向かって走る（位置偏差最小）」の2種類分け、それらの合成により操舵出力を決定する制御アルゴリズムを実装し、圃場状態に関わらず高精度に走行することを可能とした。特定の目標経路に沿った制御動作中は、位置偏差および方位偏差共に比較的小さな値で安定的に推移するが、旋回

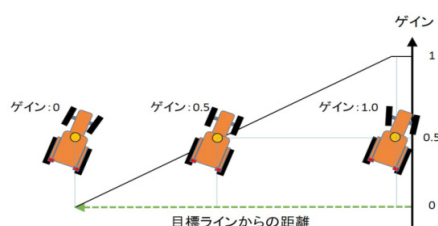


図2 目標ラインからの距離とゲイン

動作から直進動作等、動作シーケンスが切り替わった直後は、瞬間的に大きな位置偏差が発生するため、そのままでは操舵出力が過大となり目標経路への収束性が低下することとなる。そこで、車両が目標経路に接近するほど方位ゲインを強め進入角度を徐々に小さくする可変ゲインアルゴリズムを開発し、機体の状態に応じて常に最適な制御が行えるようにした。図2に目標ラインからの距離とゲインの関係図を示す。

②狭いスペースにおける自動旋回技術

旋回時は、次の作業ラインの開始位置、ライン方位、車両との位置関係が算出できる。この位置関係から仮想旋回経路を生成し、経路に沿って旋回動作を行うが、畦に対する走行ライン方位によっては経路通り走行すると圃場から逸脱してしまう場合がある。そこで、圃場逸脱してしまう場合は最小限のスペースで旋回ができる様に切り返しを行う旋回経路を算出し直す。また、旋回動作中は旋回経路からのズレが一定以上になると減速し、更にズレが大きくなると再度切返し動作を行うなど、新たな旋回経路を生成するリトライ制御により様々な状況下においても旋回を完遂する技術を確立した。図3に切り替えし経路のイメージ図を示す。

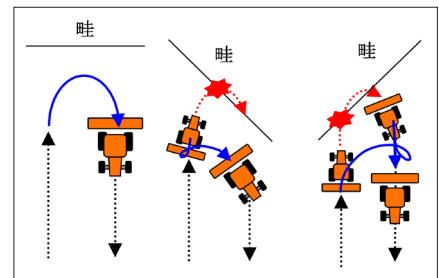


図3 切り替えし経路のイメージ図

③自動運転中の安全性確保技術

安全システムの一つとして障害物との衝突回避技術を確立した。障害物と衝突する前に停止するために、車両の左右および後方にレーザスキャナを搭載した。選定したレーザスキャナは一つの平面を広角でスキャンできるため、遠方にある障害物を検出するのに適している。一方でトラクタの至近距離にはレーザスキャナの走査平面の下に死角ができるため、超音波ソナーを配置し、背の低い障害物を検出可能とした。図4に障害物検知範囲イメージ図を示す。

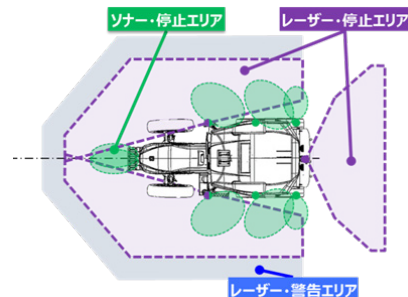


図4 障害物検知範囲イメージ図

*1 正員、クボタノースアメリカコーポレーション（アメリカ）
*2 ㈱クボタ（〒590-0823 堺市堺区石津北町64）
*3 正員、㈱クボタ（〒590-0823 堺市堺区石津北町64）
*4 ㈱クボタ（〒661-8567 尼崎市浜1-1-1）

(7) 高効率と低騒音を両立した換気扇用誘導モータの開発



吉桑 義雄*1
(1968年生)



米谷 晴之*2
(1964年生)



宮本 佳典*2
(1968年生)



亀山 正樹*2
(1974年生)



水谷 敏彦*2
(1972年生)

1. 概要

国内消費電力の1/2以上を占めるモータでは、高効率化が極めて重要な課題である。また、日常生活で数多くのモータが使われていることから、低騒音化が強く求められる。これらのモータ共通課題に対して、騒音の主要因となるステータとロータの軸ずれによる偏心量を製造工程内で計測しながら組み立てる新しい技術を開発し、偏心がほぼゼロのモータを実現した。また、ステータとロータ間の空隙長を短縮し、さらに製造方法を工夫した。その結果、騒音はほとんど発生せず、従来に対してモータ効率3%向上を実現した。

2. 技術の内容

開発した技術はこれまではなかった斬新な発想で考案した技術であり、以下に簡単に説明する。

(1) モータの偏心をほぼゼロにする計測および製造技術

モータの騒音を小さくするためには、ロータとステータの偏心量を小さくすることが重要である。しかし各部品の加工精度と組立精度の向上では限界がある。そこで、モータの構成要素である巻線を用いて偏心量を計測できることを見出し(図1)、その値をモータ製造工程に反映して、偏心量を計測しながら組み立てるという全く新しい方法を開発した。その結果、偏心はほぼゼロとすることができ、電磁騒音が大幅に低減した(図2)。また、モータの偏心をほぼゼロにできたため、ステータとロータ間の空隙長を従来の1/2に短縮して、高効率化を実現した。

(2) ステータの巻線密度を向上する製造技術

巻線可能なスペースに対する巻線密度を向上するため、ステータを分割し、絶縁部材の構造を工夫して、巻線後に圧入する方式を開発した。その結果、巻線の全長は従来の1/2となり、銅量およびステータの損失を大幅に削減した(図3)。

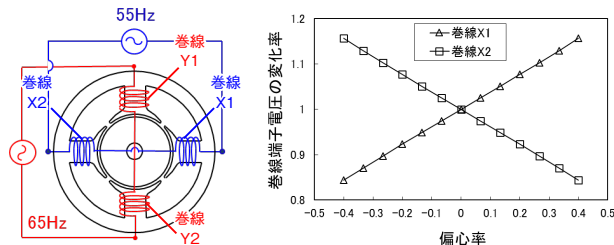
(3) ロータの損失を低減するねじり加工技術

ロータで発生する損失を調査したところ、ロータコアとアルミの短絡が主要因であることが判明した。そこで、ロータにねじり加工を施すことでロータコアとアルミを剥離するという独創的な方法を考案した(図4)。本製造工程により、ロータ内の損失を大幅に削減した。

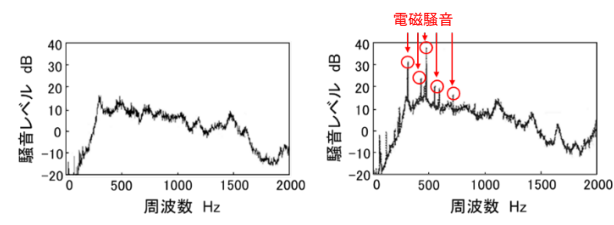
3. まとめ

これらの技術を換気扇用の誘導モータに適用した結果、騒音はほとんど発生せず、モータ効率が3%向上、また同等効率のモータでは体積62%削減を実現した。なお、本技術は他のモータにも適用可能な共通技術であり、環境負荷低減などの社会貢献も可能にする製品開発であるため、機械工学の重要性を改めて感じた次第である。

*1 正員、三菱電機㈱ (〒100-8310 東京都千代田区丸の内2-7-3)
*2 三菱電機㈱ (〒100-8310 東京都千代田区丸の内2-7-3)



(a) 巻線の電圧印加方法 (b) 巻線の端子電圧と偏心率の関係
図1 開発した偏心計測方法



(a) 開発したモータ (b) 従来のモータ
図2 開発技術の適用による騒音低減効果



(a) 開発したモータ (b) 従来のモータ
図3 ステータ部分の写真

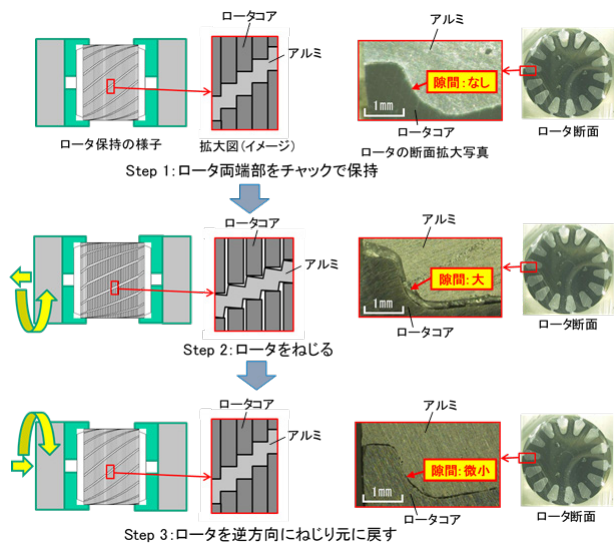


図4 ロータねじり加工によるロータコアとアルミの絶縁方法

研究奨励

(1) 超音波を用いた炭素繊維強化複合積層構造の層間界面特性評価の研究



石井 陽介*
(1988年生)

本研究は、異方性積層構造内を伝搬する超音波の理論解析および数値解析を行い、その結果に基づいて炭素繊維強化複合積層構造内を伝搬する超音波特性の測定結果と最適化手法を組み合わせることで、各層の異方性粘弾性特性の同定に加えて従来は測定が困難であった層間剥離などに関係する層間界面剛性を同時に非破壊測定するものである。従来よりも高い周波数帯の超音波を使用することで、積層構造の各界面からの反射波が干渉を起こす超音波バンドギャップを計測し、その発生挙動に着目して材料特性評価を行う独創性の高い研究であり、測定システムの開発のみならずその妥当性および実用性を明らかにしている。

* 正員、豊橋技術科学大学大学院機械工学系（〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1）

研究奨励

(2) カーボンナノチューブの機械的・熱的特性の評価と高出力熱アクチュエータの開発に関する研究



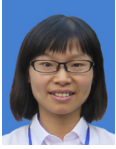
白須 圭一*
(1988年生)

本研究では、これまで理論解析やシミュレーション研究に留まっていた力学・熱膨張特性に対して、カーボンナノチューブ（CNT）単体の走査型電子顕微鏡内引張試験および配向CNT複合材料を用いた熱膨張量測定を実施することで、CNTの複合材料への応用において喫急の課題である見かけ強度向上のための構造制御指針の構築とCNT軸方向の線膨張係数の定量評価手法の構築を達成した。また、CNTの軸方向は負の線膨張係数を有することを初めて実験的に明らかにした。CNTの有する高ヤング率と負の線膨張係数の工学的活用により、従来未達成であった大きな変位特性と発生力を併せ持つ駆動アクチュエータの創成に成功した。

* 正員、東北大学大学院工学研究科附属先端材料強度科学研究センター（〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-11）

研究奨励

(3) 構造材料の微小領域でのひずみ分布の高精度計測法の研究



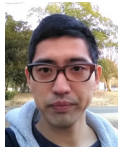
王 慶華*
(1984年生)

先進構造材料の普及に伴って、微小領域でのひずみ分布計測の必要性が高まっている。本研究では、モアレ現象を利用して新規画像処理技術の開発に努め、従来技術では難しかったマイクロ領域でのせん断ひずみ分布を高精度に測定できるモアレ位相解析技術を新たに開発した。さらに欠陥の影響を受けにくいひずみ分布測定のための新たな局部位相接続アルゴリズムを提案し、開発した技術を融合させたノイズロバストなひずみ分布の計測を実現した。開発した技術を用いて、マイクロひずみ集中による引張試験中Ti合金の初期き裂発生箇所を予測に成功した。また、き裂進展挙動を評価するため引張疲労試験におけるTi合金のマイクロひずみ分布も測定した。

* 正員、産業技術総合研究所 計量標準総合センター（〒305-8568 つくば市梅園1-1-1）

研究奨励

(4) シビアアクシデント時の原子炉格納容器内水素挙動の研究



安部 諭*
(1984年生)

軽水炉のシビアアクシデント時には、冷却水と高温燃料金属被覆管との化学反応により大量の水素が発生し、燃焼や爆発に至る危険性が懸念されている。本研究では、原子炉格納容器内での水素を含む多成分気体の移行挙動を詳細に把握することを目的として、実験と数値流体力学（CFD）解析による検討を進めてきた。水素を含む気体の特徴的現象である浮力効果や密度成層挙動に焦点をあて、異なるスケールの実験による流体混合の可視化や障害物の効果を調査するとともに、様々な研究分野での既往知見を活用し、水素移行の予測精度の向上に成功した。本研究で得た知見の汎用性は高く、実機での水素挙動評価への適用にも期待できる。

* 正員、日本原子力研究開発機構（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方2-4）

研究奨励

(5) ナノ粒子散乱性媒体によるふく射伝熱制御の研究



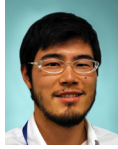
江目 宏樹*
(1986年生)

住宅などの建築物の屋根材・外壁材や自動車の塗装などにおいては、太陽ふく射が入射し、常時人々の目にさらされることとなるので、ふく射に対して伝熱的な観点、および視覚的な観点の両方から制御が重要である。この問題を解決するため、波長選択性を有するコーティングが望まれている。本研究では、ナノ粒子で構成されるコーティング内部のふく射輸送について理論解析を行い、粒子材料や粒子径を最適化し、実験によりふく射物性を評価した。散乱性媒体によるスペクトル反射率制御を実現し、従来の黒色塗料に比べ、太陽光下で10℃程度冷たい、熱くなくにくい黒色コーティングを開発した。

* 正員、山形大学大学院理工学研究科（〒992-8510 米沢市城南4-3-16）

研究奨励

(6) 高カルロピッツ数乱流燃焼機構の解明とモデリングの研究



源 勇気*
(1986年生)

次世代低環境負荷燃焼技術の確立には、高カルロピッツ数（Ka）条件での乱流燃焼機構の解明が必要である。本研究では、様々な高Ka乱流燃焼場の直接数値計算を実施し、従来の乱流燃焼理論では説明できない種々の現象を明らかにし、それらを予測可能な乱流燃焼モデルを開発した。特に、高レベル排気再循環（EGR）する乱流燃焼における、特有の複合燃焼モードの存在を明らかにし、そのような燃焼特性を予測可能なハイブリッド乱流燃焼モデルや完全攪拌器モデルを応用した確率密度関数モデル等を提案している。また、高Ka合成ガス乱流燃焼の安定性、高EGR率乱流条件での着火・火炎伝播機構、火災幾何学等を検討し、高Ka乱流燃焼を総合的に解明している。

* 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

(7) 気泡流中における
非線形波動理論の新展開の研究



金川 哲也*
(1984年生)

気泡を含む水（気泡流）中においては、音速が50 m/s程度まで低下することが前世紀までの常識であったが、今世紀に入り、水中音速1,500 m/sを超えて伝わる「高速波」が観測された。高速波の振幅計測値は極めて小さいがゆえに、さらなる詳細計測が進展しておらず、現在、理論側からの予測が望まれている。本研究では、高速波の実験的事実、すなわち、振幅が有限ではあるが極めて小さいという事実に即した弱非線形理論解析を行った。その結果、高速波の伝播過程を記述する数学モデルとしての非線形波動方程式の導出に成功した。本研究をさらに推し進めることで、高速波の実験的実証など、理論と実験の融合研究への発展が期待される。

* 正員、筑波大学 システム情報系（〒305-8573 つくば市天王台1-1-1）

研究奨励

(8) 多孔体内外の乱流熱流動現象の解明と
モデリングに関する研究



桑田 祐丞*
(1989年生)

本研究は、多数の空孔を有する構造体である多孔体に接する熱流動の予測に関する研究である。多孔体構造は、燃料電池内部のカーボンペーパー、触媒、森林、ビル群など幅広い工学分野で見られるが、その周囲の流動は乱流となることも多く、極めて複雑な熱輸送現象を伴うことが知られている。本研究では、多孔体内外の熱流動現象を正しく理解するために、詳細な数値シミュレーションを実施し、多孔体内部での乱流・熱の輸送現象を解明した。さらに、得られたデータを用いて、多孔体内部の巨視的な乱流熱流動を予測する方程式群のモデル化を行い、多孔体内外の乱流熱流動を少ない計算コストで予測する乱流モデルの開発に成功した。

* 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

(9) 円柱周り流れにおける抵抗低減および
渦放出抑制の研究



内藤 弘士*
(1983年生)

流鈍頭物体周りの流れで生じる渦放出は大きな抵抗、揚力の振動、騒音などの問題の原因となっている。かねてから流れの制御により、これらの諸問題を緩和する試みが多くなされてきた。本研究では多孔質体を用いた受動的制御、および流れ場のエネルギー散逸に着目した能動的制御に関して数値シミュレーションを用いて調査した。多孔質体を用いた制御では多孔質体厚さ、透過率、空隙率、レイノルズ数に関するパラメータスタディを行い、円柱後方に造られる低エネルギー流体領域が流れ場を安定化させ渦放出を抑制しているメカニズムを解明した。またエネルギー散逸に着目した能動的制御ではエネルギー散逸を最小化することで制御効率の限界に迫った。

* 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）

研究奨励

(10) 付加・除去複合加工のための
プロセスモニタリングシステムの研究



小池 綾*
(1989年生)

金属加工用の付加・除去複合加工を対象に、自律的な異常加工検出システムや熱伝導解析に基づくプロセス安定化法の確立を目的として、本研究では、センサレスプロセス監視手法と時間領域加工シミュレータの開発を行った。提案手法は、付加的な測定デバイスを必要とする従来のプロセス監視手法と異なり、ステージ位置や電流参照値などの数値制御装置から取得できる有用なサーボ情報を基に、除去加工時の工具欠損や工具摩耗進行といった状態変化を高精度に推定できることを明らかにした。また、付加工時の金属溶融状態を安定させる入熱条件を算出する時間領域シミュレータを開発し、造形物の形状精度を向上する入熱条件の同定手法を開発した。

* 正員、慶應義塾大学システムデザイン工学科（〒223-8522 横浜市港北区日吉3-14-1）

研究奨励

(11) ヘビ型ロボットによる
複雑環境上での移動制御の研究



竹森 達也*
(1993年生)

人の進入が困難な環境でのレスキュー活動やインフラ点検にヘビ型ロボットの活用が期待されている。ヘビ型ロボットは超冗長系であり制御が複雑となるが、適用環境拡大のためには各環境に適した多様な動作が必要となる。そこで、ヘビ型ロボットの複雑な目標形状を単純な形状の連結によって直感的に表現する新たな形状設計手法を提案した。また、この手法を用いてヘビ型ロボットが複雑環境上を移動する新たな動作を設計した。さらに、30超の関節を持つヘビ型ロボットを新規開発し、提案手法を用いて配管上のフランジ乗り越え、険しい不整地の踏破、はしご昇降をヘビ型ロボットでは世界で初めて実現し、ヘビ型ロボットの活動領域を大きく拡大した。

* 正員、京都大学大学院工学研究科（〒615-8540 京都市西京区京大グ学桂）

研究奨励

(12) 乗用車用タイヤの
簡易3次元弾性リングモデル化の研究



松原 真己*
(1986年生)

乗用車の開発初期段階においては車両の操縦安定性、振動・騒音性能を予測する上で、タイヤモデルはおおよその力学特性を表現できれば十分である場合が多い。候補者はタイヤを薄肉円筒リングとバネからなる3次元構造体としてモデル化し、解析値と実験値を比較することで、200Hz以下の振動挙動を再現できることを報告している。このモデルの利点は振動試験からモデルパラメータを同定できる点、低自由度であるため計算コストが低い上に、取り扱いが容易である点である。今後、サスペンション系を含めた振動解析を行うことでタイヤ、ホイールの選定に必要な情報を得ることができ、乗用車の操縦安定性確保、振動・騒音低減に繋がること期待できる。

* 正員、豊橋技術科学大学機械工学系（〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1）

研究奨励

(13) 極限環境において駆動を実現する
アクチュエータの研究



山口 大介*
(1986年生)

ヒトを含む一般的な生物が生息可能な条件から逸脱した極限環境（極低温、汚染環境、宇宙環境など）において活動可能なロボットや、極限環境を利用した分析・製造装置の実現に必要な駆動源（アクチュエータ）について研究を行った。極低温環境における圧電材料の性能評価試験、極低温用超音波振動子の設計・評価手法を確立することで、液体ヘリウム温度付近（-268℃）で高速回転を行う超音波モータを実現した。また耐極限環境性に優れるポリイミドフィルム同士の添加剤・前処理レス溶着技術を確立することで、液体窒素温度領域において人に似た柔らかさを持つソフトアクチュエータを実現した。

* 正員、埼玉大学大学院理工学研究科（〒338-8570 さいたま市桜区下大久保255）

研究奨励

(14) 高抵抗電極を用いた
放電加工の微細化の研究



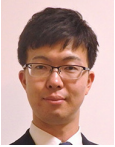
小谷野 智広*
(1985年生)

放電加工はパルス状のアーク放電を利用した熱的な加工法であり、微細加工のための有力な加工法である。しかし、従来の技術で加工可能な最小寸法には限界があった。これは、放電1回当たりのエネルギーの微小化に限界があり、単発放電除去量である放電痕の微小化にも限界があるためである。そこで本研究では、放電加工の微細化の限界の更新を目的として、工具電極材料に着目し、高抵抗材料を工具電極に用いる新しい手法を提案した。そして、高抵抗材料が放電電流の微小化と単発放電除去量の減少に寄与することを解析・実験により実証した。この結果、従来よりも良好な加工面粗さを得ることや、直径1μm以下の微細軸加工に成功した。

* 正員、金沢大学理工研究域（〒920-1192 金沢市角間町）

研究奨励

(15) 転がり機械要素における非線形摩擦及び
振動減衰性に関する研究



酒井 康徳*
(1988年生)

転がり機械要素を用いた精密位置決め装置では、数十～数百マイクロメートルの微小変位領域において、変位に依存する非線形な摩擦現象が生じる。この摩擦現象は位置決め精度の低下を招く。また、非線形な振動特性を発生させる要因となり、制御系の不安定化につながる。本研究では、転がり機械要素の摩擦特性が振動特性に及ぼす影響を実験的・理論的に検討し、これまでは十分解明されていなかった非線形摩擦特性と振動減衰性との関係を解明した。これらの成果は、工作機械をはじめとする精密機械システムに存在する結合部の非線形な剛性・減衰特性を理論的に体系化し、数値シミュレーションによる動特性予測技術の高度化に資するものである。

* 正員、東京電機大学（現）芝浦工業大学 システム理工学部（〒337-8570 さいたま市見沼区深作307）

研究奨励

(16) CFRP部材加工時における金属表面に対する
樹脂付着メカニズムの解明及び
付着抑制手法の開発の研究



村島 基之*
(1985年生)

炭素繊維強化樹脂（CFRP）は、航空機を中心に利用される高強度・軽量な複合材料である。低燃費性が要求される自動車においてもCFRP構造部材の利用が検討されている。一方で、CFRPの低生産性によりその利用は拡大していない。そこで、CFRP部材加工時における工具・金型への樹脂付着を解決すべき目標として研究を実施した。第一に金属表面温度が樹脂付着特性に及ぼす影響を自作の高温下付着力測定装置を用いて明らかにした。次に先の結果より得られた知見を用い、表面テクスチャや電場による樹脂付着抑制手法やCFRPと同時に加工されるチタン合金のドリル加工時におけるバリ抑制テクスチャの開発を行った。

* 正員、名古屋大学大学院（〒464-8603 名古屋市千種区不老町）

研究奨励

(17) 高性能な飛行ロボットの開発を目的とした
飛翔昆虫の力学的デザインの研究



中田 敏是*
(1983年生)

危険区域での探査や情報収集を目的として、ドローンの利用が広がっている。ドローンは、気流が著しく乱れる環境においても、安定した飛行が可能になることで、その応用範囲が広がり、我々の社会により大きな革新をもたらし得る。本研究は、より高性能な飛行ロボットの開発を最終目的として、過酷な自然環境でも安定して飛行する昆虫の力学的設計原理を解明し、羽ばたきロボットの設計指針の導出を目指すものである。本研究の成果は、羽ばたきロボットにおいて、あらかじめ設計された翼の柔軟性や運動等の力学的デザインが極めて重要であることを示しており、次世代の高性能な飛行ロボットの設計指針導出に向けて、大きな役割を果たす。

* 正員、千葉大学大学院工学研究院（〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33）

研究奨励

(18) がん外科手術のための
低侵襲分子イメージングの研究



南川 丈夫*
(1983年生)

医療において「可視化」は、最も直感的かつ納得できる形で治療指針を得る手法である。即ち、組織観察により治療方針を決め、手術では治療部と温存部を見分けながら適切な処置を行う。本研究では、がんの外科手術に着目し、病変であるがんと、術後QOL維持に重要な末梢神経とを、低侵襲的かつ分子に基づいた分別可視化法を実現した。特に、生体内在性代謝物であるPpIXの蛍光に着目したがんの選択的検出法、生体分子の振動と光の相互作用に基づくラマン散乱分光法を用いた末梢神経の選択的検出法を実現した。これにより、「外科手術によるがんの根治」と「患者の術後QOLの向上」を同時に実現しうる計測基盤を実現し、新たな医療の可能性を示した。

* 正員、徳島大学大学院（〒770-8506 徳島市南常三島町2-1）

研究奨励

(19) 3次元組織と機械の融合による
組織機能を利活用したバイオマシンの研究



森本 雄矢*
(1984年生)

受賞者はマイクロ工学技術をバイオ領域に導入することで、細胞の3次元組織と機械が融合したバイオマシンを創出し、様々な分野で利用可能であることの実証に成功した。具体的な成果としては、まず、マイクロ流体デバイスを用いた細胞を含んだハイドロゲルのマイクロ加工技術を実現し、体外において形状自在かつ高速に3次元組織を構築する方法を確立した。さらに、3次元組織とデバイスの融合方法を確立し、伸筋と屈筋の2つの骨格筋組織とロボット骨格を融合した“腕のように関節駆動するバイオロボット”や、ヒトiPS細胞由来心筋組織と力センサを融合した“薬剤毒性・効能評価システム”、などのバイオマシンの創出に成功した。

* 正員、東京大学生産技術研究所（現）東京大学大学院情報理工学系研究科（〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1）

技術奨励

(2) ミラー騒音解析に向けた
wall-resolved LESの実車適用技術の開発



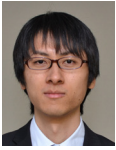
安保 慧*
(1984年生)

自動車の高周波車内騒音において支配的であるドアミラーから発生する空力音に焦点を当て、流れの解析精度向上を行った。車速の増加に伴い流れ場が層流剥離から境界層遷移を経て乱流剥離へ移行する現象を捉えることが重要となる。そこで、基礎ミラー形状の解析において、非定常LES解析による解析クライテリアを構築することで、この境界層遷移現象を精度良く予測する手法を確立した。さらに、構築した解析クライテリアを完成車ミラー部の解析に適用し、約55億要素の全車体周り流れ解析を実施した。その結果、ドアミラー表面の剥離現象を正しく解析することができ、全車体の解析においても、クライテリアを適用すればよいことを明らかにした。

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

研究奨励

(20) 孔やき裂など局所フィーチャを有する
大規模構造物の効率的有限要素法
シミュレーションの研究



遊佐 泰紀*
(1987年生)

き裂を有する大規模構造物の高速弾塑性解析のために、き裂近傍の領域とそれ以外の領域を分離し、両者を固体・固体連成解析する手法を提案し、実際に高速化が可能であることを示した。このコンセプトを拡張することで、非線形有限要素法解析に特化した領域分割法を提案し、収束解が得られることを示した。また、孔やき裂などの局所フィーチャを容易に取り扱うことができる解析手法である重合メッシュ法を改良し、重合メッシュ法の結合剛性行列を生成するための煩雑な積分計算アルゴリズムを消去する方法を提案した。これにより、通常の有限要素法解析を繰り返す行うだけで重合メッシュ法解析が実施可能になった。

* 正員、東京理科大学理工学部（〒278-8510 野田市山崎2641）

技術奨励

(3) 新しい流れコンセプトに基づいた
アウターミラー空力騒音低減の開発



伊藤 祐太*
(1985年生)

従来から空力騒音を低減するには流速と過度を小さくする事が知られており、自動車のアウターミラー設計に置いては、ミラー内側面をミラー前端から後端にかけ流れを剥離しない程度に流路拡大、つまり後開き形状にする事で流速低下と過度低減を図られてきた。しかし、従来の設計コンセプトでは、軽量化・空気抵抗低減を目指すアウターミラーの更なる小型化と乗員からの視認性の一層の向上の両立が困難になってきた。そこで本技術は、流れの基礎式の1つであるBernoulliの式に着目し、空力騒音低減を実現するとともに、小型化・視認性向上を可能にする新たな流れ設計コンセプトの創出に大きく貢献した。

* 正員、トヨタ自動車(株)（〒471-8572 豊田市トヨタ町1番地）

技術奨励

(1) ロケット分離時の衝撃発生挙動の
予測技術の開発



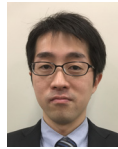
雨川 洋章*
(1983年生)

人工衛星はロケットの段間を締結するノッチ付ボルトが火工品の爆発で衝撃破断することで放出されるため、ボルトの衝撃破断時の分離衝撃力に対する耐久性が求められる。本開発ではノッチ付ボルトの衝撃破断の現象の把握と分離衝撃力の低減を目的として、衝撃発生挙動の解析技術を構築した。自動車・鉄道分野から着想を得た衝突評価技術に温度変化を伴う塑性力学モデルを導入し、衝撃力の予測精度が10%以内であることを実証した。衝撃破断による分離はノッチ底の局所的な破壊から高速で破断に至る現象であることを明らかにし分離衝撃力の低減に寄与する設計変数を示した。本技術は国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構への出向期間に開発した。

* 正員、(株)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

(4) 人共存環境下において移動可能な
安全性の高いロボティックモビリティの開発



今岡 紀章*
(1984年生)

人の移動支援として、自動車や鉄道などの長距離の移動支援手段は十分に存在している。一方、それらをつなぐ短距離の移動支援手段は限られており、人手に頼るところが大きい。超高齢社会においては、人手による負荷を減らすことが急務となることから、人手のサポート無しで安全に使用出来るロボティックモビリティを開発した。特に、空港など人共存状態となる公共空間において、安全性高くかつ違和感なく操縦出来る衝突防止機能を開発した。一般的に安全性と操縦性にはトレードオフの関係があるが、その関係を解決する二段階停止手法を独自に開発し、感性評価を通して実用レベルに落とし込み、空港における長期間の実証により有効性を確認した。

* 正員、パナソニック(株)（〒104-0061 東京都中央区銀座8-21-1）

技術奨励

(5) 対向流燃焼方式を適用した
ストーカ式焼却炉の開発



薄木 太一*
(1988年生)

廃棄物焼却施設では、排ガス中のNOx濃度を基準値以下に抑制するため、触媒脱硝反応塔が広く用いられている。しかし、排ガスを反応温度まで加熱する際に、廃熱回収ボイラで発生させた蒸気の一部を消費するため、廃熱による発電量が低下する問題がある。今回、対向流燃焼方式を適用したストーカ式焼却炉を開発し、触媒脱硝反応塔を不要とした。この燃焼炉は、炉下方からの一次空気やごみ層からの熱分解ガスの上向き流れと対向する形で、炉天井から下向きに高温空気と再循環排ガスを吹き込むことを特徴としており、焼却炉出口NOx濃度の大幅な抑制が実現された。さらにそのNOx低減メカニズムも、数値解析により解明された。

* 正員、JFEエンジニアリング㈱ (〒230-8611 横浜市鶴見区末広町2-1)

技術奨励

(8) 改良沸騰水型原子力発電所の3次元有限要素法
耐震解析のためのモデル化技術の開発



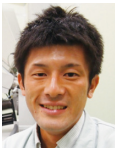
鬼塚 翔平*
(1983年生)

改良沸騰水型原子力発電所の耐震設計に用いる、3次元有限要素法耐震解析のためのモデル化技術の開発を行った。特に、解析精度に影響を及ぼす減衰と流体のモデル化法を開発した。連成振動する複数の発電所構造物の減衰をモデル化するために、要素別Rayleigh減衰に着目し、重み付き最小2乗法を用いた、要素別Rayleigh減衰の特性パラメータの決定法を開発した。さらに、従来の有限体積法による連成解析は膨大な解析時間を要するため、当該発電所の構造物の地震応答への流体揺動の影響は小さいことを見出し、実用流体モデルとして、付加質量による方法を開発した。開発した技術に基づき、当該発電所の耐震設計に3次元有限要素法耐震解析を適用した。

* 正員、日立GEニュークリア・エナジー㈱ (〒317-0073 日立市幸町3-1-1)

技術奨励

(6) 700℃級A-USC蒸気タービン用構造材料の
長期信頼性評価手法の開発



生沼 駿*
(1985年生)

700℃級先進超々臨界圧火力発電 (A-USC) の蒸気タービンは、Ni基合金製ロータ材等の大型構造物が700℃以上の高温水蒸気環境下でクリープ損傷を受けるといふ、これまでに経験のない過酷条件で運用される。このため、材料の実機環境における長期信頼性担保が課題となる。本開発では、高温水蒸気環境中クリープ試験装置を設計、製作して試験を遂行し、従来困難とされてきた、材料損傷に対する曝露環境と負荷応力の影響を同時に評価した。この結果、未解明であった加工再結晶層の粒界酸化機構や、水蒸気及び応力環境での加速酸化機構を実験で確認し、A-USC実機に最も近い条件で信頼性の高い知見を得た。

* 正員、東芝エネルギーシステムズ㈱ (〒230-0045 横浜市鶴見区末広町2-4)

技術奨励

(9) 医用CT画像処理と構造-流体解析に基づく
低侵襲な冠動脈狭窄診断技術の開発



加納 明*
(1987年生)

冠動脈の閉塞や狭窄があると心筋への血流が阻害され、狭心症や心筋梗塞が発生する恐れがある。近年、狭窄箇所前後の冠動脈内圧比として計測される冠血流予備量比 (FFR: Fractional Flow Reserve) が狭窄の指標として有効性が確認されているが、計測には侵襲を伴う心臓カテーテル検査が必要となる。低侵襲な手法として、4D-CT画像のみでFFRを推定する冠動脈狭窄解析法を開発した。本技術では、冠動脈の時間的・空間的な血管変形挙動に着目し、階層ベイズモデルを導入し、CT画像処理技術と構造-流体解析技術を組み合わせ、模擬血管による実験の検証を行い、病院連携の臨床研究により有効性を確認した。

* 正員、(株)東芝 (〒212-8582 川崎市幸区小向東芝町1)

技術奨励

(7) 環境振動を利用した発電を最大化する
電磁誘導型振動発電機の開発



大西 敦郎*
(1986年生)

従来の電磁誘導型振動発電機は、単位体積当たりの発電電力が小さいことが課題であった。そこで、磁束の漏れが小さく磁束が強く集中する振動子構造の発電機を開発し、更に、発電機から見た回路の等価抵抗を任意に調整して、発電電力を最大化できる整流変圧回路を備えたモジュールを開発した。鉄道試験線で実車を用いて発電機を評価したところ、有効に発電できることが立証された。また、実車試験を模擬した振動試験によりモジュールを評価したところ、当社従来比2倍の電力が得られた。社会インフラや産業インフラで求められるIoTセンサーネットワークの自立電源として期待できる。

* 正員、(株)東芝 (〒212-8582 川崎市幸区小向東芝町1)

技術奨励

(10) 貫流ファンのサージング抑制技術の開発



額賀 晴樹*
(1987年生)

環境意識の高まりからルームエアコンの省エネルギー性向上が求められており、室内機で送風に用いられる貫流ファンも効率向上が課題となる。一般的にファンの最大効率点近傍ではサージング (不安定な送風現象) が発生するため、ファン効率向上のためにサージング抑制技術が重要である。本開発では、ファン軸方向に流れが異なることに着目して、流れの可視化によりサージング発生箇所と発生要因の特定を試みた。この結果、ファンの流入と流出を仕切る舌部形状を軸方向に変えることで、他の特性に影響することなく最大静圧を向上してサージングを抑制した。開発技術はルームエアコン製品に適用され、省エネルギー性と快適性の向上に貢献した。

* 正員、(株)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

(11) ボイドメカニクスを考慮した高クロム鋼溶接部のクリープ損傷力学評価法の開発



本田 尊士*
(1986年生)

発電用ボイラ高温配管の信頼性確保の観点から、高クロム鋼の溶接熱影響部細粒域でのType IVクリープ損傷に対する余寿命評価が注目されている。受賞者は、クリープ損傷進展に伴う「ボイド個数密度」の増加を表す「ボイドメカニクス（ボイド発生モデル）」と、損傷力学を組合せた手法を開発し、ボイド発生から最終破壊に到る過程を解析する方法を提案・検証した。すなわち、微視き裂発生に対応する「ボイド個数密度の限界値」を定義することで、従来明確で無かった「損傷変数の物理的意味」を定義し、配管長手継手や周継手に関して、材料のミクロな損傷過程から最終的な構造物のクリープ破壊に至る損傷過程と寿命が予測できることを示した。

* 正員、三菱重工業(株) (〒851-0392 長崎市深堀町5-717-1)

技術奨励

(12) IoT化対応を実現する電力線電流センシングによる工作機械の稼働状態識別技術の開発



前田 真彰*
(1987年生)

近年の生産管理システムは、設備稼働状態などのIoTデータを生産シミュレーションや生産計画に活用しているが、IoT非対応な既設の工作機械（レガシ設備）の存在が生産シミュレーション高度化の障害になっていた。現在、生産現場の工作機械の90%以上はレガシ設備であると言われており、そのIoT化対応が課題である。本技術はレガシ設備にアドオン可能な電流センサを用いて設備の電力線電流波形のパターン認識を行い、稼働状態の自動識別をはじめ可能とした。これにより、従来は不可能だったレガシ設備の稼働状態識別が可能となり、生産シミュレーション精度と生産計画の改善および生産性向上をもたらしものと期待される。

* 正員、(株)日立製作所 (〒244-0817 横浜市戸塚区吉田町292番地)

技術奨励

(13) 鉄道車両の横風走行安定性の評価技術の開発



松居 亮祐*
(1988年生)

横風環境下での鉄道車両の走行安定性を評価するためには、車両運動解析とともに、横風が車両に作用する流体力を評価する必要がある。本開発では、車両模型を用いた風洞試験による流体力の評価手法を開発した。本手法では、実際の車両の走行時と相似となるような気流条件を風洞で再現するため、レイノルズ数やブロック比を十分確保するノズルを最適設計した。また、地面に沿って発達する境界層の影響を排除するため、スプリットプレートによる境界層制御を適用した。その結果、開発した評価手法が、横風走行安定性の評価手法を定めた欧州規格を満足することを確認した。

* 正員、(株)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

(14) 大型回転機械の振動予測精度向上技術の開発



見村 勇樹*
(1985年生)

大型回転機械の機器信頼性や効率向上、開発期間短縮のためには、振動予測精度の向上が重要である。発電機においては、コイル巻線端部の共振回避のため、固有振動数の精度良い予測が課題であった。そこで、目的関数間のトレードオフが容易なサロゲート多目的満足化手法を適用した解析モデル構築手法を開発し、精度を維持しモデル化LTの短縮を実現した。また、蒸気タービンに発生する不安定振動現象であるスチームホワールは、段落増加に伴い発生リスクが高まる。そこで予測手法検証のため、実サイズの試験用蒸気タービンにてスチームホワール発生試験を実施。設計時の安定限界に対するマージン低減が可能となった。

* 正員、東芝エネルギーシステムズ(株) (〒230-0045 横浜市鶴見区末広町2-4)

技術奨励

(15) 軽水炉の信頼性向上に寄与する原子炉格納容器下部プレナム熱流動評価の開発



吉田 和弘*
(1984年生)

原子力プラントの安全性を不慮の災害時でも確保するために、災害時の原子炉容器内の熱流動現象を精緻に評価することが重要である。そこで本研究では、炉心の崩壊熱による自然循環流が支配的となる原子炉の災害時の低出力状態での熱流動現象を、原子炉容器を模擬した縮尺模型内部の可視化、及び多点流量・温度計測を行い、流動パターンや温度混合メカニズムを用いて把握した。低出力状態では、低温の冷却水に浮力の影響がより強く働き、原子炉容器内で広域に拡散するため、高温と低温の冷却水の混合が促進される。その結果、低出力状態の場合の炉心へ流れ込む温度偏差が定格流量状態よりも小さくなり、平坦化されることを新たに明らかにした。

* 正員、三菱重工業(株) (〒676-8686 高砂市荒井町新浜2-1-1)

技術奨励

(16) 多目的進化的アルゴリズムによるガスタービン複合発電プラントの高速起動技術の開発



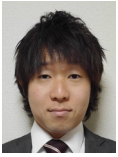
吉田 泰浩*
(1985年生)

電力システムの安定運用を実現するため、ガスタービンと蒸気タービンから構成されるガスタービン複合発電プラントには起動時間の短縮が求められている。しかし、起動時間の短縮によりプラント構成機器に流入するガスや蒸気の単位時間あたりの熱量が増加するため、機器内部の熱応力や熱変形量が増大し、機器損傷の原因となる。本開発では、プラントの過渡特性を評価可能な動特性シミュレータを構築し、多目的進化的アルゴリズムを用いてプラントの起動特性を最適化する技術を開発した。これにより、機器の信頼性を確保しつつプラント起動時間を短縮可能とするソリューションの提案が可能となる。本技術を海外発電プラントに適用し、効果を実証した。

* 正員、(株)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

(17) 鉄道向け水冷リチウムイオン電池モジュールの開発



和田 怜* (1986年生)

高出力が要求される鉄道車両等にリチウムイオン電池を適用する場合、電池が高温となり性能劣化が加速する。一方、電池を安定的に冷却できる水冷システムにおいては部品点数が多く複雑な構成となる問題がある。そこで電池を収容するケーシングとヒートシンクを一体化することで、簡易な構成で水冷を実現すると共に、電池とケーシング間の絶縁性と熱伝導性を両立する構造を開発した。架線レスLRT (Light rail transit) の運行パターンにもとづいた充放電試験の結果、性能劣化が加速する55℃を超えない温度範囲で運用可能であることを実証した。本開発により、大型輸送機器へのリチウムイオン電池の適用が可能となった。

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

教育

(1) ロボットミドルウェアROSの普及への貢献



倉爪 亮*1 (1967年生)



表 允哲*2 (1983年生)



渡邊 裕太*3 (1991年生)

受賞者らは、2015年11月に340ページからなる詳細なROSの日本語解説書「詳説 ROSロボットプログラミング — 導入からSLAM・Gazebo・MoveItまで—」(出版社: Kurazume Laboratory) を上梓し、それをクリエイティブコモンズライセンスによりホームページやGitHubで無償公開した。本解説書は現在までに18,694ダウンロードを記録し、ROSの日本語入門書として広く活用されている。さらに2018年3月には、最新のROSバージョンに対応した「ROSロボットプログラミングバイブル」(出版社: オーム社) を出版するなど、我が国におけるROSの普及とロボット研究の推進に極めて大きな貢献をした。

*1 フェロー, 九州大学大学院システム情報科学研究院 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)

*2 ROBOTIS Co., Ltd., (37, Magok Jungang 5-ro 1-gil, Gangseo-gu, Seoul, Korea (07594))

*3 九州大学大学院システム情報科学府 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)

教育

(2) 新☆エネルギーコンテストによる持続可能なエネルギー利用に関する工学教育の推進



佐々木 直栄*1 (1964年生)



大久保 英敏*2 (1955年生)



吉田 敬介*3 (1957年生)



星 朗*4 (1962年生)



田中 三郎*5 (1984年生)

新☆エネルギーコンテストは、日本機械学会の技術と社会部門が協力

して開催する大学および高専の学生を対象とするエネルギー利用に関する新しいコンテストとして、2008年に玉川大学で産声を上げた。その後、九州大学(第3回)、岩手大学(第4回)と続き、第5回目以降は、東日本大震災からの復旧途上にある福島県郡山市の日本大学工学部で定置開催している。既に11回目を迎え、参加対象も、大学・高専の枠組みを取り払って、高校生以下の低年齢層まで門戸を広げる試みが続けられている。また、実演・発表で用いるポスターを冊子にまとめた概要集も毎回発行している。

本コンテストは、ポスター展示、実演、ショートプレゼンテーションおよび審査結果発表・表彰式の全てに応募者全員が参加でき、審査員と応募者がマンツーマンで討議できる環境が維持できていることが最大の特長であり、応募者(大学・高専の学生および高校の生徒など)が得られる経験は他に例を見ない貴重なものとなっている。

*1 フェロー, 日本大学工学部機械工学科 (〒963-8642 郡山市田村町徳定字中河原1)

*2 フェロー, 玉川大学大学院工学研究科機械工学専攻 (〒194-8610 東京都町田市玉川学園6-1-1)

*3 フェロー, 九州大学大学院工学研究院機械工学部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)

*4 フェロー, 東北学院大学工学部機械知能工学科 (〒985-8537 多賀城市中央1-13-1)

*5 正員, 日本大学工学部機械工学科 (〒963-8642 郡山市田村町徳定字中河原1)

教育

(3) 鉄道車両のダイナミクスに関わる基礎教育(講習会・セミナーの開催と書籍出版)活動



鉄道車両のダイナミクスに関わる基礎教育の活動WG [代表者] 吉田 秀久* (1971年生)

機械工学が担う鉄道車両の設計・開発分野において、今世紀に入り鉄道車両は、地震や突風等の自然現象による被害も多数経験し、これらを考慮した設計が求められるに至った。そこで2003年以降途絶えていたこれらの基本となる鉄道車両のダイナミクスを取扱った講習会・セミナーの開催を、鉄道車両のダイナミクスに関わる基礎教育の活動として、本会交通・物流部門、鉄道技術委員会を拠点に積み重ねられてきた。ここでは、鉄道車両特有の長手方向に対する左右運動と上下振動に大別し、更に基礎理論・構成要素・評価指標などの着眼点別に講義を行う形態が採用されている。また、各講義内での質疑応答に加え、最後の時間帯に講師との懇談の場を設け、自由な雰囲気の中、参加者の理解を助ける場を提供する試みが行われている。これらの集大成として、鉄道車両のダイナミクスに関わる基礎教育の活動WGの執筆により、本会より教科書となるべく書籍が発刊されるに至った。

これら一連の取り組みは鉄道技術に関わる技術者・研究者だけでなく、鉄道車両のダイナミクスに取り組もうとする方々の人材育成に大きく貢献するものである。

* 正員, 防衛大学校システム工学群機械システム工学科 (〒239-8686 横須賀市走水1-10-20)

1. 製品の概要

機械加工現場、特に自動車部品加工の分野においては、継続的なコスト低減が求められている。製造コスト低減のためには、加工時間の短縮や工程集約、設備自体の小形化によって敷地面積当たりの生産性を向上させるといった手法が挙げられる。これらを実現するため、図1に示すような工作物表面を薄く剥ぐように加工することで、良好な面粗度を高い送り速度で実現可能な「スカイピング加工」が注目されている。

このスカイピング加工は理論として確立された加工方法であるが、機械に対する要求性能が高く、発表された当時は実用化に至らなかった。近年、工作機械の性能向上と共に再び注目されているが、スカイピング加工に対応可能な旋盤の多くはミーリング加工主体の大型機に限られてしまう。

そこで受賞者は、図2に示すスカイピング加工に必要な機能をコンパクトな機械サイズに集約したスカイピング加工機「SKV-8」を開発した。



図1 スカイピング加工の様子



図2 スカイピング加工機「SKV-8」

2. ターゲットとする部品とSKV-8導入で期待される効果

上記の自動車用部品はシャフト状であり、その多くは焼入れがされており、かつオイルシール部に用いられる。そのためこれらの部品の加工は、ハードターニング（硬質な工作物に対する旋削）後に研削を行う場合が多い。これらの部品に対し、スカイピング加工が可能なSKV-8を適用することで、図3に示すように部品完成までの所要時間を短縮することが可能になる。更に、研削工程をスカイピング加工で置換可能であれば、設備自体をSKV-8一台で集約することも可能となる。

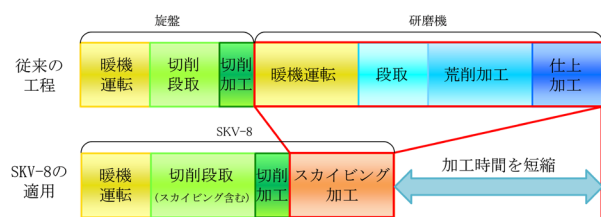


図3 SKV-8導入による工程集約の一例

3. 機械の技術的特長

スカイピング加工は、刃先の1点で加工する旋削と異なり、ある程度の幅を持った線で加工を行う。そのため切削抵抗も増大し、背分力（加工で生じる反力の一つ）は旋削の4倍になると言われている。また、工程集約の観点から、後工程となる研削を担うことも期待されるため、高い加工精度の実現が求められる。更に、スカイピング加工によって生じる切粉は高温で、油に付着すれば容易に発火することから、安全に対する対策も必要となる。

これらの機能的な要求に対し、SKV-8は開発段階から以下の特長を盛り込んだ。

特長①スカイピング加工に対応可能な機械剛性と加工能力

スカイピング加工によって生じる切削負荷に対応するため、同等サイズの機械に比べて高出力、軸受径の大きな主軸を採用した。

ベッドは主要部分の肉厚を十分に確保しつつ、数値解析を駆使することでリブを適切に配置し、剛性を高めた。また、ベッドには切削による熱影響を抑制する目的で、内部に冷却機構が設けてある。

更に、シャフト状の工作物を端から端まで加工する両センタ加工に対応するため、高推力に対応した新開発の芯押し台を標準搭載する。

特長② 真直性に優れる山-平スライドの採用

工作物に対して切込方向となるX軸、及びスカイピング加工における送り方向となるY軸には、真直性に優れる山スライドと剛性に優れる角スライドを組み合わせた山-平スライド構造を採用した。

特長③ 安全性に関する機能の充実

前述のように、スカイピング加工で生じる高温の切粉は、火災を引き起こす可能性がある。SKV-8は自動消火装置を標準搭載することで火災に備えると共に、切粉が発生する条件下では水溶性切削油を切粉流しとして常時吐出する制御回路によって、火災発生を予防する。

4. 販売実績

国内の大手自動車メーカーを中心に、2018年12月までに5台の販売実績がある。スカイピング加工自体が実用化に向けて模索中といった状況ではあるが、テストカット依頼は多数寄せられており、適切な加工方法を提案することで今後普及が進むと期待する。

5. まとめ

SKV-8の開発により、コンパクトな機械でスカイピング加工を実現することが可能となった。今後もより加速するモノづくりの現場において、SKV-8によるスカイピング加工の普及がその発展に貢献することを切に願う。

* 特別員、〒924-8558 石川県白山市旭丘1-8