２０２０年度　日本機械学会賞受賞者

（所属は推薦・申請時のもの）

日本機械学会賞（技術功績）　５件

（配列は受賞者の五十音順）

1	自動車振動騒音性能向上技術の継続的かつ包括的な研究開発	石濱 正男〔明治大学〕
2	複数ロボットならびに人とロボットの協調制御システムの研究	小菅 一弘〔東北大学〕
3	固体酸化物形燃料電池 SOFC とガスタービンを組み合わせた高効率分散電源の開発及び実用化への貢献	小林 由則〔三菱パワー（株)〕
4	超高温産業用ガスタービンにおけるタービン翼冷却技術	武石 賢一郎〔元　三菱重工業(株),元　大阪大学,前　徳島文理大学〕
5	歯車を中心とする自動車用動力伝達要素の技術開発と製品化への貢献	牧 泰希〔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	メゾスケールズーミング解析による CFRP 製圧力容器の強度評価 日本機械学会論文集第 86 巻 883 号（2020 年 3 月掲載）,19-00338	竹本 真一郎〔日産自動車（株)〕 吉川 暢宏〔東京大学〕
	2	Brick model for nonlinear deformation and microcracking in thermal barrier coating Mechanical Engineering Journal 第 7 巻 2 号（2020 年 4 月掲載）,20-00010	米道 英音〔東京理科大学〕 香取 宏明〔ソフトバンク（株)〕 荒井 正行〔東京理科大学〕 伊藤 潔洋〔東京理科大学〕 水津 竜夫〔トーカロ（株)〕
2	3	エンジン用隣接三点 MEMS 熱流束センサの開発 日本機械学会論文集第 84 巻 867 号（2018 年 11 月掲載）,18-00245	出島 一仁〔明治大学（現　滋賀県立大学)〕 中別府 修〔明治大学〕 中村 優斗〔明治大学(現　パナソニック(株))〕 土屋 智洋〔明治大学（現　富士通（株))〕 長坂 圭輔〔明治大学（現　（株）小野測器)〕 樋口 雅晃〔明治大学 (現　東芝マテリアル (株))〕
	4	Simultaneous two cross-sectional measurements of NH3 concentration in bent pipe flow using CT-tunable diode laser absorption spectroscopy Journal of Thermal Science and Technology 第 14 巻 2 号（2019 年 7 月掲載）,JTST0016	松井 仁〔いすゞ自動車（株)〕 宇田川 和正〔いすゞ自動車（株)〕 出口 祥啓〔徳島大学〕 神本 崇博〔徳島大学〕
3	5	乱れを含む流れの中に置かれた翼から発生する空力音に関する研究（第 2 報：翼が円柱後流の影響を受ける場合） 日本機械学会論文集第 86 巻 885 号（2020 年 5 月掲載）,19-00455	小林 典彰〔東京大学（現　大阪大学)〕 鈴木 康方〔日本大学〕 加藤 千幸〔東京大学〕
	6	Sterilization in liquids by air plasma under intermittent discharge Mechanical Engineering Journal 第 7 巻 1 号（2020 年 2 月掲載）,19-00431	村松 海里〔東北大学〕 佐藤 岳彦〔東北大学〕 中嶋 智樹〔東北大学〕 長沢 敏勝〔(株)平山製作所〕 中谷 達行〔岡山理科大学〕 藤村 茂〔東北医科薬科大学〕
4	7	Structural health monitoring of layered structure by strain measurements Mechanical Engineering Journal 第 6 巻 1 号（2019 年 2 月掲載）,18-00390	河村 庄造〔豊橋技術科学大学〕 宮城 祥〔豊橋技術科学大学（現　村田機械(株))〕 伊勢 智彦〔近畿大学（現　日本工科大学校)〕 松原 真己〔豊橋技術科学大学〕
	8	制御実行中にオンラインで PID ゲインをチューニングする学習制御に基づく等身大ヒューマノイドロボットの平行二輪電動スクーター上での調速行動 日本機械学会論文集第 84 巻 864 号（2018 年 8 月掲載）,18-00032	木村 航平〔東京大学〕 溝花 弘登〔東京大学（現　キヤノン（株))〕 野沢 峻一〔東京大学（現　（株）ＭＵＪＩＮ)〕 岡田 慧〔東京大学〕 稲葉 雅幸〔東京大学〕

	9	結合ばねを介して連成する振動系の共振応答の抑制法 日本機械学会論文集第 85 巻 879 号（2019 年 11 月掲載）,19-00171	駒田 匡史〔トヨタ自動車（株)〕 松村 雄一〔岐阜大学〕 城戸 一郎〔元　トヨタ自動車（株）,元　岐阜大学〕 中津川 英治〔トヨタ自動車（株)〕
	10	結合自由度における自己コンプライアンス行列の Rank-One 摂動を利用した共振周波数の制御 日本機械学会論文集第 86 巻 881 号（2020 年 1 月掲載）,19-00163	松村 雄一〔岐阜大学〕 駒田 匡史〔トヨタ自動車（株)〕 松原 真己〔豊橋技術科学大学〕 城戸 一郎〔元　トヨタ自動車（株）,元　岐阜大学〕
5	11	新構造材料適用省エネ型工作機械の熱変位および省エネルギー性能評価 日本機械学会論文集第 86 巻 884 号（2020 年 4 月掲載）,20-00002	加藤 慎〔慶應義塾大学〕 河野 大輔〔京都大学〕 吉岡 勇人〔東京工業大学〕 杉田 直彦〔東京大学〕 浜口 顕秀〔オークマ（株)〕 高野 和雅〔(株）牧野フライス製作所〕 飯島 一憲〔ファナック（株)〕 柿沼 康弘〔慶應義塾大学〕
	12	工作物のトポロジー最適化に基づく荒加工工程の加工順序決定手法の提案 日本機械学会論文集第 85 巻 880 号（2019 年 12 月掲載）,19-00228	櫛野 仁司〔東京農工大学（現　（株）アマダ)〕 熊野谿 真帆〔東京農工大学〕 中本 圭一〔東京農工大学〕
	13	2 成分の波状微細構造をもつロール金型の超精密切削加工 日本機械学会論文集第 85 巻 874 号（2019 年 6 月掲載）,19-00105	寺林 俊雄〔慶應義塾大学（現　パナソニック（株))〕 閻 紀旺〔慶應義塾大学〕
	14	レーザ励起蛍光による工具刃先形状の機上計測に関する研究（水溶性切削液への適用性の検討） 日本機械学会論文集第 85 巻 880 号（2019 年 12 月掲載）,19-00238	松本 宏平〔大阪大学(現　ダイハツ工業(株))〕 水谷 康弘〔大阪大学〕 高谷 裕浩〔大阪大学〕
6	15	幾何学的特徴量に対する偏微分方程式系に基づく幾何学的特徴制約付きトポロジー最適化（積層造形における幾何学的特異点を考慮したオーバーハング制約法） 日本機械学会論文集第 85 巻 877 号（2019 年 9 月掲載）,19-00129	山田 崇恭〔京都大学（現　東京大学)〕 正宗 淳〔北海道大学〕 寺本 央〔北海道大学〕 長谷部 高広〔北海道大学〕 黒田 紘敏〔北海道大学〕
	16	Establishment of an in vitro vascular anastomosis model in a microfluidic device Journal of Biomechanical Science and Engineering 第 14 巻 3 号（2019 年 11 月掲載）,18-00521	渡邉 應文〔慶應義塾大学（現　愛媛大学)〕 須藤 亮〔慶應義塾大学〕

日本機械学会賞（技術）　8 件

（配列は代表者の五十音順）

1	内燃機関の熱効率向上に貢献するエンジンオイルの低粘度化技術	植松 裕太〔トヨタ自動車（株)〕 山守 一雄〔トヨタ自動車（株)〕 平野 聡伺〔トヨタ自動車（株)〕 金子 豊治〔トヨタ自動車（株)〕 宮田 斎〔トヨタ自動車（株)〕
2	火花点火制御圧縮着火を導入した新型ガソリンエンジンの開発	漆原 友則〔マツダ（株)〕 遠藤 孝次〔マツダ（株)〕 江角 圭太郎〔マツダ（株)〕 井上 淳〔マツダ（株)〕 末岡 賢也〔マツダ（株)〕
3	新世代スプリット駆動 CVT の開発	奥平 総一郎〔ダイハツ工業（株)〕 松本 恭太〔ダイハツ工業（株)〕 米田 雄紀〔ダイハツ工業（株)〕 岸 大輔〔ダイハツ工業（株)〕 大治 直樹〔ダイハツ工業（株)〕
4	高品質・高耐久の細径人工筋肉の商品化	鈴森 康一〔(株）s-muscle／東京工業大学〕 脇元 修一〔(株）s-muscle／岡山大学〕 清板 祝士〔(株）s-muscle〕 河野 一俊〔(株）s-muscle〕

5	スキャン方式によるハイビーム配光可変ヘッドランプの開発と量産化	滝井 直樹〔(株) 小糸製作所〕 山村 聡志〔(株) 小糸製作所〕 田中 秀忠〔(株) 小糸製作所〕 加藤 靖礼〔(株) 小糸製作所〕 櫻井 一利〔(株) 小糸製作所〕
6	小惑星探査機はやぶさ２における未踏天体地下探査技術の開発と運用	武井 悠人〔宇宙航空研究開発機構〕 佐伯 孝尚〔宇宙航空研究開発機構〕 澤田 弘崇〔宇宙航空研究開発機構〕 三桝 裕也〔宇宙航空研究開発機構〕 津田 雄一〔宇宙航空研究開発機構〕
7	負荷追従性を格段に向上させた低質量速度設計 USC ボイラ	堂本 和宏〔三菱パワー（株)〕 中拂 博之〔三菱重工業（株)〕 山本 健次郎〔三菱パワー（株)〕 垣見 宗洋〔三菱パワー（株)〕 山崎 義倫〔Mitsubishi Power(Philippines)Inc.〕
8	パウダ DED 方式３次元金属積層造形機の開発	二井谷 春彦〔三菱重工工作機械（株)〕 石井 浩〔三菱重工工作機械（株)〕 倉本 博久〔三菱重工工作機械（株)〕 若名 智宏〔三菱重工工作機械（株)〕 吉村 仁〔三菱重工工作機械（株)〕

日本機械学会奨励賞（研究）　１７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	エンドミル加工におけるシミュレーションを活用した加工状態のモニタリングの研究	金子 和暉〔神戸大学〕
	2	複合材料のマルチスケール粘弾塑性損傷解析の研究	後藤 圭太〔名古屋大学〕
	3	原子論に基づく合金材料の強化メカニズムと強度予測の研究	新里 秀平〔大阪大学〕
2	4	有人宇宙活動における火災リスク低減に向けた微小重力燃焼の研究	小林 芳成〔岐阜大学〕
	5	位相シフト法を用いた熱物質輸送の光学可視化計測の研究	庄司 衛太〔東北大学〕
	6	沸騰熱伝達メカニズム解明の研究	矢吹 智英〔九州工業大学〕
4	7	回転機械診断のための１DCAE による回転体の軸、軸受系の振動解析の研究	石橋 達朗〔(株) 明電舎〕
	8	汎用工作機械における三次元機上計測の研究	大坪 樹〔長崎大学〕
	9	深層学習を用いた３次元物体認識の研究	金崎 朝子〔東京工業大学〕
	10	気流中の柔軟媒体に励起される空力弾性振動の特性および励振メカニズム解明の研究	廣明 慶一〔青山学院大学〕
5	11	DLC 膜の境界潤滑中摩擦摩耗に及ぼすカーボン拡散の影響の研究	ABOUA Kouami Auxence Melardot〔(株) ジェイテクト〕
	12	車輪式移動装置の一般化運動学モデル構築と新メカニズム創出の研究	寺川 達郎〔京都大学〕
	13	カーボン系硬質膜の高温トライボロジー特性の研究	米山 興瑞〔(株) リケン（現　東京エレクトロンテクノロジーソリューションズ（株))〕
6	14	高精度かつ高速な呼吸系気流シミュレーション手法の開発に関する研究	蒋 飛〔山口大学〕
	15	電気生理学に基づく消化器系計算バイオメカニクスの研究	宮川 泰明〔弘前大学〕
	16	螺旋状ゲルを用いたソフトアクチュエータおよび自律型マイクロマシンの研究	吉田 光輝〔慶應義塾大学〕
	17	摩擦音発音の空力音響解析に関する研究	吉永 司〔豊橋技術科学大学〕

日本機械学会奨励賞（技術）　１２件

（配列は受賞者の五十音順）

1	液滴ふく射伝熱の機構論的数値解析評価技術の開発	青柳 光裕〔日本原子力研究開発機構〕
2	物理モデル規範によるガソリンエンジン制御技術の開発	荒川 貴文〔(株) 日立製作所〕
3	排ガス NOx の生成を抑制する微粉炭とアンモニアの混焼技術の開発	石井 大樹〔(株) ＩＨＩ〕
4	複雑な環境情報を処理して要求動作を達成する物流事業向けロボットシステムの把持計画技術の開発	衛藤 春菜〔(株) 東芝〕
5	道路トンネル用足元誘導灯仕様の開発	加賀 啓也〔首都高速道路（株)〕
6	洋上風力多端子直流送電網向けハイブリッド直流遮断器の機械遮断部の開発	金谷 和長〔東芝エネルギーシステムズ(株)〕
7	低速かつ瞬時に係合可能な新機構遠心クラッチの開発	嶌中 祐仁〔(株) 椿本チエイン〕
8	海図生成技術に基づく小型船舶向けインフラレス自動着桟システムの開発	嵩 裕一郎〔ヤンマーホールディングス (株)〕
9	発電用水車で発生する不安定流動現象に関する抑制手法の開発	中島 峻浩〔東芝エネルギーシステムズ(株)〕
10	プレス成形による自動車用燃費向上Ｃ型クランクシャフトスラストワッシャ量産技術の開発	水野 貴大〔大豊工業（株)〕

11	ミッドサイズ SUV 向け新型ハイブリッドトランスアクスルの開発	吉河 泰輝〔トヨタ自動車（株)〕
12	ボイラの信頼性を向上させる高性能伝熱管及び流動安定性評価技術の開発	渡辺 悠太〔三菱重工業（株)〕

日本機械学会教育賞　５件　（配列は代表者の五十音順）

1	翻訳書「確率ロボティクス」と書籍「詳解 確率ロボティクス」の出版およびウェブ上への教材の公開	上田 隆一〔千葉工業大学〕
2	大規模体験型授業からスタートする振動と制御の工学教育	原 進〔名古屋大学〕
3	ナレッジマネジメント（知識経営）の導入によりスターリング冷凍機競技１２年連続日本一を達成した工学教育	森田 慎一〔北見工業大学〕
4	書籍「ロボット制御基礎論」	吉川 恒夫〔立命館大学〕
5	モデルベース開発（ＭＢＤ）教育カリキュラムの策定とその実践	脇谷 伸〔広島大学〕 山本 透〔広島大学〕 原田 靖裕〔マツダ（株)〕 足立 智彦〔マツダ（株)〕 森重 智年〔広島大学〕

２０２０年度　日本機械学会優秀製品賞　受賞社（配列は受賞社の五十音順）

1	CRANE-X7	（株）アールティ
2	渦電流非破壊検査装置 ECNI-Ⅱ	新東工業（株）
3	Σi ローダ高速タイプ	高松機械工業（株）
4	乾式反応集じん装置	（株）プランテック

２０２０年度　日本機械学会女性未来賞 受賞者

1	自己修復機能を付与した炭素繊維強化高分子材料の研究	納所 泰華〔富山県立大学〕

技術功績

(1) 自動車振動騒音性能向上技術の継続的かつ包括的な研究開発

石濱　正男*

受賞者は，日産自動車において環境と経済性を両立する技術開発を行った．その後大学にて，道路騒音の主因であるタイヤ騒音解析で成果をあげ，環境行政にも貢献をし，成果は著書に凝縮して社会に広めた．代表的な業績具体例は下記のとおり．

1．工夫を凝らしたエンジンや車両用の無響室設計等の研究基盤構築：防振・制振技術を駆使して無響シャシーダイナモ，大型レーザーホログラフィ解析室などを設計し，従来にはない実験解析をできるようにした．

2．燃焼・回転を行う複雑なエンジン振動の解析手法開発：エンジン実運転中の振動や荷重伝達の現象を，計測や信号処理を工夫してありありと目に浮かぶように解明した．ここからそれ以後の低騒音エンジンの設計指針が定まり，環境改善に貢献した．

3．主観的評価「音質」と振動現象の対応付け：理論的にエンジン音を設計図から合成する手法を開発し，設計者が自らの感性を用いて設計する新たな世界を切り開いた．

4．画期的な軽量高剛性のエンジン構造設計：エンジンと変速機を卵のような一体構造するトータルシェル構造を開発・商品化した．高速まで伸びやかな軽量快適音質エンジンとして高い評価を得た．音質から構造を設計する方法を創出した．

5．流体封入防振機構のアクティブ制御：内部に封入した流体運動を利用するエンジン支持装置の特性を数式で表現して現代制御理論を適用し，ディーゼルエンジン乗用車の乗り心地をガソリン車並みに向上する世界初の製品開発に導いた．

6．適応制御理論による世界初の量産アクティブ音場制御システム開発：音を出して音を消す方法を，適応型信号処理制御という新方式で可能とし，世界初の量産アクティブ制御システムに導いた．これは車両の軽量化と燃費向上にも役立った．

7．接地・転動によるタイヤ騒音発生機構解析：転がりながらランダムに配置された路面上突起で次々に加振され，内圧で形状を保持する構造タイヤの振動発生機構を，実験と計算を併用して解明した．非線形解析，時間領域有限差分法，構造と空気力学の連成など，多くの分野の技術を総合的に用い，次世代タイヤの方向性を見出した．

8．道路騒音規制の実効性向上への技術開発：違法な大騒音放射車両の交通流での特定，路肩での新停車騒音試験技術を開発した．

以上の様に，独創的かつ包括的な技術開発に関して，大きな功績が認められる．

* フェロー，明治大学・自動運転社会総合研究所（〒164-8525 東京都中野区中野4-21-1）

技術功績

(2) 複数ロボットならびに人とロボットの協調制御システムの研究

小菅 一弘*

受賞者は，ロボットの制御問題を理論的に考察し，仮想内部モデルに基づくロボットの制御系を提案，力制御系の一つであるインピーダンス制御系のロバスト性を向上し，産業用ロボットへの実装を可能にした．また，この仮想内部モデルのコンセプトに基づき，複数ロボットの協調制御や人とロボットの協調を実現した．複数ロボットの協調制御システムの研究においては，各ロボットをインピーダンス制御することで，複数ロボットの協調制御システムが容易に実現できることを示し，1990年には，２台の産業用６自由度垂直多関節型ロボットを用いた単一物体の協調ハンドリングシステムが公開された．また，本制御系は，その後も，双腕マニピュレータによる２部品の組み付け作業や，柔軟な物体のハンドリングなどに拡張されている．

この協調制御システムの概念は，複数移動ロボットの協調制御問題にも拡張され，実験室レベルでの研究を経て，２台および４台の移動ロボットによる車両搬送システムが，それぞれ2008年，2011年に公開されている．これらは，実際の車両を搬送できる世界で初めての複数移動ロボットシステムである．共通の土台に固定されている双腕マニピュレータの協調制御とは異なり，複数移動ロボットは，路面とのスリップが存在し，それらの相対的な位置・姿勢は正確にはわからない．そこで，ロボットの相対位置・姿勢がわからなくても協調が実現できる新たな制御系を開発することによって，複数移動ロボットの協調による車両搬送を実現している．

人とロボットの協調に関しては，ロボットをインピーダンス制御することで，人とロボットの物理的相互作用が安定に実現できることを示すとともに，ロボットと協調して踊るパートナの意図推定メカニズムを開発し，女性ダンスパートナロボットPBDRを2005年に開催された愛知万博で公開した．相手の意図を推定するという概念は，その後，自動車の最終組立ライン工程での利用を目的とした協働ロボットPaDYに展開されている．PaDYは，作業者の行動や作業進度を推定することによって，部品の組み付け作業を行う作業者の手元に必要な部品や必要な工具を手渡すロボットで，他工程への展開も行われている．

受賞者は，複数ロボットの協調制御ならびに人とロボットの協調に関する先駆的な研究を行うとともに，それらの実問題への適用によって，当該分野の発展に大きな影響を与えている．

* フェロー，東北大学大学院工学研究科ロボティクス専攻（〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-01）

技術功績

(3) 固体酸化物形燃料電池SOFCとガスタービンを組み合わせた高効率分散電源の開発及び実用化への貢献

小林 由則*

受賞者は，固体酸化物形燃料電池SOFC（Solid Oxide Fuel Cells）とマイクロガスタービンGTを組み合わせた，高効率でCO_2排出量を大幅に削減するクリーンな次世代の分散電源システムの開発と実用化に貢献した．

SOFCは，酸素イオンのみを透過する特殊な材質からなる電解質を，燃料極と空気極で挟み込んだ構造の発電素子（セル）の内外面に，それぞれ燃料と空気を供給することにより，電気化学反応によって直接電気を取り出す高効率な発電技術である．しかし，このセルはセラミックスの薄膜積層体であり，酸化還元反応による劣化や損傷を防止する目的から，燃料の利用率をある一定レベル以下に抑えて発電を行う必要がある．そこで，GT等の従来型熱サイクルを組み合わせることによって，この残燃料と排熱を有効利用して，燃料の持つ化学エネルギーを最大限電気エネルギーに変換する高度なカスケード利用技術を実現した．

受賞者は，NEDOプロジェクトの実施責任者として，基礎研究ではセルの高耐久性に関する研究を行い，国の開発目標を大幅に上回る製品寿命を実現した．また，システム開発ではGTとの連携によるセルの損傷を防止する為，セル内外の動的な差圧を制御する技術を発明し特許を取得，製品の安全性と信頼性の向上に貢献した．次に実証段階では開発責任者として計画を推進し，プロトタイプとしての製品設計全般を率先して実施した．更にその後の商用機では設計・検証のレビュアーとして貢献し，2004年より一貫して本技術の開発と実用化を主導して来た．本システム（200kW ～ 1MW）は，既に実証機と商用機を合わせて10ユニットが国内で稼働しており，性能の検証及び長期耐久性や各種運用性の実証，更に都市ガスのみならず再エネ由来の水素やバイオ系メタン等多種燃料に関する貴重な運転データも取得している．関連する開発は海外でも長年試みられて来たが，本技術を世界に先駆けて商用化した意義は大きい．また，これらセル性能と耐久性向上に関する研究や連携システムの開発及び実証機等の成果は学術論文として公開され，講演や公的活動及び著作等によっても広く研究レベルの向上と社会への浸透に寄与している．

以上の如く受賞者は，本技術開発による高効率な分散電源システムの実用化を通して，エネルギー・環境分野における低炭素化と将来の脱炭素化に資する大きな貢献が認められる．

* フェロー，三菱パワー株式会社（〒220-8401 横浜市西区みなとみらい3-3-1），九州大学客員教授，大阪大学招聘教授

技術功績

(4) 超高温産業用ガスタービンにおけるタービン翼冷却技術

武石 賢一郎*

現在，化石燃料を用いた大型発電設備ではガスタービンコンバインドサイクル（GTCC）の熱効率が最も高い．1978年産業用GTのタービン入口温度（TIT）がまだ900℃の時代に，TIT1300℃の高効率GTを開発する国家プロジェクト（PJ）が始まった．最終年1987年に袖ヶ浦発電所で１年間にわたる実験機の実負荷運転に成功し終了した．1984年1150℃級GTを用いた世界初のGTCCが稼働し，熱効率44%*を達成した．その後，GTCCの旺盛な需要に支えられ国産技術で1350℃級GT，1500℃級GTが開発された．さらに2004年国家PJ 1700℃級GTの研究開発が始まり，この成果を基に1600℃級GTが開発された．このGTCCは熱効率55%*を達成し，石炭火力に比べCO_2排出量を約１/３に削減した．（*HHV基準）

GTCCは社会インフラを担う設備故，その主機である産業用GTの信頼性が重要である．中でも高温高圧のガスに晒されるタービン動翼は，一万gによる遠心力がかかる条件下で１年以上の連続運用が求められる．産業用GTのTITは航空用GTと同じレベルに達したが，タービン翼冷却技術には大型産業用GT特有の課題があった．特に産業用GTのタービン翼は航空用GTの３ ～ ４倍の大きさなので，翼内面から冷却するのみでは過大な熱応力を発生させるため，フィルム冷却の最適な適用が必須であった．

受賞者は 国家PJ高効率GTの全てのタービン翼の冷却設計をスタートに，以降TIT1500℃級GTまでの初号機全てのタービン翼の冷却設計を行い，更に冷却設計に必要な伝熱研究を実施した．TITの上昇に伴ってタービン翼面の熱負荷が増大し局所のメタル温度推定精度向上が必要となるため，高精度な伝熱実験を考案し実施した．伝熱研究の対象部位はタービン翼全箇所に及ぶが，中でも実機条件下の回転動翼面上のフィルム冷却の研究，回転冷却流路面の伝熱研究，高負荷タービン翼の伝熱研究などで世界をリードした．さらに国家PJ1700℃級GTに参画し新しいフィルム冷却構造を提案してTIT1600℃級GT開発の成功の一端を担った．

今後，出力変動調整が可能で高性能・高信頼性のGTCCはカーボンニュートラルな社会の実現に向かって発電設備の主役としての貢献が期待される．さらに水素，アンモニア等を燃料としたGTは未来社会でも多大に寄与すると考える．

* フェロー，元 三菱重工業㈱ 技術本部 高砂研究所，元 大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻，前 徳島文理大学理工学部（〒659-0094 芦屋市松ノ内町10-22）

技術功績

(5) 歯車を中心とする自動車用動力伝達要素の技術開発と製品化への貢献

牧 泰希*

自動車用動力伝達技術は動力源とタイヤをつなぎ，燃費，運動性能，小型軽量化，振動騒音の低減等の相反する性能を高度に成立させるための必須の技術である．受賞者は，自動車の動力伝達において最も重要な機械要素である歯車の設計，性能解析を中心に変速機，ドライブトレーンシステムの技術開発，製品開発に携わり，小型軽量化，低振動化の実現に貢献してきた．特に歯車の性能技術開発では下記について研究開発を実施した．

① 強制力である歯車のかみあい変動（かみあい伝達誤差）の絶対値が計測できる装置の開発および解析手法を構築し，製品に求められる振動レベルを実現する歯車の設計手法を構築した．

② はすば歯車のかみあい理論に基づき，歯面形状の管理をかみあい進行方向とし，この方向の形状がかみあい性能と相関の取れることを検証し，量産管理に導入した．これにより，歯車に求められる強制力レベルに必要な工法の決定および製造ばらつきの低減を可能とし，量産製品の安定的な性能確保に貢献した．

③ 支持剛性が十分に剛ではない歯車について，負荷毎の支持部の変形に伴う歯面上の接触点軌跡の位置での軌跡上の形状を負荷に応じた形状とすることで，広い負荷域でかみあい強制力を低減できる独創的な３次元歯面修整形状を提案し検証するとともに製品化に結び付けた．

一連の歯車性能解析技術は，振動騒音の起振力レベル低減とばらつき低減を実現しただけでなく，強度・耐久性の検討にも拡張され，自動車用変速機の小型軽量化（同体格で重量10％減：候補者所属会社主力現行変速機と２世代前主力変速機比）に貢献してきた．さらに近年は，歯車起振力により励起される歯車システム全体の振動伝達系における共振分散設計技術による振動低減技術開発にも取り組み範囲を広げ，開発の短期化と自動車全体のバランスのとれた性能づくりに貢献している．また，自動車用動力伝達技術組合（TRAMI）の設立にも尽力し，産学連携を通じた日本の動力伝達技術の活性化と人材育成に大きく貢献している．

* 正員，トヨタ自動車㈱（〒471-8571 豊田市トヨタ町１番地）

論　文

(1) メゾスケールズーミング解析による CFRP製圧力容器の強度評価

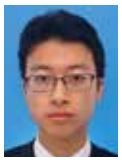
竹本 真一郎*1　吉川 暢宏*2

燃料電池自動車用高圧水素容器の合理的設計技術の開発は，2050年カーボンニュートラルを実現するための最優先課題の一つである．高圧水素容器は樹脂を含侵させた炭素繊維束を内槽容器に巻きつけるフィラメントワインディングにより製造される．その開発と実用化は航空宇宙技術として先鞭がつけられ，圧縮天然ガス自動車用燃料容器として長期信頼性に関する実績が積まれ，高圧水素用容器に展開された．航空宇宙分野および圧縮天然ガス自動車分野を先導していた欧米諸国においては，長年にわたり培われてきた強度評価と設計に関する経験則が蓄積されているが，我が国においては経験に乏しく，後塵を拝する状況となっている．この状況から脱却し，技術力を飛躍的に高める基幹技術が「富岳」に代表される超並列計算技術を活用したシミュレーション技術である．本論文では，計算機能力不足のため，炭素繊維強化プラスチック層を直交異方性連続体としてモデル化せざるを得ず，そのため正確な強度モデルに基づく合理的強度評価が不能となっていた既往の方法論を大きく転換するため，超並列計算技術の活用を想定して，炭素繊維束と樹脂を区分するメゾスケールモデルに基づく新たな方法論を提案し実証した．この方法論によれば，炭素繊維束と樹脂の強度モデルを直接的に導入することで正確な強度評価が可能であることに加えて，炭素繊維束のワインディング経路などのメゾスケール構造パラメータの誤差が強度に与える影響までを定量的に解析可能であり，設計および製造プロセスの高度化に大きく貢献するものと期待される．本論文では，強度モデル構築において，樹脂の複雑な非線形挙動に加えて，ひずみ速度依存性までを取り込む必要性を示し，試験体容器の破裂試験を通じて提案手法の有効性を示した．本論文で有効性を実証したメゾスケールモデルに基づく方法論を展開することで，国連規則として課されている多大なコストと半年近い期間を要する実容器を用いた設計確認試験を改訂する合理的論拠を示すとともに，今後激化する国際的な燃料電池自動車用高圧水素容器開発競争における我が国の技術的優位性を強化することに，大きく貢献するものである．

＊ 掲載：日本機械学会論文集，86-883，(2020-3)，19-00338.
*1 正員，日産自動車㈱ 総合研究所
*2 フェロー，東京大学　生産技術研究所

論　文

(2) Brick model for nonlinear deformation and microcracking in thermal barrier coating



米道 英音*1　香取 宏明*2　荒井 正行*3

伊藤 潔洋*3　水津 竜夫*4

発電用ガスタービン（GT）においては，燃焼ガスから動翼を保護するためにセラミック遮熱コーティング（TBC）が施されている．長期にわたりTBCの信頼性を保証するためには，複雑な温度・応力変動下でTBCに生じる応力とはく離寿命を正確に評価する必要がある．

ところでTBCはプラズマガス流に投入し，半溶融状態になったセラミックス粉末を高速で対象表面に衝突し，堆積することで成膜される．このため，同微視的組織は扁平した粒子（スプラット）が堆積した複雑な様相を呈し，スプラットの相互すべりやマイクロクラックが発生してTBCが非弾性変形すること，さらにスプラット界面でき裂が発生，進展することでTBCがはく離することが知られる．それにも関わらずTBCの応力解析では既存の粘塑性構成方程式の適用に留まっていた．

本論文は，土木工学などで注目されてきたBrickモデルに着目し，TBCのもつ複雑な微視的様相をBrickモデルで表現することを試みたものである．同モデルでは，数ミクロンサイズのスプラット形状を長方形レンガで置き換え，成膜条件の影響をレンガ形状に反映する．さらにレンガ同士を非線形Cohesiveモデルで結合することでスプラットの相互すべりを表現している．これに加えて同結合モデルにおける凝集エネルギーが臨界値に達したら破断するとして，スプラットバウンダリーでき裂が発生，進展するようにしている．このBrickモデルをTBCにおける損傷が局在化する領域に適用するとともにその周辺には著者らが開発した損傷連成非弾性モデルを適用することでミクロスケールとマクロスケールを融合することを図っている．様々な成膜条件のもとで準備されたTBC皮膜単体の曲げ試験を行い，その応力-ひずみ曲線とき裂の発生・進展経路を調べている．Brickモデルと損傷連成非弾性モデルを組み込んだ有限要素解析による数値シミュレーション結果の比較から，異なった成膜条件下で得られた応力-ひずみ曲線は解析結果と完全に一致していること，スプラットとその界面を複雑に進展するき裂進展経路を適切に数値シミュレーションできることを明らかにしている．とりわけ，成膜条件にき裂進展経路が強く影響を受けることを見出している．今後，本Brickモデルは，３Dプリンターにおける積層構造のシミュレーションにも適用可能であり，今後の適用範囲の広がりが期待される．

＊ 掲載：Mechanical Engineering Journal，7-2，(2020-4)，20-00010.
*1 学生員，東京理科大学大学院工学研究科機械工学専攻
*2 正員，ソフトバンク
*3 正員，東京理科大学工学部機械工学科
*4 正員，トーカロ㈱溶射技術開発研究所

論　文

(3) エンジン用隣接三点MEMS熱流束センサの開発

出島 一仁*1　中別府 修*2　中村 優斗*3

土屋 智洋*4　長坂 圭輔*5　樋口 雅晃*6

自動車用内燃機関（エンジン）において，燃焼室壁面で生じる熱伝達は熱効率や排気などに大きな影響を与えることが知られている．そのため，エンジン性能の向上のためには熱伝達メカニズムの解明が極めて重要といえる．しかしながら，燃焼室内の現象は非常に高速かつ複雑であり，従来の計測技術では熱伝達現象を詳細に捉えることが困難であった．

著者らは，MEMS（Micro-Electro-Mechanical Systems）技術を用い，これまでになく高分解能な測定が可能な熱流束センサを開発した．本センサは直径900ミクロンの円周上に一辺315ミクロンの薄膜測温抵抗体を３つ搭載しており，エンジン内の乱流渦と同等の空間スケールでの多点同時測定を可能とした．さらに，測温抵抗体式の採用により，従来の熱電対式の10倍以上の高感度測定と熱流束較正を可能とした．

開発したセンサを用いてエンジン実機における熱流束測定試験を行ったところ，瞬時熱流束を明瞭に捉えることに成功した．得られた瞬時熱流束はサイクルごとに大きく変動することが明らかとなり，さらに，熱流束の位相とピーク値に相関があることを見出した．本センサによる高S/N比測定の実現により，従来の平均化処理で見落とされていた瞬時熱伝達現象の実像を明らかにしつつある．

さらに，隣接点で得られた瞬時熱流束が互いに似た波形を示すものの，その位相がわずかにずれていることに着目し，熱流束の位相差から壁面近傍の移流速度を推定する手法を開発した．エンジン実機で推定された移流速度は数m/s程度となり，可視化エンジンで光学的に測定された流速と大きな差はないことが確かめられた．移流速度の物理的意味や推定精度の検証は今後の課題として残るものの，本手法により，プローブを１本挿入するだけで光学的アクセスの難しいエンジンにおいて熱伝達と流動の関係を調べられるようになる可能性がある．熱伝達と流動を同時に捉えることができれば，熱伝達メカニズムの解明に大きく貢献できると期待される．

＊ 掲載：日本機械学会論文集，84-867，(2018-11)，18-00245.
*1 正員，明治大学大学院 理工学研究科（〒214-8571 川崎市多摩区東三田1-1-1）（現）滋賀県立大学
*2 フェロー，明治大学 理工学部
*3 正員，明治大学大学院 理工学研究科（現）パナソニック㈱
*4 正員，明治大学大学院 理工学研究科（現）富士通㈱
*5 正員，明治大学大学院 理工学研究科（現）小野測器㈱
*6 正員，明治大学大学院 理工学研究科（現）東芝マテリアル㈱

論　文

(4) Simultaneous two cross-sectional measurements of NH_3 concentration in bent pipe flow using CT-tunable diode laser absorption spectroscopy*

松井　仁*1　宇田川 和正*2　出口 祥啓*3　神本 崇博*4

自動車の排出ガス浄化のため，尿素Selective Catalytic Reduction（SCR）と呼ばれる浄化装置が窒素酸化物（NOx）の浄化に広く用いられている．この尿素SCRのNOx浄化には，触媒入口のアンモニア（NH_3）の濃度分布が影響することが知られており，Computed Tomography（CT）と半導体レーザ吸収法（Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy：TDLAS）を組み合わせた手法（CT-TDLAS）が，触媒入口NH_3の２次元温度・濃度分布の計測に用いられている．また，自動車開発の現場では流体シミュレーション（Computed Fluid Dynamics：CFD）によって，触媒入口のNH_3濃度分布の推定が行われている．しかし，CFDの結果が正しいかどうかを実機試験で確認することは難しく，また単一断面での計測だけでは流体がどのように流れているか詳細に知ることが困難なため，設計上の問題点を迅速に把握することが難しいのが現状である．

本論文ではこれらの問題点を解決すべく，２断面同時に尿素SCR入口のNH_3濃度分布を計測し，この計測結果とCFDの計算結果の比較を行った．本研究では先に述べたCT-TDLASの手法を用い，複数のレーザパスから複数の吸収量を得て，これらの吸収量をCT解析にかけ空間分布を再構成し２次元の対象ガス（NH_3）の濃度分布を得る．著者らはまず，４重円管を用いたCH_4ガス濃度分布計測を行い濃度分布計測の精度検証を実施した．次に８つの試験条件について，２つの32パス計測セルを用いたNH_3濃度分布の２断面同時計測を行い，合わせてこの試験を模擬したCFDによるシミュレーションを実施し，これらの結果比較を行った．２次元のNH_3濃度分布の２断面の同時計測については，各条件とも断面毎のNH_3濃度分布が時間経過とともに変化している様子が捉えられていた．また，これらの試験結果とCFDによるシミュレーション結果との比較では，概ね２次元のNH_3濃度分布は類似したパターンを示していた．本研究の結果，CT-TDLASによる２断面32パスの計測セルを使いNH_3濃度分布を計測することで，断面毎に異なる濃度分布を過渡的に捉えることが可能となることを示した．また，これら２断面の計測結果はCFDのシミュレーション結果と非常に類似した分布になっており，流れの現象把握や実験とCFDの精度検証作業に有用であることが示された．

＊ 掲載：Journal of Thermal Science and Technology，14-2，(2019-7)，19-00237.
*1 正員，いすゞ自動車㈱CAEデジタル開発推進部
*2 いすゞ自動車㈱CAEデジタル開発推進部
*3 正員，徳島大学大学院社会産業理工学研究部
*4 徳島大学大学院社会産業理工学研究部

論　文

(5) 乱れを含む流れの中に置かれた翼から発生する空力音に関する研究（第２報：翼が円柱後流の影響を受ける場合）

小林 典彰*1　鈴木 康方*2　加藤 千幸*3

乱れを含む主流中に翼などの揚力を生じる物体（リフティングボディ）が置かれた場合，物体まわりの流れから発生する音が，主流に乱れが無い場合と比較して，10デシベルから20デシベル程度，大幅に増大することが知られている．このような流れは，ファンの上流に障害物が設置され，その後流中の乱れを含んだ流れがファンの動翼に流入する場合，上流の風車や大気境界層中の乱れの影響を受ける風車の動翼まわりの流れなどで発生し，工学的に重要度の高い問題である．

乱れを含んだ主流中に置かれた翼から発生する音に関しては，これまでいくつかの研究成果が発表されており，たとえば，このような場合に音が大きくなる理由として，乱れによる翼の迎え角の変動による翼の揚力変動や乱れ自体から発生する音の翼表面における散乱があげられていた．しかし，これらの仮説を裏付ける具体的なデータは十分には示されておらず，音が増大する本質的な原因は明らかにされていなかった．

本論文は特殊な風洞実験と大規模な数値流体解析・数値音響解析を駆使して，乱れを含む主流中に置かれた翼から発生する音が増大する本質的な理由を明らかにしたものである．まず，円柱の直径や設置位置を変化させることにより，翼に流入する乱れのスケールやその周波数，乱れが流入する位置を変化させることで，翼に対する乱れの通過位置をわずかに変化させた場合に翼面静圧変動や発生する音が大幅に変化することを風洞実験から明らかにした．次に，流れと音の数値解析により，翼の表面にすべり壁の条件を設定すると翼表面には境界層は発達しないが，境界層が発達する固着壁条件の場合よりも発生する音が大きくなることを示した．このことは，主流中の乱れ自体が翼のまわりで変化し，音が発生することを意味しており，本論文で得られた知見の中で最も重要なものである．さらに，翼まわりの流れと発生する音を詳細に調査した結果，主流中の乱れ（渦）が翼前縁の淀み点で速度が零になり，その後の加速により渦が引き伸ばされることが，乱れの中に置かれた翼（リフティングボディ）から発生する音が大きくなることの本質的な理由であることを明らかにした．

＊ 掲載：日本機械学会論文集，86-885，(2020-5)，19-00455.
*1 正員，東京大学生産技術研究所（〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1）
(現)大阪大学大学院工学研究科（〒565-0871 吹田市山田丘2-1）
*2 正員，日本大学理工学部（〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8-14）
*3 フェロー，東京大学生産技術研究所（〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1）

論　文

(6) Sterilization in liquids by air plasma under intermittent discharge

村松 海里*1　佐藤 岳彦*2　中嶋 智樹*3

長沢 敏勝*4　中谷 達行*5　藤村　茂*6

低温大気圧プラズマは，滅菌，創傷治癒，がん細胞治療などの医療応用として近年注目を集めている．プラズマは空気と電気があれば簡便に生成できる上，多様な微生物に対して殺菌効果があり，さらに耐性を発生させないなどの利点を有している．著者らは，プラズマ滅菌を長年に亘り研究してきたが，小型で安全，低コストで行えるコンタクトレンズ滅菌装置の研究を進めてきた．これらの研究より，プラズマ発生部の温度をできるだけ低くすることで，排出量を低減したい窒素酸化物の生成を抑え，滅菌性能を向上させるオゾンの生成を増加させることができることを明らかにしてきた．本論文では，プラズマ発生部の温度の低減を目指し，間欠放電を取り入れ，オゾンの高濃度化，硝酸・亜硝酸の低濃度化を行い，この条件における滅菌特性を解明することを目的とした．滅菌性能は，耐熱性芽胞菌である*Geobacillus stearothermophilus*を用いて検証した．著者らの先行研究と比較すると，間欠放電により基板温度を49℃から36℃程度まで下げることに成功した．これに伴い，水中オゾン濃度は2.5mg/Lから6.1mg/Lまで増加し，硝酸を110mg/Lから49mg/Lに，亜硝酸を0.6mg/Lから0.3mg/Lに低減することに成功した．滅菌時間は，先行研究の58分より延び80分となったが，これは，窒素酸化物生成量の低減により，強い殺菌作用を有するペルオキシ亜硝酸の生成量が低減したためと考えられる．本論文では，放電部の低温下により窒素酸化物の低減に成功したが，窒素酸化物から生成されるペルオキシ亜硝酸が滅菌機構において重要な役割を担うことも示した．

＊ 掲載：Mechanical Engineering Journal，7-1，(2020-2)，19-00431.
*1 正員，東北大学大学院工学研究科
*2 フェロー，東北大学流体科学研究所
*3 正員，東北大学流体科学研究所
*4 ㈱平山製作所
*5 正員，岡山理科大学
*6 東北医科薬科大学

論　文

(7) Structural health monitoring of layered structure by strain measurements

河村 庄造*1　宮城　祥*2　伊勢 智彦*3　松原 真己*4

構造物の健全性評価（SHM: Structural Health Monitoring）は，持続可能社会の実現のために非常に重要な技術であり，SDGsにもNo. 11 goal: Sustainable Cites and Communitiesが挙げられている．構造物は様々な外力によって振動するので，振動を測定することで構造物の特性や，その変化を知ることができる．そのため振動現象を利用した様々なSHMの手法が研究されている．その様な診断手法の基本的なものは，固有振動数の変化に着目するものである．意図的あるいは周辺の環境からの加振による応答を周波数分析して共振ピーク，すなわち固有振動数を求め，正常時の固有振動数と比較して異常を検出する．その後，例えば感度解析によって，正常時の特性パラメータからの変化量を推定し，異常の発生位置と程度を求めるものである．この手法は大変有用であるが，固有振動数は構造物全体の特性を表す指標であるため，局所的に異常が発生しても，構造物の全ての固有振動数に影響が現れる．したがって異常検出後に異常箇所の推定が必要になる．最近では構造物の多数の点で測定した振動データをビックデータ化することにより健全性を評価する研究も行われている．

本研究では，層状構造物のどこかの階層の外壁，あるいは外壁と床との結合部に何らかの異常が生じた場合に，異常が発生した階層を特定する方法を提案した．実際の層状構造物の外壁は床面で回転自由度が拘束されているため，特定の階層で発生した異常による変化がその階層に局所化し，他の階層に伝わらないことを利用する．初めに，各階層の外壁で正常時にひずみがほぼ0になる位置を特定し，その位置でひずみを常時測定する．特定の階層で異常が発生すると，もともとはほぼ0であったその階層のひずみのみが有意な値を持つようになり，異常が発生した階層を特定することが可能である．

提案する手法を，三層構造物を対象として数値シミュレーションで検証した結果，異常階層の特定が可能であることがわかった．さらに提案手法を実験的に検証した．三層構造物の外壁を四本のはりで作成し，はりの一部の厚みをわずかに削ることで異常を模擬した．そして正常時と異常時においてひずみを測定したところ，異常が発生した階にのみ有意なひずみが現れた．したがって提案手法の有効性が実験的にも示された．

* 掲載：Mechanical Engineering Journal，6-1，(2019-2)，18-00390.
*1 フェロー，豊橋技術科学大学機械工学系（〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ケ丘1-1）
*2 豊橋技術科学大学機械工学専攻（〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ケ丘1-1）（現）村田機械㈱
*3 正員，近畿大学理工学部（〒577-8502 東大阪市小若江3-4-1）（現）日本工科大学校
*4 正員，豊橋技術科学大学機械工学系（〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ケ丘1-1）

論　文

(8) 制御実行中にオンラインでPIDゲインをチューニングする学習制御に基づく等身大ヒューマノイドロボットの平行二輪電動スクーター上での調速行動

木村 航平*1　溝花 弘登*2　野沢 峻一*3
岡田　慧*4　稲葉 雅幸*4

人間が移動のために利用している搭乗型道具をヒューマノイドロボットが操る行動実現の研究が取り組まれている．近年では災害対応を想定したロボット競技会DARPA Robotics Challengeにおける課題のタスクとして，ヒューマノイドロボットによる自動車の運転行動の実現等がなされている．このような搭乗型道具の例では搭乗した後の運転及び操縦のフェーズにおいてヒューマノイドロボットは着座姿勢の状態であり，バランスの安定化はとりわけ重要とされない．バランス維持も考慮に入れた搭乗型道具の操作行動実現を目的として，本論文では搭乗型道具自体にバランス補正の機能を部分的に含んだ乗り物の運転操作行動に着目する．ハンドルが付属した搭乗面のボードが1面のセグウェイと異なり，左右の足を独立して乗せて操作する2面のボードから構成されたハンドルがないタイプの平行二輪電動スクーターを操縦の対象とする．

本論文では，平行二輪電動スクーター上でヒューマノイドロボットが自らの速度を調整するためのPIDゲインのチューニングに対するオンライン学習制御系を提案している．この速度の調整方策を調速行動と定義する．Iterative Feedback Tuning（IFT）に基づく提案したシステムは，学習制御の際にコントローラに中断やリセット/リスタートを与えることなくオンラインでの継続性を提供する．このとき，制御実行中におけるPIDゲインの更新では積分ゲインの変化が制御入力の発散に影響する問題が生じる．この問題に対して，制御偏差の前回の積分値に修正を加える前回値補正積分器をディジタル積分器としてオンライン学習制御系に導入した．提案した積分器は従来のアンチワインドアップや目標値整形を適用することなく衝動的な制御入力の変化を解消することができる利点を有する．結論として，本論文では提案したオンライン学習制御に基づく等身大ヒューマノイドロボットによる平行二輪電動スクーター上での調速行動を実証した．最終的に学習結果を利用したヒューマノイドロボットの速度制御による平行二輪電動スクーターの運転操作行動を実現した．

* 掲載：日本機械学会論文集，84-864，(2018-8)，18-00032.
*1 正員，東京大学
*2 東京大学（現）キヤノン㈱
*3 東京大学（現）㈱MUJIN
*4 東京大学

論　文

(9) 結合ばねを介して連成する振動系の共振応答の抑制法

駒田 匡史*1　松村 雄一*2　城戸 一郎*3　中津川 英治*1

自動車や機械の強制力の周波数が変化する場合に，励起される構造体の共振を制御し応答を抑制することができれば，構造体の対策に掛かるコストや質量を抑えることができると考える．構造体の共振制御に必要な構造変更量を求めるには，共振点での全系の振動モードを確認し数水準の設計諸元を変更して所望の解を探索したり，設計変数に対する感度解析を行うのが一般的である．しかし，強制力の周波数が時々刻々と変化し，それに対して共振を制御する場合には，このような逐次計算を行わずに解を求められる計算負荷が小さい方法が必要となる．これに対して，全系の共振はいくつかの分系が連成して発生するため，構造変更を施す部位を鑑みた上で分系に分けて構造変更量を求めることが有用である．本研究では，２つの分系が結合ばねを介して多点でつながれている振動系を対象に，それらが連成して発生する共振を任意の周波数へ配置し，同時に共振応答を零とする方法を提案した．強制力の周波数変化に応じて共振をリアルタイムに制御することを想定して，変更部位は結合ばねのみとした．目標とする共振周波数および共振応答を零としたい自由度を設定すれば，それを満足する結合ばねの値を繰り返し計算することなく求めることができる．

本研究では，伝達関数合成法を用いて入力と変位応答の関係を分系の伝達関数と結合ばね値で定式化し，２分系と結合ばねの連成関係に関するカーネルコンプライアンス行列（先行研究）の固有ベクトルに着目した．この固有ベクトルは，多点の結合における連成を表しておりベクトルψとする．共振応答を抑制するようなψを，２分系の伝達関数行列の幾何学的な考察から求める．このψの存在条件は，共振応答を抑制させる評価点の自由度数と結合点の自由度数の関係式で表せる．決定したψから，共振周波数の配置と応答抑制を実現する結合ばね値が求まる．

はり構造体へ本手法を適用して，全系の共振周波数を移動させつつ狙いの評価点の共振応答を抑制できることを確認した．全系の固有モードを確認した結果，狙いの評価点の固有モードの変位が零となり共振応答の抑制につながるという知見を得た．

＊ 掲載：日本機械学会論文集，85-879，(2019-11)，19-00171.
*1 正員，トヨタ自動車㈱（〒471-8572 豊田市トヨタ町1）
*2 正員，岐阜大学（〒501-1193 岐阜市柳戸1-1）
*3 正員，元 トヨタ自動車㈱，元 岐阜大学

論　文

(10) 結合自由度における自己コンプライアンス行列のRank-One摂動を利用した共振周波数の制御

松村 雄一*1　駒田 匡史*2　松原 真己*3　城戸 一郎*4

有限要素法の発達により，複雑で多自由度の機械であっても，その構造諸元がわかれば，その機械の共振周波数を求めることはたやすい．しかしながら，この逆問題として，所望の共振周波数を実現する構造変更を求めることは難しい．これは，共振が各部品の連成で形成されるためと考えられ，全系に比して小さな部品の仕様を少し変えるだけでも複数のモードの共振周波数が大きく変化することがある．連成を解き明かす何らかの手段なしに，逆問題を解いて共振周波数を自在に配置することは難しいと考えられる．

共振現象における分系間の連成を解き明かす糸口を与える方法として，著者らの一人が開発したカーネルコンプライアンス分析法がある．この方法は，全系を２分系に分離し，分系間の連成という視点から共振の形成理由を分析する方法であり，個々の分系における伝達関数を，伝達関数合成法によって全系の伝達関数と結ぶことを基礎としている．伝達関数合成法を用いると，加振点から応答評価点までの分系を跨いだ振動伝達を明確に表現できる．これにより，振動伝達の過程で２分系が連成する理由を，結合領域内で定義された伝達関数の固有値解析の視点から分析できる．

本研究では，カーネルコンプライアンス分析法を基礎として，全系の共振周波数を自在に配置する際に，設計対象の分系で必要となる構造変更の指針を与える方法を検討した．特に，大規模有限要素モデルを用いた設計での利用を意図して，共振配置に際して必要な分系のモード質量やモード剛性の変更量を計算できる方法を検討した．これにより，市販の有限要素解析ソフトウェアにおけるひずみエネルギー／運動エネルギー密度分布の可視化機能を利用しながら，必要な分系の構造変更量を，様々な制約条件下で設計者が検討できる．従来の共振制御では，レイリー商感度に代表されるように，全系の共振周波数において各分系が振動する際に有する力学的エネルギー相当の量を指標に慣性や剛性を変更するなどが一般的であったが，振動伝達の視点での分系の役割は不明確であった．一方，本研究では，振動伝達を介した共振形成に分系が果たす役割という視点から，分系の構造変更指針をWedderburnの定理を利用したRank-One摂動から導き，狙った周波数に共振形成を実現する方法が提案されている．これにより，任意の機械構造物の共振制御を，連成のメカニズムを理解しながら実現できる．

＊ 掲載：日本機械学会論文集，86-881，(2020-1)，19-00163.
*1 正員，岐阜大学（〒501-1193 岐阜市柳戸1-1）
*2 正員，トヨタ自動車㈱（〒471-8572 豊田市トヨタ町1）
*3 正員，豊橋技術科学大学（〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1）
*4 正員，元 トヨタ自動車㈱，元 岐阜大学

論　文

(11) 新構造材料適用省エネ型工作機械の熱変位および省エネルギー性能評価

加藤　慎*1　河野 大輔*2　吉岡 勇人*3　杉田 直彦*4

浜口 顕秀*5　高野 和雅*6　飯島 一憲*7　柿沼 康弘*8

工作機械はマザーマシンといわれ，すべての製品の精度を左右すると言っても過言ではない．これは直接，もしくは産業機器の部品などを通して間接的に，工業製品の生産に用いられるためである．近年の環境問題を背景に，工作機械の加工精度のみならず省エネルギー性能への関心が高まっている．これまで，潤滑機器や冷却機構といった周辺機器の最適化によるエネルギー効率の向上，材料除去率の最大化や加工工程の集約による稼働時間の削減などがなされてきた．一方で，大幅な省エネルギー化を達成するためには，工作機械の機械性能から考え直す必要がある．炭素繊維強化プラスチック（CFRP）は工作機械の新たな構造材料として注目されており，低熱膨張率による高精度化だけでなく軽量化によるエネルギー削減が期待されている．しかし，実際にCFRPなどの新構造材料をあらゆる要素に採用した工作機械の開発ならびに評価は行われていない．

本研究では，工作機械の主要構造すべてにCFRPを適用した省エネ型工作機械を開発した．CFRPの炭素繊維配向を調整することで機械的特性を自由に設計できるが，一方で熱特性の異方性が生じる．高精度な機械加工を行う上では，各要素を統合した工作機械において，工具と工作物間に生じる熱変位の評価が求められる．また，多品種の生産を担う近年の工作機械では，段取りなどの違いにより加工部品ごとに異なる待機時間が生じており，長時間の稼働を見据えた熱変位の特定は必要不可欠となる．そこで，省エネ型工作機械と同サイズの従来機との比較実験を通して，熱変位と省エネルギー性能の評価を行った．

CFRPの適用により主軸や送り系を動作させた場合に生じる熱変位は低減し，冷却停止時に主軸回転軸方向の熱変位が保持されることから，冷却機構のアイドリングストップが効果的であることを明らかにした．加工試験では，暖機運転の有無と非等間隔な待機時間が加工精度に与える影響を評価した．加工中の熱変位が小さいことに加え，熱変位の時間変化が緩やかであることから，暖機運転を行った場合でも高精度な加工を続けることが可能となった．加えて，実験で得られた熱変位モデルから，目標の形状精度に基づいて暖機運転時間を最小化する省エネルギー加工法を提案した．本研究の成果は，工作機械へのCFRP適用の効果を実証しており，今後の省エネ型工作機械の開発の一助になると考えられる．

* 掲載：日本機械学会論文集，86-884，(2020-4)，20-00002.
*1 正員，慶應義塾大学大学院理工学研究科総合デザイン工学専攻
*2 正員，京都大学工学研究科
*3 正員，東京工業大学科学技術創成研究院
*4 正員，東京大学工学系研究科
*5 オークマ㈱研究開発部
*6 正員，㈱牧野フライス製作所先行開発部
*7 正員，ファナック㈱ IoT統括本部
*8 正員，慶應義塾大学理工学部

論　文

(12) 工作物のトポロジー最適化に基づく荒加工工程の加工順序決定手法の提案

櫛野 仁司*1　熊野谿真帆*2　中本 圭一*3

多軸・複合加工機の登場によりますます複雑になった切削加工の工程設計において，加工条件や工具経路など多くの工程情報を決定することが求められている．しかし，この膨大な組合せを市販のCAMシステムで自動決定することは困難であり，工程設計は熟練者の経験や勘に未だに依存しているのが実情である．特に，薄肉複雑形状部品の荒加工工程では，材料が除去される過程を通じて工作物の剛性が大きく変化するために，工作物に生じる変位や振動は加工精度や工具寿命に大きな影響を与える．したがって，高付加価値な工作物を効率良く加工するためには，熟練者の経験や技能を技術化し，工程設計を標準化することが喫緊の課題である．

このため，著者らは複雑形状の部品加工に向けた工程設計を標準化することを目指し，トポロジー最適化を工作物に適用し，素材の形状である工作物の初期形状から所定の目標形状に至る加工途中の工作物形状を断続的に決定する手法を提案している．ここでは，一部の航空機部品などと同様に，工作物を工作機械から取り外した後に，削り残した支えを切断して断面を研磨して，目標形状を創成することを想定し，最大の剛性を有する加工途中の断続的な工作物形状に基づいて，荒加工工程が実現できることを示している．しかし，得られた加工途中の工作物形状を創成する加工順序や工具経路は作業者が設定する必要があり，工程設計の標準化に向けて検討の余地があった．

そこで本研究では，トポロジー最適化を適用して得られた工作物形状に基づいて，除去領域の加工順序を決定した．まず，加工実験を通じて，トポロジー最適化計算の設計変数によって，荒加工工程における各段階において，複数の除去領域の加工順序が決定できることを確認した．これに基づき，トポロジー最適化計算における収束過程の設計変数を用い，各加工段階の工作物形状と除去領域の加工順序を同時に決定する手法を提案した．2.5次元形状加工を対象とした検証実験を実施し，収束後の設計変数を用いて決定した加工順序の場合と加工形状を比較した結果，提案手法により計算コストを抑えつつ，工作物の剛性を確保した適切な加工順序を決定できる可能性を確認した．

* 掲載：日本機械学会論文集，85-880，(2019-12)，19-00228.
*1 正員，東京農工大学大学院（〒184-8588 小金井市中町2-24-16）（現）㈱アマダ
*2 正員，東京農工大学大学院（〒184-8588 小金井市中町2-24-16）
*3 正員，東京農工大学大学院（〒184-8588 小金井市中町2-24-16）

論　文

(13) ２成分の波状微細構造をもつロール金型の超精密切削加工

寺林 俊雄*1　閻　紀旺*2

表面にマイクロメートルスケールの微細な突起列構造をもつ大面積のリブレットフィルムを，航空機や船などの表面構造として用いることで流体摩擦抵抗を低減させる研究が進められている．従来のリブレットは単純な直線構造のものがほとんどであったが，サメの表皮に存在する鱗のような，流れ方向に蛇行と高低差を併せもった波状リブレットがより高い流体摩擦抵抗低減効果をもたらすとされている．波状リブレットの実現には，一定な比率をもつ数十ミクロンサイズの微細構造の形成が要求される．これらの微細構造を樹脂フィルム表面へ高速に転写させるためには，表面に継ぎ目のないロール金型の高精度加工が極めて重要である．しかしながら，これまでに報告されたロール金型表面に対する微細溝の切削加工に関する研究は１成分のみの波状変化をもつ構造にとどまっており，複数成分の波状構造の加工例は報告されていない．

本研究では，ロール金型表面に対して直交する２成分の波状変化をもつ微細溝の超精密加工を実現するため，スピンドル回転軸と直線２軸を精密に同期するいわゆるスローツールサーボ搭載の多軸同時制御加工機を用いて旋削実験を行った．加工機の動的追従誤差や工具逃げ面と溝側面の干渉によるバリ形成を低減させるための工具経路を提案し，切りくず生成機構などの基礎検討を行った．その結果，形状誤差1.2μm，表面粗さ12 nm Raの２成分複合波状リブレットの超精密切削に成功した．さらに，実際ロール転写実験によりリブレット構造の紫外線硬化樹脂への優れた転写性を確認し，製作金型の有効性を実証した．本論文で提案した加工技術は，複雑形状を有する表面微細構造の高速かつ大面積の創成を実現するものであり，高付加価値ものづくり産業への貢献が期待される．

＊ 掲載：日本機械学会論文集，85-874，(2019-6)，19-00105.
*1 正員，慶應義塾大学大学院理工学研究科総合デザイン工学専攻（現）パナソニック㈱
*2 正員，慶應義塾大学理工学部機械工学科（〒223-8522 横浜市港北区日吉3-14-1）

論　文

(14) レーザ励起蛍光による工具刃先形状の機上計測に関する研究（水溶性切削液への適用性の検討）

松本 宏平*1　水谷 康弘*2　高谷 裕浩*3

加工プロセスの複雑化とともに，高速化，多機能化，知能化などの高度な要求に対する適応性と，機械加工の高効率化を目指した工作機械の無人運転の取り組みが進んでいる．しかし，工作機械の無人運転は，工具刃先位置や工具径といった加工要因や，加工工程における工具欠損および工具刃先摩耗などによる加工異常や精度劣化に迅速に対処することが困難であるという問題が残されている．そこで，複数の顕微鏡画像の画像処理により工具摩耗量を算出する手法やレーザの反射光を用いた変位測定法など，機上計測への適応性の高い非接触測定法が提案されているが，加工機上の限られた空間では測定機の姿勢制御が必要な急傾斜面の計測が困難であること，刃先表面に付着した切削液による精度低下などの課題が指摘されている．そこで筆者らは，レーザ光を励起光として切削工具表面に照射し，表面に付着した切削液から発生する蛍光を共焦点光学系で検出することによって工具刃先の３次元形状測定を可能とするレーザ励起蛍光共焦点法を提案し，蛍光発光特性に優れた不水溶性（油性）切削液に対する有効性を実証している．一方，環境負荷軽減のため，石油由来の切削液の使用を控える動きが急速に活発となり，生産現場では90%ほどの加工で水溶性切削液が使用されている．希釈して用いられる水溶性切削液の蛍光発光効率は油性切削液に比べて極めて低いため蛍光検出が容易ではなく，レーザ励起蛍光共焦点法の適用性については未解明であった．そこで本研究は，より汎用性・実用性が高い３次元工具刃先形状機上計測技術の確立をめざし，水溶性切削液への適用可能性を探るため，製造現場で使用される水溶性切削液のレーザ励起蛍光発光特性を明らかにした．次に，その特性に基づいて構築した測定光学系を用いて，Siウエハ表面に塗布した水溶性切削液膜からの励起蛍光を測定し，表面位置の繰り返し測定精度が1.8μmであることを示した．さらに，加工前と加工後の刃先摩耗を有するフライス工具に水溶性切削液を塗布し，工具刃先形状計測を行った結果，いずれも触針式表面微細形状測定結果と良好な一致を示し，高精度な計測結果が得られた．したがって，チャンファ面のような傾斜面であっても，工具刃先に生じた深さ30μm程度の摩耗形状が計測可能であることから，水溶性切削液にも高い適用性を有する計測手法であることが示された．

＊ 掲載：日本機械学会論文集，85-880，(2019-12)，19-00238.
*1 正員，大阪大学大学院工学研究科（〒565-0871 吹田市山田丘2-1）（現）ダイハツ工業㈱
*2 正員，大阪大学大学院工学研究科（〒565-0871 吹田市山田丘2-1）
*3 フェロー，大阪大学大学院工学研究科（〒565-0871 吹田市山田丘2-1）

論　文

(15) 幾何学的特徴量に対する偏微分方程式系に基づく幾何学的特徴制約付きトポロジー最適化（積層造形における幾何学的特異点を考慮したオーバーハング制約法）

山田 崇恭*1　正宗　淳*2　寺本　央*3

長谷部 高広*4　黒田 紘敏*2

構造最適化は，剛性などの設計指針の評価に必要となる支配方程式を制約条件に持つ最適化問題である．中でも，トポロジー最適化は，孔の数などのトポロジーの変更を許容しながら最適な形状を求める方法であり，最も設計自由度の高い構造最適化法として注目を集めているが，実際の産業製品への展開は限定的である．その要因の一つは，トポロジー最適化により得られる最適構造は，力学的には最適であっても，製造工程，製造時間，コスト等を考慮していないがためである．その結果，最終的な設計案には至らない場合が多い．すなわち，トポロジー最適化により得られる設計解は，力学的，数学的に最適であっても，製造が困難な設計解が得られる場合が多く，製造・生産工程を含めれば最適と言えず，工学的には意味を持たない設計解とされていた．他方，物理的特徴を設計指針として評価する場合，その物理現象を近似的に評価する偏微分方程式の数値解析手法の確立が必要不可欠である．例えば，流れ場はナビエ・ストークス方程式，電磁場はマクスウェル方程式により表現され，流体問題や電磁場問題の数値解析基盤を構築し，それに基づいて設計支援環境を構築する．従って，製造性や組立性などの設計要件に対しても，偏微分方程式に基づく定式化が可能になれば，トポロジー最適化の枠組において，製造要件及び組立要件の考慮が可能となることが推察される．そこで本論文では，トポロジー最適化との親和性の高い積層造形法に着目し，積層造形により要求される幾何学的制約条件を偏微分方程式により定式化した．これにより，トポロジー最適化に枠組において，過剰な制約を加えることなく，製造要件を考慮可能とするトポロジー最適化法の構築を研究目的とした．最初に，制約条件の明確化と偏微分方程式による定式化を行った．次に，具体的なトポロジー最適化アルゴリズムを提案すると共に，数値計算例を通して，本手法により製造性が保証され，工学的に有用な設計解が得られること，並びに最適構造の幾何学的複雑さを制御可能であることを確認した．さらには，オーバーハング角度の制約値を任意に設定可能であることも示した．今後，本提案手法により，製造・生産工程を最適設計段階から考慮可能となるため，設計から生産までの一連の製品開発工程を考慮した統一的な設計生産手法の構築が期待できる．

* 掲載：日本機械学会論文集，85-877，(2019-9)，19-00129.
*1 正員，京都大学　(現)東京大学大学院工学系研究科附属総合研究機構戦略研究部門
*2 正員，北海道大学大学院理学研究院数学部門
*3 正員，北海道大学電子科学研究所
*4 北海道大学大学院理学研究院数学部門

論　文

(16) Establishment of an in vitro vascular anastomosis model in a microfluidic device

渡邉 應文*1　須藤　亮*2

組織工学によって構築した組織を患者に移植して体内で維持するためには，移植組織の血管が患者体内の血管と効率的に接続（吻合）し，組織内へ迅速に血液を灌流させることが必要不可欠である．しかし移植後の患者体内における血管吻合の形成過程は，観察が困難であり，その全容はいまだ解明されていない．そこで本研究では，微細加工技術により作製したマイクロ流体デバイスを用いることで体内の微小環境を模擬し，血管吻合の形成過程を可視化・解析することが可能な培養モデルを開発した．

マイクロ流体デバイスにおいて血管吻合を形成するため，まず生体内の血管吻合の形成過程における空間的配置を再現した．具体的には，マイクロ流体デバイスの２本の流路において血管内皮細胞を培養し，流路間に体内の微小環境を模擬したコラーゲンゲルを配置することで，２つの独立した血管を構築した．血管内皮細胞のみを培養した条件では血管吻合の形成には至らなかったが，培養試験および拡散シミュレーションの結果から，生化学分子の濃度勾配が血管形成を誘導し血管同士を接近させることが分かった．次に，体内における血管構造を模擬するため，血管内皮細胞と間葉系幹細胞の共培養を行い，血管壁細胞を伴った血管吻合の形成を図った．共培養条件において細胞比を検討した結果，コラーゲンゲル内部で血管吻合が形成されることを見出した．また，間葉系幹細胞は壁細胞に分化し，連続的な内腔を有する血管を外側から被覆することが確認され，体内の血管構造を再現することに成功した．さらに，ライブセルイメージングでは，２本の流路から徐々に血管が伸張し，最終的に血管吻合を形成する過程を可視化した．以上より，本研究は体内における血管吻合の形成過程を模擬した培養モデルを確立することに成功し，培養試験およびシミュレーションの結果から，効率的に血管吻合を形成させるためには，血管内皮細胞と間葉系幹細胞の細胞比の至適化や，生化学分子の濃度勾配の制御が有効であることを明らかにした．

本研究の成果は，機械工学の基盤技術を応用することにより再生医療における移植技術の向上に貢献するものであり，細胞バイオメカニクスの基礎研究のみならず，組織工学・再生医療といった学際的な応用研究の発展にも貢献することが期待される．

* 掲載：Journal of Biomechanical Science and Engineering，14-3，(2019-11)，18-00521.
*1 正員，慶應義塾大学大学院理工学研究科総合デザイン工学専攻（現)愛媛大学大学院医学系研究科
*2 正員，慶應義塾大学理工学部システムデザイン工学科（〒223-8522 横浜市港北区日吉3-14-1）

技　術

（1）内燃機関の熱効率向上に貢献するエンジンオイルの低粘度化技術

植松 裕太*1　山守 一雄*1　平野 聡伺*1　金子 豊治*2　宮田　斎*1

1．概　要

地球温暖化防止のため，内燃機関の熱効率向上は，最重要課題の一つである．エンジンオイルの改良は，内燃機関の摩擦損失や攪拌損失を大幅に低減する手段の１つであり，HVなどの電動化車両の燃費向上にも有効である．エンジンオイルの低粘度化は，攪拌損失の低減に寄与する一方，油膜が薄くなり摩耗などの信頼性低下の懸念がある．また，ダウンサイズにより省燃費化を達成する直噴過給などエンジンの進化に合せ，エンジンオイルも新しい技術開発を進める必要がある．そして，適した品質の製品をお客様に選択いただくための指標となるILSAC GF-6やJASOなどの業界品質規格の整備も重要である．

受賞者は，直噴過給エンジンの課題である異常燃焼（LSPI）を抑制しつつ，低摩擦化を両立する技術を開発し，従来0W-20比較で0W-16は1.0%，0W-20は0.5%の燃費向上を達成した（図１，２）．

さらなる低粘度化として0W-8開発に挑戦し，背反となる金属接触を抑制する油膜形成ポリマーなどの技術を開発した．これにより，更に0.7%の燃費向上と信頼性を両立した．一方で，0W-8に対応する世界初の規格であるJASO GLV-1の，わずか２年間での制定に大いに貢献した．

図１．開発オイル

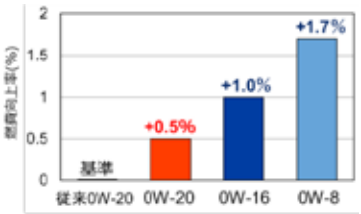


図２．開発品の燃費向上率

2．技術の内容

2.1　GF-6 0W-16/0W-20エンジンオイル技術

LSPIを増加させるCa系清浄剤の一部をMg系清浄剤に置き換えることで発生頻度を抑制．Mg系清浄剤が，摩擦低減効果のある添加剤MoDTC（モリブデンジチオカーバメイト）の表面吸着を阻害する課題に対しては，MoDTCと相性の良いホウ素系分散剤が有効である事を見い出した．摩擦試験後の表面分析から以下の作用メカニズムを明らかにした．

（1）MoDTCは，摩耗防止剤のZnDTP（ジアルキルジチオリン酸亜鉛）由来のリン酸被膜（POx）上にMoS_2被膜を形成することで摩擦低減効果を示す．（2）Mg系清浄剤を使用すると，清浄剤に含まれる硬質な$MgCO_3$がリン酸被膜を摩滅させ，MoS_2の形成を阻害する．（3）ホウ素系分散剤を使用することで，より硬質なリン酸-ホウ酸被膜（POx-BOx）が形成され，MoS_2の形成による摩擦低減効果を維持出来る．（図３）

図４の通り，Mg系清浄剤を使用した場合，摩擦係数が増加するが，ホウ素系分散剤を併用するとMg系清浄剤使用時でもCa系清浄剤と同等の低摩擦を示している．これらの添加剤技術の採用により，LSPI抑制性，エンジン清浄性，省燃費性の両立を実現した．

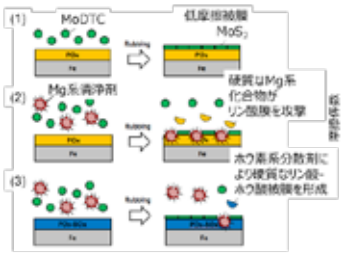


図３．摩擦低減作用メカニズム

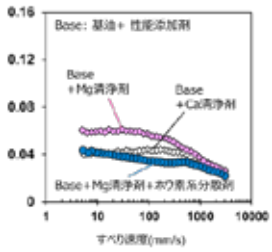


図４．摩擦試験結果

2.2　GLV-1 0W-8エンジンオイル技術

GF-6開発で見い出したホウ素系添加剤とMoDTCの相互作用の知見を活かし，低粘度化により増加する境界潤滑環境部位の低摩擦被膜の形成を最大限に促進するため，新規にホウ素系清浄剤を開発．また，境界潤滑の割合を低減させるために，摺動面に入り込み支える油膜形成ポリマーを新規開発した（図5，6）．２つの技術開発により，前述の0W-16比で約25%の低粘度化を進めた0W-8は，更に0.7%の燃費向上を達成した．2019年10月に自動車技術会から発効された新規格「JASO GLV-1」を世界初取得している．

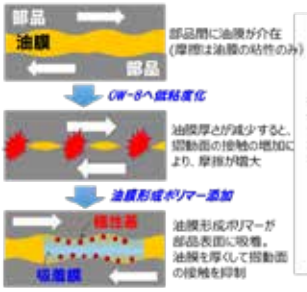


図５．油膜形成作用メカニズム

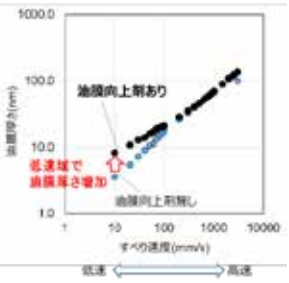


図６．油膜厚さ計測結果

3．まとめ

開発した0W-16，0W-20オイルは2017年に市場に導入し，その後発行されたILSAC GF-6規格も取得した．JASO GLV-1 0W-8オイルは2020年に導入し，さらなる内燃機関の熱効率向上に寄与している．エンジンオイルは，新車のみならず，既に販売された旧モデルの車にも使用可能で適用範囲が広く，CO_2削減にも大きく貢献している．最後に，開発に際しご協力頂いた関係者各位に心より御礼申し上げる．

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

(2) 火花点火制御圧縮着火を導入した新型ガソリンエンジンの開発

漆原 友則*1　遠藤 孝次*2　江角 圭太郎*3　井上　淳*2　末岡 賢也*2

1．概　要

地球温暖化への対応としてCO_2排出量の削減が求められる中，乗用車の動力源である内燃機関の熱効率は継続的な改善が必要である．本エンジンの開発においては熱効率向上のために高圧縮比化に加えて希薄･希釈燃焼を実現するため，ガソリン圧縮着火燃焼を導入した．商品化にあたって火花点火制御圧縮着火燃焼を開発し，圧縮着火燃焼の課題を独自の技術でブレークスルーすることで乗用車用量産ガソリンエンジンとしては世界で初めて市場導入した．

2．技術の内容

2．1　エンジン開発の狙い

オットーサイクルの理論式であらわされるように，熱効率向上の制御因子は圧縮比と比熱比である．比熱比向上は燃料量に対して，空気またはEGRで作動ガス量を増やす希薄／希釈燃焼によって実現可能である．

2．2　リーン燃焼の課題

NOxの発生を抑えつつ十分な燃費効果を得られる高空燃比下で燃焼安定性を確保するためには，短時間で燃焼を完結させる必要がある．このための手段として火炎伝播に依らず温度と圧力で燃焼反応を起こす予混合圧縮着火燃焼（HCCI燃焼）が知られているが，本開発ではスパークプラグを圧縮着火の制御手段として利用することで圧縮着火制御の課題を克服した．点火による伝播燃焼が燃焼室内の混合気を追加圧縮し圧縮自己着火に最適な温度と圧力を形成することで，自己着火時期を可変にする機能（火花点火制御圧縮着火：Spark Controlled Compression Ignition，SPCCI）により実現した．

図１に示すようにHCCI燃焼の代表的な外乱の１つである吸気温度の変化に対して，SPCCI燃焼では点火時期の調整により狙いの熱発生率へコントロールすることが可能である．

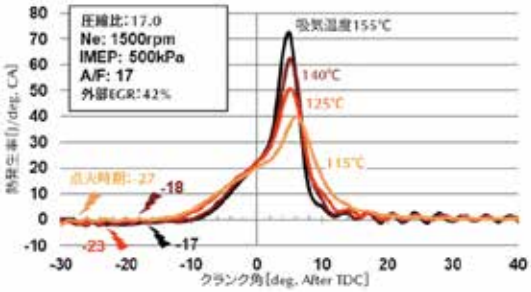


図１．火花点火時期による吸気温度影響の補正例

2．3　エンジン諸元とシステム

高圧縮比下とリーン燃焼下の伝播燃焼速度を促進するために，高流動燃焼室形状と高流動吸気ポートを採用した（図２）．また狙いの混合気形成を実現するための高燃圧噴射系，中高負荷でもEGRによる高希釈状態を維持するための高応答エアサプライ，筒内圧センサー等のエンジン技術を採用し，理想の燃焼実現に近づけた．

圧縮比は，出荷地域の燃料オクタン価特性を考慮し，欧州仕様は16.3，国内仕様は吸排気オーバーラップを拡大して内部EGRによる筒内温度制御機能を強化し圧縮比への依存度を下げることで15.0とし，広範囲な燃料オクタン価への対応を可能とした．

図２．燃焼室形状

2．4　エンジン性能

SPCCIとエアサプライの組み合わせにより，自社従来型ガソリンエンジンに対して，全域でおおよそ10%以上のトルク向上を実現した．

図３に燃費率マップの比較を示す．SPCCI燃焼により軽負荷域の燃費を大幅に改善し，実用走行において低燃費領域を広く使うことが可能となった．

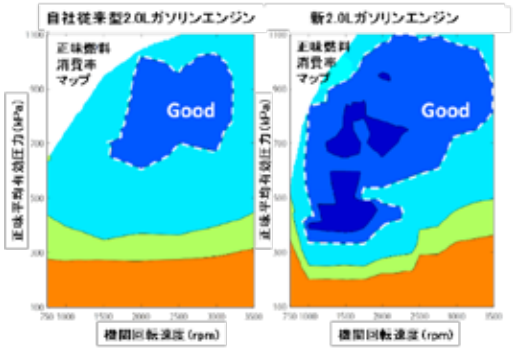


図３．正味燃料消費率マップの比較（95RON 燃料）

3．まとめ

本開発では，高圧縮比化と希薄・希釈燃焼の実現に取り組んだ．特に軽中負荷はSPCCI燃焼により，燃費性能を大幅に高めることができた．本開発で得られたガソリン圧縮着火の技術を磨き，更なる熱効率の改善に挑んでいく．

*1 正員，マツダ㈱ エンジン性能開発部（〒730-8670 広島県安芸郡府中町新地3-1）
*2 マツダ㈱ エンジン性能開発部（〒730-8670 広島県安芸郡府中町新地3-1）
*3 マツダ㈱ PT制御システム開発部（〒730-8670 広島県安芸郡府中町新地3-1）

(3) 新世代スプリット駆動CVTの開発

奥平 総一郎*1 松本 恭太*2 米田 雄紀*2 岸　大輔*2 大治 直樹*2

1．概　要

世界的に地球環境保護への要求が高まっている中で，各社電動化が進んできているが，高価であるがゆえに，安価な小型ガソリン車は将来も多く残ると予想される．そのため，その車両に搭載される金属ベルト式無段変速機（以下，CVT）の燃費改善技術は非常に重要である．

従来のCVTの課題は，ベルト駆動によりハイ変速比領域の動力伝達効率が低いことでの燃費悪化である．また発進の駆動力向上とエンジン低回転化による燃費向上の両立のための変速比幅の拡大が，プーリ径の拡大により，変速機の大型化を招くことである．

受賞者は，それらを解決するため，通常のCVTにおけるベルト駆動に加え，動力分割（以下，スプリット）駆動を行うこと，また要素部品の構成，配置を工夫することで，高効率・ワイドレシオ・小型・軽量を実現するCVTを開発した．（図１）

図１　新開発 CVT

2．技術の内容

2．1　基本断面とパワーフロー

新開発CVTの基本断面とパワーフローを図２に示す．ベルトモード（変速部をベルトのみで駆動）とスプリットモード（変速部をベルトとギヤ両方で駆動）の２モードを有する．低速時はベルトモードで走行し，高速になると，湿式多板クラッチを切り替えることで，モード移行し，スプリットモードで走行する．

図２．基本断面図と各軸回転方向

また主要諸元を表１に示す．

表1．主要諸元

		新開発CVT		
トルク容量		100Nm		150Nm
変速比	変速比幅	6.7（7.3※）		6.6（7.3※）
	前減速比	1.487		1.255
	無段変速	ベルトモード	2.230～0.444	2.230～0.444
		スプリットモード	0.445～0.336	0.447～0.338
	終減速比	5.444		5.105
形状	プーリ間距離	136mm		136mm
	入出力間距離	167.7mm		167.7mm

※機械的に取りうる変速比

2．2　スプリット駆動とトルク分担比

従来CVTのハイ変速比領域では，トランスミッション全体のトルク損失の内，オイルポンプ（以下，ポンプ）とベルト部の損失が約８割を占め，その部分の改善が重要である．

ポンプ部ではベルトがトルクを摩擦力で伝達するために，プーリを挟む油圧を発生させることにより，トルク損失が発生する．ベルト部ではその油圧やトルク，またその反力により，ベルト各部に荷重が働く．また前述のように，回転時に各部に相対すべりが発生する．それらによる摩擦力でトルク損失が発生する．

以上の改善として，遊星歯車機構を用いたベルトとギヤのスプリット駆動とすることにより，ベルトの伝達トルクを減少させ，ポンプの必要発生油圧を減少させた．これにより，ベルト，ポンプによるトルク損失を低減させた．

図３にスプリットモード中のベルトとギヤのトルク分担比を示す．この分担比は遊星歯車に連結する要素，遊星歯車ギヤ比，変速比で決まる．構造の検討，選択やギヤ比の調整により，ベルト駆動は－0.2～－0.6（マイナスは被駆動状態）の低分担比とした．

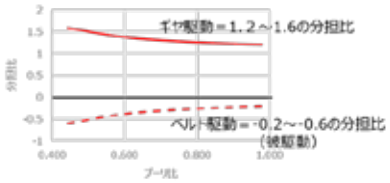


図３．スプリットモード中のトルク分担比

2．3　平行軸式前減速ギヤ

新開発CVTの構造において，平行軸式前減速ギヤが重要な役割を果たしている．従来弊社CVTでは遊星歯車式の前減速ギヤを採用し，３軸構造を実現している．スプリット駆動CVTの場合，入力をそのままプーリに連結すると，３軸構造に対して，動力分割用ギヤの回転方向合わせ，出力の回転方向合わせのために２軸必要で５軸になってしまうところを，平行軸式前減速ギヤにより，図２のように，それぞれ回転方向合わせが可能となり，４軸で構成できる．この最少要素構成により，伝達損失の低減，低コスト化，コンパクト化を実現した．

2．4　クランク同軸小型オイルポンプ

駆動時のオイルのせん断抵抗低減を目的に，前減速ギヤとプライマリプーリの間のスペースを活用したクランク同軸シャフト駆動の小型ポンプを開発した．各社では小型オイルポンプの採用はチェーン駆動が大半であるが，それに対しトルク損失の少ない構造を安価に実現した．

2．5　動力伝達効率と変速比幅

従来弊社軽用CVTの短い軸間距離を維持し，軽自動車に搭載可能としながら，図４に示すように従来CVTに対し，変速比幅を約25％向上し，変速比全域の伝達効率向上，特にスプリットモードのハイ変速比領域については，約８％の効率向上を実現した．

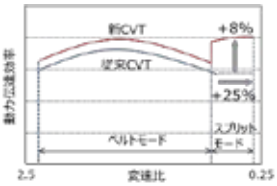


図４．変速比と伝達効率

3．まとめ

スプリット機構とその独自レイアウトの開発，クランク同軸小型オイルポンプ等の開発により，軽自動車にも搭載可能なサイズで，高効率・大変速幅を実現するCVTの開発に成功し，商品力向上によるお客様への貢献と地球環境保護に貢献できた．

*1 特別員，ダイハツ工業㈱（〒563-8651 池田市ダイハツ町1-1）
*2 ダイハツ工業㈱（〒563-8651 池田市ダイハツ町1-1）

（4）高品質・高耐久の細径人工筋肉の商品化

鈴森 康一*1　脇元 修一*2　清板 祝士*3　河野 一俊*3

1．概　要

少子高齢化などの社会情勢の変化に伴い，工学・技術には「よりヒトに身近なフィールド」で活用されることが求められてきている．このニーズに応えるためには，本質的な安全性を備えた機械が必要となり，「柔軟性」，「形状適応性」といった特長をもつ駆動要素（ソフトアクチュエータ）が重要となる．マッキベン型空気圧人工筋肉はゴムチューブとその外周に繊維を編み込んだ構造をもつソフトアクチュエータで，現在実用レベルにある代表的な人工筋肉の一つである．本技術では，このマッキベン型人工筋肉の細径化（最小直径２mm～）と長尺化，量産化を達成した．一般に，マッキベン型人工筋肉は，細径化にともない駆動量が低下するとともに，耐久性が著しく低下する．本技術は，繊維やゴムの種類，繊維の編み方を綿密に検討・試作していくことで，高い動作性能と耐久性をもつ細径マッキベン型人工筋肉を実現した．受賞者らは，大学での産学連携研究の成果を基に，大学発ベンチャー企業を設立し，本技術を社会に普及・展開している．

2．技術の内容

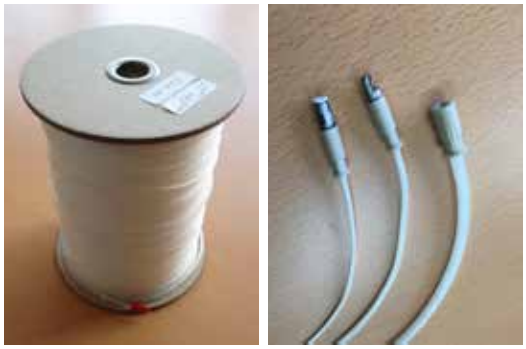
2.1　細径・長尺化

マッキベン型人工筋肉はゴムチューブとそのまわりに編み込んだ繊維から構成される空気圧ソフトアクチュエータで，ゴムチューブ内部に空気圧をかけるとゴムチューブが変形して繊維の編角が変化することで径方向に膨張しながら軸方向に収縮する．この人工筋肉は1950年ごろにドイツで開発され今日に至るまで約70年にわたって，福祉機器を中心に様々な応用が試みられてきた．現在も複数の企業から人工筋肉の販売が行われいるが，いずれもセンチメートルオーダーの外径で，長さも数10センチメートル程度である．

受賞者らは，直径２～５mmの細径人工筋肉を連続生産し，量産化に成功した．この細径人工筋肉を用いることで，従来不可能だった様々な新しい駆動機構が開発されている．動作原理と構造は従来のものと同じだが，細径化と長尺化により従来不可能だった様々なしなやかな駆動機構が実現できるようになった．

細径化に伴い，通常のサイズの人工筋肉では問題にならないさまざまな現象が生じる．一つは収縮量や収縮力の低下である．細径化に伴い，ゴムチューブと繊維，および繊維間の摩擦の影響が非常に大きくなり動作性能が低下する．また，ゴムチューブのわずかな偏肉やゴム硬度の不均一さがあると，ゴムチューブが不均一に膨張したり編組内で蛇行し，人工筋肉は動作しなくなる．耐久性に関しても，繊維とゴムチューブ表面の接触応力および摩擦の増加により，ゴム表面を傷つけて破損につながる頻度が顕著に上昇する．

受賞者らは，これらの問題を，ゴム材料の改良，繊維材料および繊維構成の改良，編組構成の最適な設計，徹底した品質管理，といった工夫で解決し，細径でありながら20%以上の収縮特性・100万回以上駆動耐久性という通常のマッキベン型人工筋肉と同程度以上の特性を実現した．数100mレベルの連続生産も可能にした．現在，ロール状の長尺細径人工筋肉（下図），および空圧ワンタッチコネクタ付きの細径人工筋肉（下図）の形で，数種類のスペックの人工筋肉の販売を行っている．



2.2　応用

細径・長尺化により，人工筋肉を編みこんだり，束ねたりすることで，さまざまな形状のしなやかなメカニズムが実現できるようになった．特に，着心地の良いパワーサポートスーツ（下図右）やリハビリ装具（下図左）など，さまざまな応用研究が現在国内外の研究機関や民間企業で現在進められている．

*1 フェロー，東京工業大学工学院（〒152-8550 東京都目黒区大岡山2丁目12-1），㈱s-muscle（〒711-0905 倉敷市児島唐琴二丁目4番24号）
*2 正員，岡山大学大学院自然科学研究科（〒700-8530 岡山市北区津島中1-1-1），㈱s-muscle（〒711-0905 倉敷市児島唐琴二丁目4番24号）
*3 ㈱s-muscle（〒711-0905 倉敷市児島唐琴二丁目4番24号）

(5) スキャン方式によるハイビーム配光可変ヘッドランプの開発と量産化

滝井 直樹*1　山村 聡志*1　田中 秀忠*2　加藤 靖礼*2　櫻井 一利*2

1．概　要

交通死亡事故は日没後の視界が低下し始める薄暮の時間帯に昼間の約4倍と最も多く発生している．これに対し，ヘッドランプをハイビームにしていれば車両と歩行者の事故は56%が回避できた可能性があるという調査結果もあり，交通事故の低減にはドライバーの視認性の向上が鍵となる．

このような中，ハイビームでありながら先行車や対向車に対して眩しさを与えないように，部分的に自動で遮光できる配光可変技術：ADB（Adaptive Driving Beam；図１）の車両搭載が始まっている．

図１．ADB による視認性向上効果（同一シーンでの比較）

現在のADBの主流は，ランプ内に配置された複数のLEDを部分的に点消灯させることで狙いの照射パターンを形成する方式である．しかし，この方式ではLED数がそのまま照射エリアの分割数となることから，性能アップを図るために分割数を多くしてキメを細かくしようとすると，LED数増加によるコストアップやランプ内ユニットの大型化などの背反によってADBの普及は妨げられてしまう．

そこで今回，LED光を高速で左右にスキャンさせるという新たな発想によって，少ないLED数でコストを抑えつつ，絶えず変化する走行シーンに対し滑らかに追従できる配光可変ヘッドランプを世界で初めて量産化した．

2．技術の内容

2−1．スキャン方式による配光形成の原理

スキャン方式によるADB（ブレードスキャン®ADB）では，LED光をブレードと称するらせん形状の回転リフレクタに照射し反射させることでスキャン配光を形成する（図２）．

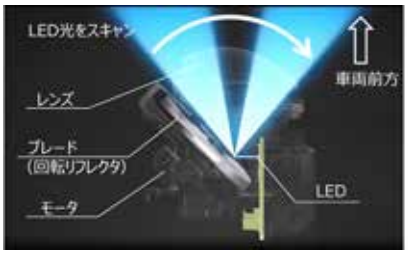


図２．ブレードスキャン®ADB ユニットの構成

この方式では，モータに直結するブレードの回転位相とLEDの点消灯とを同期させることで，狙いのエリアにのみスキャン配光を照射できる．また，点消灯のタイミングを徐々に変えていくことで照射エリアの拡縮や遷移を自在且つ滑らかに行えることが大きな特長である．使用しているLED数はわずか12個にも関わらず，300個のLED配置の特性に匹敵するキメ細かさを得ることができる．これにより，夜間の走行中に早い段階で道路脇の歩行者検知が可能となる（図３）．

図３．従来方式とブレードスキャン®ADB との比較

2−2．高耐久小型モータの開発

ブレードスキャン®ADBにおいて，ユニットの心臓部となるのがモータである．耐使用環境／ちらつき性能／長期信頼性という３つの技術課題に対し，それぞれに車載に対応した高耐熱／高速回転／高耐久の目標スペックを設定した．開発段階において，これらのスペックを満足できる小型モータは世の中に無かったことから，新規でモータ開発に着手することになった．中でも困難を極めたのが高耐久の実現であった．モータが回転中に発生するわずかな振動でも，回転体を支持する軸受にはダメージとなりこれが蓄積されていくため，力学的要因の他に磁気的要因に至る全ての振動要因を抽出し，これらを大幅に低減させた．その結果，Φ20㎜クラスの低コストの小型モータで全ての目標スペックを満足し，スキャン方式による配光可変技術を確立させることができた．

2−3．ブレードスキャン®ADBによる交通事故低減効果

仮想交通シミュレータによる解析において，ロービーム使用時と比べた交通事故件数の低減効果は，従来型のADBでは▲81%，ブレードスキャン®ADBでは▲94%となった．これにより同じADBでも配光の分割数の増加がさらなる交通事故低減につながることが立証された．

3．まとめ

自動車用ヘッドランプは，車両デザインを決定付ける意匠部品であると同時に，安全性向上に大きく寄与する重要保安部品である．

今回開発・量産化した“光をモータで操る”というスキャン方式による新たな配光可変技術が，ドライバーの視認性向上につながり，交通事故低減の一助となることを願っている．

*1 正員，㈱小糸製作所（〒424-8764 静岡市清水区北脇500）
*2 ㈱小糸製作所（〒424-8764 静岡市清水区北脇500）

技　術

(6) 小惑星探査機はやぶさ２における未踏天体地下探査技術の開発と運用

武井 悠人*1 佐伯 孝尚*2 澤田 弘崇*2 三桝 裕也*2 津田 雄一*2

1．概　要

2014年に打上げられた小惑星探査機はやぶさ２は2018年６月に人類未踏の小惑星リュウグウへ到着した．約１年５ヶ月の滞在期間を通じて，地球・海・生命の起源に迫る新たな科学的成果を得るとともに，従来の宇宙探査の概念を一新する成果を挙げた．その代表が「地下物質へのアクセス」である．小天体の表面物質は長期間に渡る宇宙空間への暴露によって宇宙風化が進むことから，より始原的な情報を持つ地下物質の露出および採取が大きな課題とされていた．そこで申請者らは新たに開発した小型の可搬型衝突装置と小型分離カメラ，ならびに独自の遠隔運用・自律ロボティクス技術を駆使して小惑星への人工クレーター生成とその過程の詳細観測に史上初めて成功し，世界に類を見ない我が国独自の未踏天体探査手法を確立した．

2．技術の内容

未踏天体地下探査技術は「衝突装置を用いた未踏天体地下物質の表出および小型分離カメラによる観測技術」と，それを支えた「ロバストな遠隔運用，自律ロボティクス技術」を中核とする．

衝突装置（SCI: Small Carry-on Impactor）は直径300mm，質量14kgの円筒状の機器として開発され，爆薬による金属衝突体の加速をそのコア技術とし，円錐形のケースに充填された高性能爆薬の爆豪によって前方に張られた金属ライナが変形しつつ前方へ打ち出される仕組みとなっている．ライナは延性の高い純銅で作製することで変形し易さと衝突体としての硬さを両立し，かつ天然には存在しないことから小惑星由来の物質との区別が容易でありサンプルリターンミッションに非常に適している．小型分離カメラ（DCAM3: Deployable CAMera 3）は人工クレーター生成時の様子を確実に記録するべく，低分解能だがリアルタイムかつ高フレームレートの画像伝送が可能な「アナログ系カメラ」と，伝送フレームレートは落ちるが理学観測に適う高分解能画像を撮像可能な「デジタル系カメラ」が母線への無線通信まで独立して内蔵された設計となっている．DCAM３本体は直径およそ80mm，高さ80mmの円筒形をしており，重さは580gと宇宙機としては超小型軽量であることが特徴である．分離カメラは，探査機本体がSCIを分離後に安全な領域まで退避する過程で分離し，人工クレーター生成実験を横から観測する．得られた画像データを無線通信により退避中の探査機本体まで伝送し，探査機本体が観測できない人工クレーター生成実験の一部始終を観測可能となる．

はやぶさ２の探査対象である小惑星リュウグウは，探査期間の地球距離が2.4億kmから3.6億kmの深宇宙に位置し，衝突装置運用を実施した2019年４月上旬の片道伝搬時間は約15分と大きいため，個々の指令を逐一地上から送信する遠隔操作は時定数が小さい探査機運動が求められる局面では成立しない．そのため申請者らは，遠隔操作と自律動作を組合せたはやぶさ初号機の手法を継承し，新たに衝突装置運用へと発展させた．上空500mまでは地上ループの遠隔操作運用，以降のSCI分離から退避完了に至るシーケンス（図１）は自律動作として設計した．これら複雑な運用全体の頑強化を図るべく，アジャイル型開発を参考に運用手順書および探査機設定の“イタレーション”を陽に考慮した運用計画手法を考案した．まず，はやぶさ２実機と電気的に等価なハードウェアシミュレータ（HIL）を用いた実時間の運用訓練をリュウグウ到着前１年間に渡って行い，課題の早期発見と修正を繰り返した．リュウグウ到着後には，確定した小惑星諸元に伴う差分や他運用の課題を後続の運用へ確実に反映した．これら繰り返しプロセスを通して運用品質を早期に高く維持した上で，フライトデータに基づく徹底的な自律機能のチューニングを実施した．

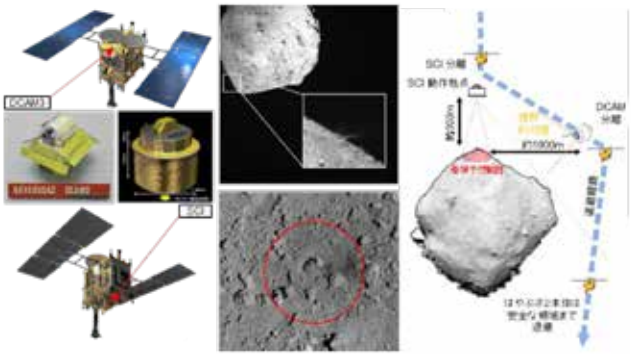


図１．SCIおよびDCAM3の外観と配置（左），DCAM3によるイジェクタ撮像（中上），生成された人工クレーター（中下），衝突装置運用シーケンスの概略図（右）

以上の技術を総合し，申請者らは2019年４月５日に衝突実験運用を遂行した．衝突装置は小惑星の上空250mで動作し，人工クレーター生成過程で生じた飛散物（イジェクタ）が舞い上がる様子の一部始終がDCAM３によって捉えられ，また小惑星表面に直径10m，深さ３mほどの人工クレーターが生成された（図１）．これらはいずれも世界初の快挙であり，また目標点に対する衝突位置誤差はわずか20m程度であった．その後，人工クレーター周辺の地形や飛散物分布の調査を行い，申請者らは2019年７月11日に人工クレーター近傍への着陸に成功．世界で初めて採取された小天体の地下物質を携え，2020年12月６日にはやぶさ２は地球帰還を果たした．

*1 正員，宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 はやぶさ2プロジェクトチーム（〒252-5210 相模原市中央区由野台3-1-1）
*2 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 はやぶさ2プロジェクトチーム（〒252-5210 相模原市中央区由野台3-1-1）

(7) 負荷追従性を格段に向上させた低質量速度設計USCボイラ

堂本 和宏*1　中拂 博之*2　山本 健次郎*1　垣見 宗洋*1　山崎 義倫*3

1．概　要

再生可能エネルギーは日照，風況といった自然環境で変動するため，将来大量に導入された際には需給バランスが大きく損なわれる可能性があり，電力供給の安定化を図ることは大きな社会課題である．今後，従来火力発電設備にはベースロード電源としてだけでなく調整電源としての高い負荷追従性が期待されている．

大型ボイラは大きな熱慣性を有する構造物であり，負荷追従性向上には燃焼室の火炉壁管群の温度（流動）の安定化対策が重要である．

今回開発した超々臨界圧変圧貫流（USC）ボイラは低質量速度設計という新しい視点で，USCボイラの流動安定性の改善と，安定した火炉壁管内の冷却能力確保と言う二律背反のジレンマを解決し，高い負荷追従性を実現した．単機出力が大きなUSCボイラは大きな変化出力が供給可能であり（いわゆるΔkW），日中の需給アンバランスを補正する主力調整電源の一つとして一層の活躍が期待される．

2．技術の内容

(1) 高い負荷追従性を実現するための課題

図１に示すように，ボイラの火炉内ではバーナによる火炎が形成されており，その周囲を高さが数十メートル・幅が三十メートル規模の火炉壁で囲まれている．火炉壁は溶接された数百本の垂直管で構成されており，ボイラは非常に大きな熱慣性を有する構造体であるため，高速に負荷を変化させると，火炉壁に大きな熱応力が発生し，変形や損傷による運用障害が懸念される．

(2) 自然循環力強化による負荷追従性の向上

高速な負荷変化に対して火炉壁管の温度を安定させるためには，熱流束が高い管に選択的に多くのボイラ水が供給されることが理想である．そこで，ヘッダで接続された多数の伝熱管に対して熱流束に応じた適切な流量分配を自動的に行う“自然循環力”の強化に着目した．この自然循環力を得るには，管内質量速度を低減し，摩擦損失を低減することが有効な手段である．しかしUSCボイラの火炉管群内は９～30MPaの高圧でかつ300kW/m^{2}を超える非常に高い熱流束を考慮する必要があり，質量速度を引下げた際に発生し易い「超臨界圧伝熱劣化現象」や「膜沸騰現象（DNB）」といった伝熱阻害現象を抑制する必要がある．また，「密度波振動」などの流動不安定の発生も確実に防止しなければならない．

(3) 低質量速度運転を実現するための高性能伝熱管の開発

本開発では，管内面に螺旋状の溝を有するリブド管を用い，その溝形状を最適化することで，質量速度引下げ時に発生する各種の伝熱阻害現象の抑制に成功した．具体的には，超臨界圧流体の精緻なCFD解析と世界有数の大規模試験設備（図２）による検証を組み合わせることで，超臨界圧と亜臨界圧の両方において冷却能力に優れる高性能なリブド管形状を見出した．また，リブド管の開発に際しては形状寸法が非常に重要であり，製造上実現可能な公差や，製品化に関して品質と作りやすさの観点からも，鋼管メーカの協力を得て製造品質を安定化させた．

3．まとめ

本開発では従来１～３%/minの負荷変化率で運用されていたボイラを４%/minに引き上げると共に，更なる対策を講じることで最大10%/minまで引き上げられる可能性があることを示した．

今後，負荷追従性を格段に向上させた低質量速度設計USCボイラの特徴を生かし，発電原価の安い石炭火力を調整電源の柱の一つとしつつ，原子力，GTCCのそれぞれの特性とも協調しながらエネルギーセキュリティーを確保し，再生可能エネルギーの連続的増加を受け入れ可能とし，経済合理性のあるCO2排出総量の低減を実現することで，ネットゼロカーボン達成に向けた準備を行っていく．本研究開発は再生可能エネルギー大量導入時代の課題を解決する大きな一助になると考える．

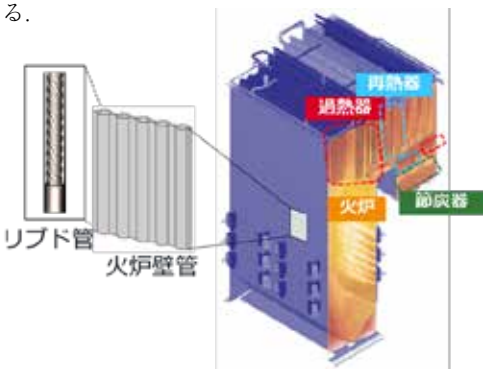


図１　超々臨界圧変圧貫流（USC）ボイラの構造

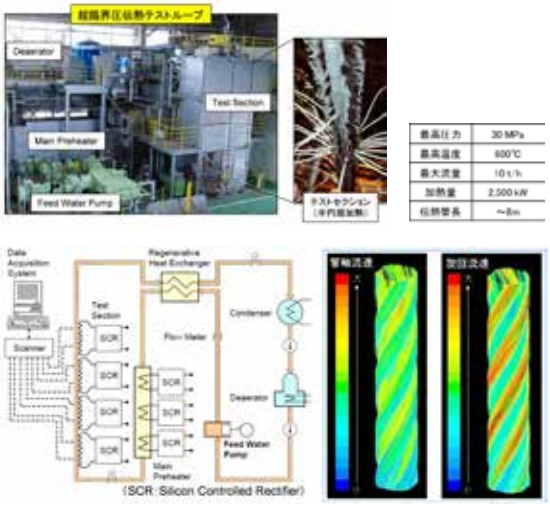


図２　大規模試験設備の外観とリブド管の CFD 解析例

*1 正員，三菱パワー株式会社（〒220-8401 横浜市西区みなとみらい三丁目3番1号）
*2 正員，三菱重工業株式会社（〒851-0392 長崎市深堀町五丁目717番地1）
*3 正員，Mitsubishi Power（Philippines）Inc.（AG&P Special Economic Zone Brgy. San Roque, Bauan, 4201, Batangas, Philippines）

(8) パウダDED方式３次元金属積層造形機の開発

二井谷 春彦*1　石井　浩*2　倉本 博久*2　若名 智宏*2　吉村　仁*2

1. 概　要

金属積層造形のパウダDED方式（Directed Energy Deposition）はノズルから金属粉末を溶融部に効率よく供給する方式である為，造形速度がPBF（Powder Bed Fusion）に対して10倍程度早く，装置の大形化が容易で大型部品の造形に適しているという特徴を持つ．その一方で，溶融・凝固プロセス中の金属酸化による材料の劣化防止や，造形中に刻々と変化する過熱冷却の状況に合わせたレーザ出力や送り速度などの造形条件の最適制御が課題である．

これらの課題を解決するため，不活性ガスの最適噴射により溶融部への大気流入を遮断するローカルシールドノズルと，インプロセスで金属溶融部を観察して造形条件をリアルタイムに制御できるモニタリングフィードバック機能を搭載したパウダDED方式３次元金属積層造形機を世界で初めて開発した．

図１　パウダ DED 方式３次元金属積層造形機「LAMDA」外観

2. 技術の内容

パウダDED方式はノズルから金属粉末を照射供給し，レーザにより基材とともに溶融・凝固させながら造形していく方式である（図２）．

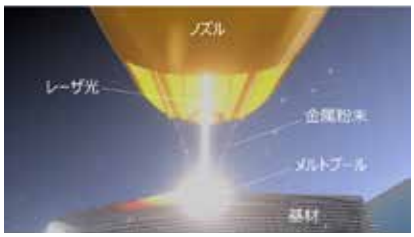


図２　パウダ DED の原理

2. 1　ローカルシールドノズル

チタン合金等の活性な金属を造形する際は，材料中の酸素濃度が機械的特性に大きな影響を与えるため酸化防止が必要となる．このため，金属積層装置をチャンバ構造にして不活性ガスに置換，または真空引きを行い低酸素環境にして造形する場合が多いが，造形物の大きさがチャンバ寸法に制限され，また，置換・真空引きに時間がかかり生産性が低下するという課題があった．そこで，大型の造形物の製造を可能とし，さらにタクトタイムの短縮により生産性の向上を図るため，造形部のみをシールドできるローカルシールドノズルを開発した．

このローカルシールドノズルによりノズルの外周から不活性ガスを噴射して金属溶融部に対してシールドをつくることで，外気の流入を防ぎ，チャンバ構造を不要とすることができた（図３）．ローカルシールドノズルは自由形状の造形を可能にするため，移動方向に制限を設けない円環状の構造とし，ガス流路の形状やガスの吹出し速度等のパラメータを最適化することで大気の巻込を防止して，溶融部とその周辺を目標酸素濃度以下としている．本機能を使用して大気環境下で活性金属であるTi-6Al-4V試験片を造形した結果，航空宇宙材料規格AMS4928で規定されている酸素含有率0.2%以下を達成した．

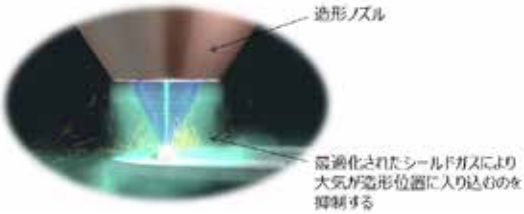


図３　ローカルシールドノズル

2. 2　モニタリングフィードバック

レーザ光軸に近赤外線カメラを設置することにより，造形方向によらず金属溶融部を真上から観察を可能とした．更に観察画像から溶融部（メルトプール）を正確に識別・計測する技術を開発し，外乱の影響を受けずにメルトプールの状態をインプロセスでリアルタイムに計測することが可能となった．計測した状態変化に応じて高速に造形条件を制御することで，飛躍的に造形精度を向上させることが可能となった（図４）．

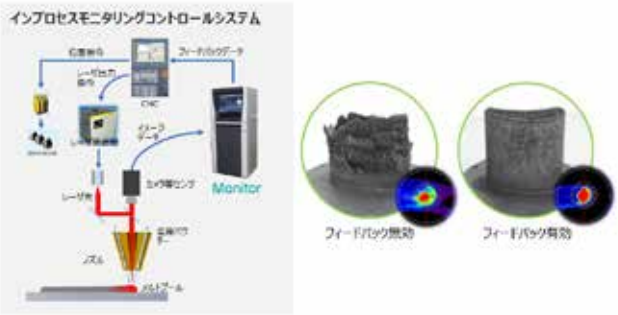


図４　モニタリングシステム構成とフィードバック効果

3. まとめ

本技術によりパウダDEDによる大型部品造形の生産性と造形品質を飛躍的に向上できた．今後も引き続き金属積層技術の向上を通じて国内ものづくり産業の競争力向上に貢献できるよう，技術開発を推進していく．

*1 正員，三菱重工工作機械㈱（〒520-3080 栗東市六地蔵130）
*2 三菱重工工作機械㈱ 技術本部（〒520-3080 栗東市六地蔵130）

研究奨励

(1) エンドミル加工におけるシミュレーションを活用した加工状態のモニタリングの研究

金子 和暉*

切削加工の一種であるエンドミル加工において，切削力シミュレーションを用いた加工状態のセンサレスモニタリング方法を提案した．シミュレーションを実加工と同期してリアルタイムで実行することで，加工状態を表す重要な情報である切削力をシミュレーション上で仮想的にモニタリングすることができる．シミュレーションに必要なパラメータは，センサレスで取得できる主軸モータトルクから加工開始直後に瞬時に決定されるため，予めパラメータを決定する労力を削減でき，非常に実用的である．また，切削トルクのシミュレーション結果と主軸モータトルクのモニタリング結果の比較から，異常検出と摩耗状態の推定もセンサレスで可能である．

* 正員，神戸大学大学院工学研究科機械工学専攻

研究奨励

(2) 複合材料のマルチスケール粘弾塑性損傷解析の研究

後藤 圭太*

航空宇宙産業や自動車産業を筆頭に炭素繊維強化プラスチック（CFRP）の利用が拡大しているものの，その設計指針や構造信頼性の評価手法は成熟しておらず，強度や長期信頼性を過大に評価した上で設計せざるを得ない状況にある．本研究では，CFRPの損傷・破壊メカニズムを数値シミュレーションによって評価することを目的として，マトリクス樹脂の非弾性損傷構成式を提案するとともに，連続体損傷力学を均質化理論に適用することでマルチスケール粘弾塑性損傷解析手法を構築した．CFRPの損傷進展解析の結果，数値シミュレーションにより実験結果を高精度に再現可能であることを示し，初期損傷から破壊に至るまでのメカニズムを明らかにした．

* 正員，名古屋大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻（〒464-8603 名古屋市千種区不老町）

研究奨励

(3) 原子論に基づく合金材料の強化メカニズムと強度予測の研究

新里 秀平*

金属材料は異種元素を添加することで力学特性が変化することが知られており，構造材料においては強度向上の手段として広く利用されている．しかしながら，添加濃度や温度が材料強度に与える影響は非線形的であり，優れた力学特性を持つ新奇合金材料を開発するためには，従来の試行錯誤に基づく経験的な材料設計には多くの時間と開発コストがかかることから，合金材料の強度の非経験的予測手段の確立が望まれる．本研究では，結晶材料の変形を律速する転位欠陥の振る舞いに材料中の合金原子，または合金原子が生み出す格子ひずみ場が与える影響を，原子モデルを用いて解析し，得られた知見に基づく合金材料の非経験的強度予測モデルを構築した．

* 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

(4) 有人宇宙活動における火災リスク低減に向けた微小重力燃焼の研究

小林 芳成*

近年の航空宇宙産業の振興や技術開発の進展から，人類は今後さらに宇宙へと活動の幅を広げ，有人宇宙活動の増加および長期化が予想される．それに伴い，宇宙船内における火災リスクも上昇するため，船内の火災安全性の確保，そしてより一層の向上が求められる．本研究では，宇宙船内における火災安全性向上を目的として，宇宙のような微小重力環境における燃焼現象，特に固体材料の燃え拡がりや可燃性混合気の点火を対象に，それらの燃焼メカニズムを解明してきた．本研究の成果は，宇宙船に使用される構造部材の燃焼性評価や宇宙用難燃性材料の開発に応用されるなど，今後，宇宙開発の発展と共にその重要性が高まっていくことが期待される．

* 正員，岐阜大学工学部機械工学科

研究奨励

(5) 位相シフト法を用いた熱物質輸送の光学可視化計測の研究

庄司 衛太*

光学可視化計測は非接触であることから，対象とする熱物質輸送現象に影響を与えることなく場の情報を取得できる．一方，その測定分解能は使用光源の波長に依存する．本研究は，より高い分解能を実現できる種々の位相シフト光学系の開発を行うとともに，これら光学系を熱物質輸送の可視化計測へと展開したものである．具体的には，観察視野拡大および高速化を可能とした位相シフト光干渉計の開発による対流熱伝達の可視化計測，位相シフトエリプソメータの開発によるナノメートルの膜厚を有する液膜挙動の可視化計測を実現した．これら光学計測技術を利用した熱物質輸送の可視化計測は，より高度な熱制御技術の実現に貢献できると考える．

* 正員，東北大学大学院工学研究科

研究奨励

(6) 沸騰熱伝達メカニズム解明の研究

矢吹 智英*

沸騰現象は高い熱伝達率を持つため発熱体の冷却を用途に持つが，沸騰がなぜ高い熱伝達率を持つかは明確でない．気泡底部の薄液膜の蒸発や乾き面のリウェッティングなどの沸騰が内包する各種伝熱素過程の時空間スケールが小さく，一般的な計測技術ではそれらを精密に計測できないことが沸騰メカニズムを調べるのが難しい要因である．本研究では，MEMSセンサや高速度赤外線カメラなどの高分解能計測技術を駆使した壁面温度・熱輸送の直接計測により，基本的な沸騰条件である水の飽和プール沸騰の熱伝達メカニズムを詳細に調べ，各種伝熱素過程の気泡成長，総壁面伝熱量への寄与や局所伝熱特性を明らかにした．

* 正員，九州工業大学大学院工学研究院機械知能工学研究系

研究奨励

(7) 回転機械診断のための１DCAEによる回転体の軸，軸受系の振動解析の研究

石橋 達朗*

設備の異常検知を行うには，異常と正常状態の両方のデータが大量に必要となるが，対象設備が大型である場合や寿命が長い場合，異常を含むデータを取得することが課題である．本研究では回転機械に着目し，回転体の軸・軸受系の振動解析法を伝達マトリックス法とほぼ等価な手法により物事の本質を的確に捉え，見通しの良い形式でシンプルに表現する１DCAEの概念に基づき，複合領域物理モデリングをするための非因果的なオブジェクト指向型のModelica言語で開発した．従来の線形振動の範囲のみならず，軸受損傷の衝撃振動，流体力やケーシングと接触に代表される非線形振動および回転数が変化する非定常系など広範囲に適用できる計算手法を確立した．

* 正員，㈱明電舎（〒410-8588 沼津市東間門字上中溝515）

研究奨励

(8) 汎用工作機械における三次元機上計測の研究

大坪　樹*

工作機械上における形状計測は，加工の高精度化と高能率化を同時に実現する技術として注目されているが，環境振動や運動誤差によって生じる測定機と被測定物間の相対変位誤差が測定誤差を引き起こし，機上計測の実現を阻害している．本研究では，相対変位誤差の除去技術である光スキッド法を付与した三角測量式レーザ変位計を開発し，簡易な光学系でありながら，振動によって生じる変位誤差を除去できることを実験的に明らかにした．本研究の成果は，軸の運動精度が高くない工作機械における機上計測の実現や加工現場における高精度形状計測を可能とするとともに，加工の省人化・全自動化への貢献が期待できる．

* 正員，長崎大学大学院工学研究科（〒852-8521 長崎市文教町1-14）

研究奨励

(9) 深層学習を用いた３次元物体認識の研究

金崎 朝子*

３次元のセンサデータから物体を認識する研究である．雑多な未知環境下でロボット等が自律移動しながら撮影した画像から物体を認識するためにはノイズや隠れの影響を考慮する必要があり，さらに物体を操作するためにはその姿勢も把握する必要がある．これらの課題を解決するために，当該研究は多方向から撮影された複数のマルチビュー画像を統合し，物体のカテゴリと姿勢を同時に認識する新しいアルゴリズムを提案した．他の研究機関のマルチビュー認識手法はほとんどがオフライン処理であるのに対し，提案手法は新規画像を観測する度に即座に認識結果を更新することが可能であり，ロボット等の自律システムに最適な設計となっている．

* 正員，東京工業大学大学院情報理工学院

研究奨励

(10) 気流中の柔軟媒体に励起される空力弾性振動の特性および励振メカニズムに関する研究

廣明 慶一*

高機能性フィルムなどの柔軟媒体の製造工程において，媒体に生じる空力弾性振動による傷や破損が生産性の低下を招く問題となっている．このため，これまでに振動の発生条件などの予測を目的として解析モデルの構築が行われて来たが，そのほとんどが２次元解析であり予測精度の高い解析モデルの構築には至っていなかった．これに対し本研究では，流体流れと媒体の変形の双方の３次元性を考慮した３次元解析モデルを構築し，振動の発生条件などを定量的に予測することが可能になった．さらに，流体力によって媒体表面になされる仕事分布を求めることで，仕事が正となる領域，つまり流体力が励振力として作用する領域を明らかにした．

* 正員，青山学院大学理工学部（〒252-5258 相模原市中央区淵野辺5-10-1）

研究奨励

(11) DLC膜の境界潤滑中摩擦摩耗に及ぼすカーボン拡散の影響の研究

ABOUA Kouami Auxence Melardot*

カーボン系硬質膜の低摩擦・耐摩耗は，自動車をはじめ多くの機械の摺動面で期待されている．本業績では，カーボン系硬質膜に対する軟質な相手材との摩擦における異常摩耗の原因として，カーボン原子と相手材の相互拡散が摩擦摩耗に及ぼす影響を実験的に明らかにした．水素含有DLCと炭素鋼の潤滑油中の摩擦において，双方のカーボン原子の相手面への拡散を区別するために，13Cを含有するメタンガスよりCVD法でDLC膜を成膜し，TOF-SIMSで観察することで，カーボン原子と相手材の相互拡散を定量的に明らかにした．さらに，カーボン原子の拡散防止のため，相手面材料としてカーボンとの固溶体を作らないゲルマニウムを選ぶ摩耗低減の指針を提案した．

* 正員，㈱ジェイテクト奈良工場研究開発部（〒634-8555 橿原市十市町333）

研究奨励

(12) 車輪式移動装置の一般化運動学モデル構築と新メカニズム創出の研究

寺川 達郎*

次代の社会を支える移動装置として，搬送ロボットやパーソナルモビリティ，電動車いすなどが必要とされている．本研究では，移動装置の適用を拡張するために，移動装置の重要な要素技術である車輪機構とモータの動作原理や設計方法に対して，理論の構築とメカニズムの創出に取り組んだ．種々の車輪機構の挙動を分析し，あらゆる機構の運動を記述できる一般化運動学モデルを構築した．また，構築したモデルに基づいて新機構を理論的に創出する手法を考案し，高い移動機能と信頼性を両立する新原理全方向移動装置を開発した．さらに，薄型・高負荷容量のモータを実現するために，減速機構と電動機を一体化する機構を提案した．

* 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）

研究奨励

(13) カーボン系硬質膜の高温トライボロジー特性の研究

米山 興瑞*

カーボン膜は高硬度，低摩擦，耐摩耗性，低相手攻撃性などトライボロジー特性に優れ，広く使われている．しかし使用温度によっては適用が限定され，特に200℃以上の温度域で摺動被膜として使用することが困難である．そのため，高温環境に適用できるカーボン系膜の開発には，カーボン系膜の高温摺動特性を解明する必要がある．本業績では高温摺動試験機による種々のカーボン系硬質膜（a-C:H，ta-C，CNx）の高温摩擦摩耗特性を評価した．まず，環境走査電子顕微鏡により，酸素および窒素雰囲気の高温下での摩擦摩耗挙動を観察する手法を新たに提案した．そして，カーボン膜の高温酸化・劣化メカニズムおよびカーボン膜の高温摺動特性に対する元素ドーピングの影響を明らかにした．

* 正員，㈱リケン（現）東京エレクトロンテクノロジーソリューションズ TFF開発本部

研究奨励

(14) 高精度かつ高速な呼吸系気流シミュレーション手法の開発に関する研究

蒋　　飛*

呼吸系疾患の病因特定や治療効果予測において呼吸における生体力学現象の解明は必要不可欠である．正確な肺気流解析を行うには，変形する気管支の挙動を考慮した流体構造連成解析を用いる必要がある．また，臨床現場での実用化に向けて，医用画像データに基づく気流解析の自動化及び高速化も求められている．本研究では，並列計算技術を駆使し，安定性及び計算効率に優れた流体構造連成解析手法を開発した．医用CT画像から得られる気管支のボクセルデータを直接に利用することで，気道末梢部を自動的に抽出するアルゴリズムを構築し，リアルタイム解析が可能な高精度かつ高速な呼吸系気流シミュレーション手法の開発に成功した．

* 正員，山口大学大学院創成科学研究科

研究奨励

(15) 電気生理学に基づく消化器系計算バイオメカニクスの研究

宮川 泰明*

胃や腸などの消化器は，ぜん動運動や分節運動といった消化管壁の運動により内部の食物を輸送・撹拌することで効率的に食物を消化・吸収している．食物の消化の詳細なメカニズムの解明には消化管内部での流動を知ることが重要であるが，これを実験的に可視化および計測するのは難しい．一方，消化管壁の電気生理学的な活動を観察することによって消化管壁の運動を間接的に知ることは可能であり，本研究では電気生理学と計算バイオメカニクスを統合した新しい消化器系の計算力学モデルを構築した．また，それを用いて胃や腸における内容物の撹拌および排出現象を明らかにし，電気生理学に基づく消化器系計算バイオメカニクスを開拓・牽引してきた．

* 正員，弘前大学大学院理工学研究科理工学専攻

研究奨励

(16) 螺旋状ゲルを用いたソフトアクチュエータおよび自律型マイクロマシンの研究

吉田 光輝*

本研究では，刺激応答性ゲルを螺旋状に加工することでソフトアクチュエータおよび自律型マイクロマシンを実現した．竹槍状先端を持つ微細管からプレゲル溶液を射出しながらゲル化すること，非対称的にゲル化が行われ，螺旋状ゲルを構築することができる．マイクロ流体デバイスにより刺激応答性ゲルをパターンすることで，螺旋形状全体が大きく収縮する挙動を実現した．また，刺激応答性ゲルのパターンを変えることで，螺旋形状全体が伸長する挙動も実現した．さらに，磁性ナノ粒子を含む螺旋状ゲルの回転磁場による水中の推進を達成した．刺激応答性ゲルによる螺旋形状の変形を用いることで自律的に推進速度を制御することができる．

* 正員，慶應義塾大学大学院理工学研究科総合デザイン工学専攻

研究奨励

(17) 摩擦音発音の空力音響解析に関する研究

吉永　　司*

摩擦音とは子音に分類される発音の一種であり，口腔内の舌や口蓋，口唇などにより形成された狭窄流路からジェット気流を発生させることにより，空力音として音を発音することが知られている．この摩擦音について，発音時の口腔形状に対して空力音響解析を行うことにより，どのように発音の音響特性の個人差及び共通点が生まれるのかを明らかにした．さらに，発音時の空力音源をモデル化することにより，超音波画像などで簡易的に計測した口腔形状に対しても発音の特性を予測可能なモデルを構築した．これらの研究により，口腔形状の異常による構音障害に対するリハビリ治療支援に貢献可能な技術を確立した．

* 正員，豊橋技術科学大学機械工学系

技術奨励

(1) 液滴ふく射伝熱の機構論的数値解析評価技術の開発

青柳 光裕*

ナトリウム(Na)冷却高速炉におけるNa火災事象の数値解析評価では，熱輸送を伴うNa燃焼挙動のモデル化が重要である．既存モデルの課題として，液滴燃焼時のふく射伝熱が直接考慮されていないため，周囲ガスへの伝熱量は過大，逆に壁面では過小になっていたことから，本開発では液滴ふく射伝熱のモデルを構築した．具体的には，液滴表面における放射や散乱等でのふく射量を機構論的に定式化し，ガスふく射輸送モデルのソース項に組み込むことで，液滴から周囲へのふく射伝熱挙動をモデル化した．本モデルをNa燃焼実験のベンチマーク解析に適用した結果，従来モデルの解析よりも精度が向上し，構築したモデルの有効性を確認した．

* 正員，(国研)日本原子力研究開発機構（〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002番地）

技術奨励

(2) 物理モデル規範による ガソリンエンジン制御技術の開発

荒川 貴文*

自動車の排気規制が強化される中，エンジン排気中の有害物質抑制が求められている．ガソリンエンジンでは触媒で排気を浄化するために空燃比，すなわち吸入空気量に対する燃料噴射量を高精度に制御する必要がある．近年のエンジンは過給機，可変動弁，排気再循環（以下，EGR）装置などを搭載し吸気経路が複雑化しているため，空気量の推定精度が悪化するという課題があった．そこで吸気管中の空気およびEGRガスの挙動を一次元の物理モデルを用いて模擬するとともに，モデル簡略化を実現することで，高精度で計算負荷の低い空気量推定制御モデルを構築した．本制御モデルを実機に搭載し，空燃比の制御精度が向上することを実証した．

* 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番地2）

技術奨励

(3) 排ガスNOxの生成を抑制する 微粉炭とアンモニアの混焼技術の開発

石井 大樹*

石炭火力発電所からのCO_2の排出削減のため，燃焼時にCO_2を生成しないアンモニアの燃料利用が期待される．しかし，アンモニアは直接燃料として利用できる反面，燃焼時の大量のNOx生成が懸念される．そこで，微粉炭とアンモニアの混焼において，燃料と空気の流れを制御するためにバーナの構造を工夫し，アンモニアを低位発熱量基準で20%混焼可能なバーナを開発した．このバーナを用いて10MWthの微粉炭・アンモニア混焼試験を行ない，微粉炭専焼と同程度の燃焼性を維持したまま排ガスNOxを同程度に抑制できることを確認した．本技術は高効率の超々臨界圧や先進超々臨界圧発電プラントにも適用でき，更なる温暖化防止に寄与する．

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

技術奨励

(4) 複雑な環境情報を処理して 要求動作を達成する物流事業向け ロボットシステムの把持計画技術の開発

衛藤 春菜*

本技術では，物流分野で顕在化する労働力不足解決に向け，自動荷降ろしロボットおよびビンピッキングロボットという二つの自動化システムの開発を行った．自動荷降ろしロボットでは，RGB-Dセンサと直動３軸アクチュエータから成るロボットを用い，積載状態やサイズが不明な複数の段ボールを高速に荷降ろしするための把持動作計画アルゴリズムを開発し，搬送個数性能683個/時間相当を達成した．ビンピッキングロボットでは，物品把持の安定性を考慮した把持位置姿勢を高速に算出する把持計画アルゴリズムを開発し，平均175[ms]の僅かな時間で算出される把持姿勢により，乱雑に置かれた対象物を安定把持する技術を実証した．

* 正員，㈱東芝（〒212-8582 川崎市幸区小向東芝町1）

技術奨励

(5) 道路トンネル用足元誘導灯仕様の開発

加賀 啓也*

トンネルは閉鎖された空間であるため，火災その他事故に対する防災対策には十分な配慮が必要である．道路トンネル用足元誘導灯は，非常口誘導灯とともに道路トンネル火災時において，避難者を安全かつ迅速に非常口等の安全空間に誘導するための設備である．道路トンネル火災の特徴は，車両や燃料の延焼に伴う黒煙が避難環境に影響を及ぼすことであるが，避難経路は建物よりも直線的で単純である．本開発はこれらの特徴を踏まえ，煙及び灯具条件に着目した煙中歩行の実験結果を基に，煙濃度・発光輝度・歩行速度の相関と，歩行者アンケートによる心理的な影響を考慮し，避難誘導に効果的な道路トンネル用足元誘導灯仕様を提案したものである．

* 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

(6) 洋上風力多端子直流送電網向け ハイブリッド直流遮断器の機械遮断部の開発

金谷 和長*

大規模洋上風力発電の送電システムとして多端子直流送電網が検討されており，実現には高速遮断が可能な高電圧の直流遮断器が不可欠である．エネルギ損失が世界最小のハイブリッド直流遮断器を実現するため，構成要素の機械遮断部について以下の開発を行った．まず高速に電極駆動が可能な電磁反発アクチュエータを開発し，交流遮断器の三分の一以下の時間で駆動する応答性能を実現した．また高電圧化と小型化を両立するため，ユニット間を垂直方向に積層し接続するだけで簡易に高電圧化可能な構成を開発した．さらにFBGセンサを用いた高電圧大電流環境下における応力測定手法を開発し，洋上における機器の無人状態監視を可能とした．

* 正員，東芝エネルギーシステムズ㈱（〒235-8523 横浜市磯子区新杉田町8）

技術奨励

(7) 低速かつ瞬時に係合可能な 新機構遠心クラッチの開発

嶌中 祐仁*

遠心クラッチは内燃機関に最適な機械式の自動クラッチとして成熟している．原動機がアイドリングをしているときは動力を切り離し，動力を利用したい回転速度になると遠心力により自動的に係合を始める．この特性は電動モータのようにアイドリングが不要な原動機には不適であった．そこで電動モータにも高い親和性を持つ，新規な係合原理の遠心クラッチを開発した．従来の遠心クラッチは遠心力で係合力を発生させるが，開発した技術ではクラッチに入力されるトルクの分力で係合力を発生させる．これにより外部動力や電子制御が不要で，入力軸が静止しているときは動力が切断され，入力軸が回転を始めると瞬時に動力が伝達される機能を達成した．

* 正員，㈱椿本チエイン（〒610-0380 京田辺市甘南備台1-1-3）

技術奨励

(8) 海図生成技術に基づく小型船舶向けインフラレス自動着桟の開発

嵩 裕一郎*

少子高齢化による労働人口の減少に伴い，漁業就業者や内航船の乗組員の人手不足が大きな問題となっている一方，海上交通や海上輸送，海上安全に対する需要がますます高まっている．これらの課題に対する解決策の一つとして船舶操船の自動化が求められている．

そこで，操船の自動化に必要な，環境情報から高精度に自己位置を推定する技術と，環境情報と既存の海図を情報量に応じてダイナミックに統合することでリアルタイムに海図を生成する技術を確立した．これらをもとに，船体特性を考慮した軌道生成と外乱である潮流や風を推定することで最も困難な操船の一つである着桟の自動化を，桟橋側にマーカ等の設備を設けることなく実現した．

* 正員，ヤンマーホールディングス㈱（〒521-8511 米原市梅ヶ原2481番地）

技術奨励

(9) 発電用水車で発生する不安定流動現象に関する抑制手法の開発

中島 峻浩*

水力発電用水車では設計点から離れた非設計点において，動翼下流の吸出し管でキャビテーションを伴う不安定流動現象が生じる可能性がある．不安定流動は水力発電システム全体にわたる脈動を生じさせるため，運転範囲制約の一因となっている．本開発では，メカニズムの解明と抑制手法確立のため，水車模型試験や要素試験装置による実験と数値解析を用いた現象分析と，一次元的な式を用いた理論的な分析評価を実施した．これによりキャビテーションによる蒸気泡が吸出し管内に発生した時，配管内の圧力分布が原因で系が不安定となることを証明した．また空気を吸出し管内に吸入することで簡便に不安定流動を抑制できることを明らかにした．

* 正員，東芝エネルギーシステムズ㈱（〒230-0034 横浜市鶴見区寛政町20-1）

技術奨励

(10) プレス成形による自動車用燃費向上C型クランクシャフトスラストワッシャ量産技術の開発

水野 貴大*

自動車のクランクシャフトに使用されるC型スラストワッシャは，2層異種金属積層板で製作され，摺動面にマイクロオーダーの微細形状を付与することで軸トルク低減と燃費改善が図れる．しかし，量産において，プレス加工での微細形状成形は構成金属の展延性や板厚の違いによって形状が安定せず寸法不良が多発し，高コストの研削が追加工として行われていた．本開発では，シミュレーションと模擬型を用いた成形性評価手法を構築し，寸法が安定しない要因が金型と素材の間の摩擦係数と異材間の板厚割合にあることを明らかにするとともに，最適な表面状態と板厚割合を導出した．これにより，当該部品のプレス加工による低コスト量産が可能となった．

* 正員，大豊工業㈱（〒471-8502 豊田市細谷町2-47）

技術奨励

(11) ミッドサイズ SUV 向け新型ハイブリッドトランスアクスルの開発

吉河 泰輝*

世界的な自動車燃費規制強化に伴いHV車の普及が進んでいるが，お客様は燃費性能だけでなく高い走行性能や静粛性も求めている．そこでTNGA（Toyota New Global Architecture）に基づく新型HVトランスアクスルP810を開発した．高出力化に伴う冷却性能の強化とその搭載構造から高い車両展開性と低損失な回路を実現した．車両負荷状況に応じて，空冷オイルクーラと水冷オイルクーラの二系統でモータを冷却する高効率なシステムを採用し，その搭載に当たっては，各部品の搭載位置をすべて見直し，低損失な回路を設計した．また電動オイルポンプの効率的な配置により，パワートレーン内でホース配策が完結され，展開車両で共通のシステム搭載を可能とした．

* 正員，トヨタ自動車㈱（〒471-8571 豊田市トヨタ町1）

技術奨励

(12) ボイラの信頼性を向上させる高性能伝熱管及び流動安定性評価技術の開発

渡辺 悠太*

火力発電設備は電力の安定供給のため信頼性向上が重要であり，さらに近年では，より柔軟な負荷変化等，従来と異なる運転条件が求められている．ボイラの火炉壁管の管内流速を下げると熱負荷変動に対するロバスト性が高まるが，伝熱性能低下の課題があった．そこで，CFDを用いた管内流動の評価や検証試験により低流速条件でも性能を維持する内面溝付管を開発した．またボイラは多数の分岐管を含む並列管構造であるが，非定常解析手法の構築や実機同等の高温・高圧環境での検証試験により流動安定性に問題ないことも確認した．その他，フィン付管の表面の非定常温度変化から熱伝達率分布を評価する手法を開発し，ボイラの信頼性向上に寄与した．

* 正員，三菱重工業㈱ 総合研究所 伝熱研究部 伝熱第一研究室（〒851-0392 長崎市深堀町5-717-1）

教　育

(1) 翻訳書「確率ロボティクス」と書籍「詳解確率ロボティクス」の出版およびウェブ上への教材の公開

上田 隆一*

受賞者は，自律移動ロボットや自動運転車の開発で重要な「確率ロボティクス」分野を国内で最初期に研究した工学者の一人である．将来この分野が重要になることを見越し，2005年に出版された唯一の教科書であるProbabilistic ROBOTICSの翻訳を手がけ，2007年に翻訳書「確率ロボティクス」を出版した．この分野の新しい概念を英語の文献から理解することは難しく，この翻訳書は分野全体をまとめた日本語の文献として貴重な役割を果たした．さらに2019年には，入門書「詳解確率ロボティクス」を出版した．この書籍では翻訳書よりも，より丁寧に数式展開を解説した．また，アルゴリズムを疑似コードではなく，実際に動作するスクリプト言語のコードで説明した．さらに，書籍の解説動画や書籍中のコードをウェブ上に公開することで，書籍の解説，動画の解説，数式を見比べ，コードを動かしながら理解を進められるようにした．現在，自動運転車やロボットの開発は産業として一般的になりつつあり，業界の裾野が広がっている．この状況において，より多くのエンジニアや学生に，確率ロボティクスの学習手段を提供した．

*1 正員，千葉工業大学先進工学部未来ロボティクス学科

教　育

(2) 大規模体験型授業からスタートする振動と制御の工学教育

原　　進*

振動工学の学習は従来，座学と学生実験の履修が基本であり，基礎から積み上げて行くものの，分野の全体像や学術的意義を早期に把握するのは難しい．そこで受賞者は，名古屋大学内にあって振動をデモンストレーション可能な一番大きな構造物である鉄筋コンクリート５階建ての免震建築物「減災館」に着目した．免震層上の建物をジャッキで移動させた後にリリースして自由振動する様子を，最下層の免振層内と建物内部の両方で受講生に体験させてから，数学を用いた理論的説明を行う授業を2015年度から開始した．そして，体験した受講生が翌年度以降に履修する制御工学の授業においては，減災館を模した模型を使ったアクティブ免震制御の実験体験を提供した．「減災館」を対象として，大規模体験実験，理論的説明と理解，模型を使った実験と続けながら振動と制御の工学を味わってもらう方法を，受賞者は「振動と制御の工学のV字型教育」を呼んで実践してきた．これまでにない工学教育プログラムの例であり，アンケート結果からも受講生のモチベーション向上が伺える．将来この分野の実務や研究活動にあたる有能な人材を育成する観点からも効果的なプログラムと思われる．

* 正員，名古屋大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻

教　育

(3) ナレッジマネジメント（知識経営）の導入によりスターリング冷凍機競技12年連続日本一を達成した工学教育

森田 慎一*

ナレッジマネジメント（知識経営）は，個人の知識や情報（暗黙知）を組織内で共有できるもの（形式知）にすることにより，継続的に成果を獲得する経営である．知識共有と共に重要な戦略は，明確な数値目標と時間設定を要するが，工学教育において強く意識されにくい．本事業は，スターリングサイクル機器（冷凍機，エンジン）の自主設計・製作に取り組む米子高専（鳥取県）学生（16 ～ 20歳）のものづくり教育活動に，知識経営手法を実践的に教育導入した取り組みである．

知識共有と数値目標を追求する実践的教育は，初歩的品質管理，納期管理に始まり，学生相互教育，設計検証・反映のための教育等が順次実施され，７～ 10年の長期計画として段階的導入を進めた．学生は，スケジュール管理や担当配置などを創意工夫し，数年で自主的運用を進めるようになった．教育導入５年目には全国大会で初優勝し，以降12年連続日本一の継続的成果をあげた．現在は，卒業研究に企業共同研究を取り入れるなど，地元企業などとの地域共同教育として発展的に継続されている．同様の教育事業を大学，大学院へも導入できれば，より幅広く組織運営できる人材を育てることができると考える．

*1 正員，北見工業大学 工学部 地球環境工学科（〒090-8507 北見市公園町165番地）

教　育

(4) 書籍「ロボット制御基礎論」

吉川 恒夫*

書籍「ロボット制御基礎論」（コロナ社）は，1988年11月に初版第１刷が発行され，以来30年以上にわたって版を重ねてきており，現在初版第30刷に至っている．本書の内容は，ロボットマニピュレータの機構解析およびその制御の分野における重要な基礎事項を網羅したものとなっている．そしてこれらの基礎事項がしっかりした数学的，理論的根拠に基づいて導出されており，物理的・直観的にわかりやすい説明が加えられている．このため本書は，大学等の教育機関においてロボット工学分野の基礎と応用を学ぶための標準的教材として採用されているだけでなく，現場の研究者・技術者が手元に置いておく参考書としても広く愛用され，多数の学術論文等にも引用されている．

以上のことから，本書籍はロボティクス・メカトロニクス分野において，必要不可欠な基本事項を広く，わかりやすく伝搬することを通じて，この分野に関わる研究者・技術者の育成・啓蒙に大きく寄与しており，その教育的観点からの貢献が顕著であると認められる．

* 正員，立命館大学（〒525-8577 草津市野路東1-1-1）

教　育

(5) モデルベース開発（MBD）教育カリキュラムの策定とその実践

脇谷　伸[*1]　山本　透[*1]　原田 靖裕[*2]

足立 智彦[*2]　森重 智年[*2,*3]

コンピュータ技術の急速な発展により，最近では複雑なシステムをコンピュータ上で実現し，机上でシステムの設計・検証を行うモデルベース開発（Model Based Development：MBD）の重要性が唱えられ，産業界では急速にその適用が進められようとしている．ところが，製品開発に携わるエンジニアにとって，一連のMBD開発プロセスを学習する機会は少なく，その概念が十分に浸透していないという実情にあった．このような現状に鑑み，2006年に「モデルベース開発人材育成研修」をスタートさせ，さらに加速的に人材育成することを目的として，2017年にはひろしま自動車産学官連携推進会議（略称 ひろ自連）の主導のもと，産学官連携により教育カリキュラムを抜本的に見直し，「モデルベース開発プロセス研修」として再構築し現在に至っている．これまでに1,500名を超える人材育成に貢献しており，2018年6月にはこのカリキュラム内容を学習用教材として出版した．

[*1] 正員，広島大学大学院　先進理工系科学研究科
[*2] 正員，マツダ株式会社　統合制御システム開発本部
[*3] 正員，広島大学　デジタルものづくり教育研究センター

(1) CRANE-X7

株式会社アールティ*

1. 製品概要

近年様々な業界で，人間の間近で動く協働ロボットの導入や産業用ロボットの自動化が推進されている．現在はサービスロボットからのアプローチはまだ少なく，その研究用ロボットの早急かつ求めやすい価格での流通が求められている．

CRANE-X７（読み：クラインエックスセブン）はサービスロボットの教育・研究向けに開発した７軸構成のアーム型ロボットである（**図１**）．大阪大学細田研究室と共同開発している．各軸モータは電流制御が可能となっており，動力学に基づく制御を体感することができるようになっている．７軸なので冗長性を持ち，自由度の高さを活かして人の腕のような柔軟な動作を行うことができる．成人女性の腕の大きさを基準に設計し，３Dプリンタによる樹脂で製造した華奢なイメージの外装により，人が近づくこと，触れることに抵抗を持ちにくいデザインを実現した．肘にあたる部分の設計を工夫することで動作中の挟み込みを防止するなど，安全性にも配慮している．

図１．CRANE-X7

2. サービスロボットの研究に適した設計

モータユニット，ケーブル，３Dプリンタ製フレームの３種類によるシンプルな構成となっている．金属系のアルミフレームなどを使用して作ったアーム型ロボットと比べて，剛性，可搬重量，耐久性，速度は劣るが，軽量で移動設置や管理がしやすく，数十Wh程度のバッテリでも駆動させることができるため，研究の場所を選ばない．シンプルな構成により，不具合が起こったときの原因の切り分けがしやすい．また繰り返し精度は最低限確保し，実験の再現性を落とさないことに留意した．

７軸構成となっているが，状況に応じていくつかのモータを固定することで，様々な自由度のロボットとして実験ができる．

筐体カラーはパーツごとに白，黒，赤，青，黄，緑の６色から選択可能で，画像処理で色によるマスク処理をしたい場合にも対応できる．さらにCADデータなどのハードウェア情報や組み立てマニュアルを開示しているため，ユーザによる改変や修理ができるようになっている．

3. 教育研究向けのサポート

C言語による逆運動学のサンプルのほか，ロボット開発ミドルウェアとして近年利用者が多いROS（Kinetic，Melodic，Noetic）に対応した制御用パッケージ，制御サンプルを公開している．ROSでは，ロボットの状態などを可視化できる「RViz」やマニピュレータのための運動学計算・軌道計画用のライブラリとして「MoveIt」がある．これらの豊富なサンプルコード集とパッケージを公開することにより，ユーザはROSプログラムが容易に開発できるだけでなく，高度な処理の研究開発に応用することも可能である（**図２**）．

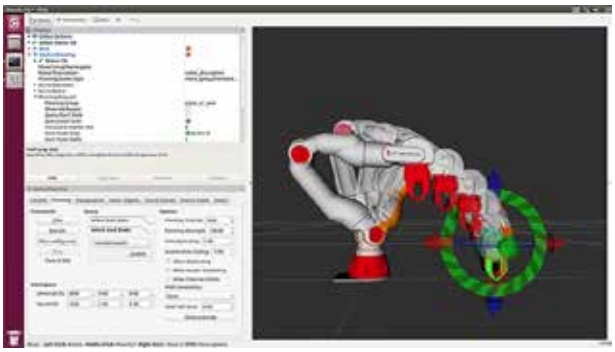


図２．ROS の RViz を使ったロボット操作

さらにCRANE-X７をモデルとした教科書「実践ロボット制御　基礎から動力学まで」（大阪大学細田教授著，オーム社出版）と合わせることで，アーム型ロボットの制御に関する理論を体系的に学ぶことができる．

㈱アールティからは，本書籍を参考に理論をプログラム実装したものを技術ブログで連載している（**図３**）．

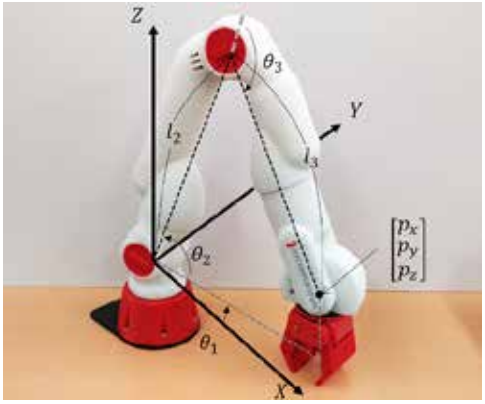


図３．技術ブログ掲載写真の一例

4. 販売実績

主に国内大学などの教育機関や，企業の研究開発機関に向けて販売している．2018年に発売し，現在までに約80台販売している．

* 特別員，〒101-0021 東京都千代田外神田3-9-2 末広ビル3F

(2) 渦電流非破壊検査装置 ECNI-Ⅱ

新東工業株式会社*

1. 製品概要

熱処理やショットピーニングなどの表面処理は処理装置における工程管理と抜き取り検査にてその品質を管理しているが，出荷製品そのものの検査がなかなかできていないのが現状である．このため，表面処理製品を非破壊で検査でき，且つ誰でも扱える非破壊検査技術が求められており，この要望に応えたのが渦電流非破壊検査装置ECNI-Ⅱである．

本製品は，渦電流法と呼ばれる磁気の力を用いた手法によって，表面処理製品を破壊せずにその内部を検査する非破壊検査装置である．表面処理の状態を数値化することで，経験の浅い現場作業者であっても表面処理状態の良し悪しを判別することができる．また，生産ラインへの組込みが可能であるため，主に自動車用ギヤの生産ラインにて本製品によるインライン全点検査が行われている．また，表面処理の異常検査だけではなく，処理前の素材判別検査としても使用されている．

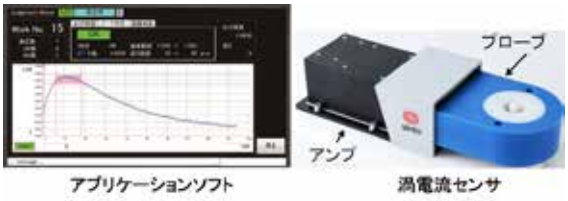


図１　渦電流非破壊検査装置 ECNI-Ⅱ

2. 製品の内容

2. 1　渦電流法について

図２に渦電流が発生する模式図を示す．渦電流とは，時間的に変化する磁界を鋼材などの導体に照射することで生じる電流である．コイル内に導体を配置した場合にはコイルに囲まれた導体側面に対して渦電流が流れる．表面処理により金属組織内の弾性歪みや塑性歪みなどの歪みが変化する場合や相変態する場合において，導体の電磁気特性が変化する．渦電流は電磁気特性変化により反応が変わるため，表面処理製品の検査が可能となる．また，渦電流は照射する磁界の周波数によって導体に浸透する深さが変わるため，表面処理製品内部を非破壊にて検査することが可能である．

2. 2　製品の特徴

本製品は，被検体を測定する渦電流センサと，センサの制御および判定機能を備えたアプリケーションソフトにて構成されている．また，センサは被検体を配置するプローブとプローブを制御するアンプにて構成されている．測定はプローブに備えられたコイル内へ被検体を配置して行われる．測定方法としては周波数掃引渦電流法を採用しており，１回の測定にて磁界の周波数を掃引することで渦電流の浸透深さを徐々に変えながら測定が行われる．あらかじめ処理前の周波数掃引に対する渦電流の反応強度を基準情報として取得しておき，表面処理後の被検体の周波数掃引に対する渦電流の反応強度との比率を算出し，表面処理状態の定量化が行われる．図２内の右図は，測定後に表示される測定結果のイメージ図である．

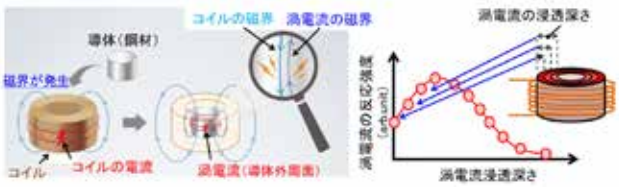


図２　渦電流発生の模式図（左）と測定結果イメージ図（右）

測定例を図３に示す．測定サンプルには表面処理であるショットピーニング（SP）を使い，処理層の深さを変えたサンプルを用いている．基準条件はショットピーニング前の周波数掃引情報を記憶している．縦軸は渦電流の反応強度，横軸は磁界の周波数を渦電流の浸透深さに換算した値である．図３のように，本製品によって渦電流反応を定量化することでショットピーニングによるサンプル処理層の違いを視覚化することができる．

測定形状としてはコイルが円筒形状であるため，均一に磁界を照射することのできるギヤやシャフトなどの軸対称形状が望ましい．

また，検査では事前に記憶しておいた良品グラフと，被検体グラフを比較することで被検体の表面処理状態の良否判定が行われ，測定から判定までの検査時間は最短で１秒である．

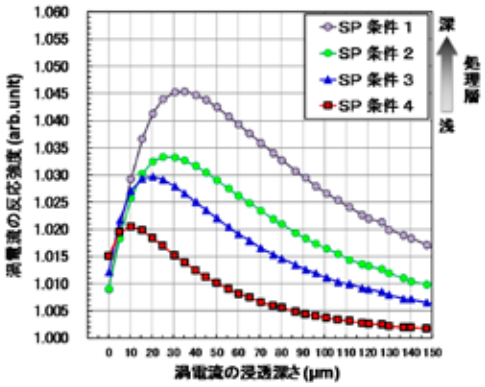


図３　ショットピーニング品の測定例

3. 販売実績

近年のコロナ禍において生産ラインでの省人化や自動化対策としての要望が増えつつある．販売実績は国内で20台程であるが，ライン自動化を目指したデジタル化やIoT活用における本製品のニーズが高まると考えている．また，本製品から得た情報をIoTシステムに展開するなど，今後も生産現場での課題解決に貢献していきたい．

* 特別員，〒441-1205 愛知県豊川市大木町小牧180-1

(3) Σiローダ高速タイプ

高松機械工業株式会社*

1. 製品概要

ものづくりの現場では，労働人口の減少や生産性の向上といった点から，自動化への要求が強くなっている．本製品は工作機械において，被加工物のチャックへの着脱や工程間での搬送をするための装置であるローダの動作の高速化を実現した．ローダの高速化は，実際の部品加工現場における非加工時間（非生産性）の削減につながり，部品１個当たりの生産時間にも影響があるので，業界全体での取り組みとなっている．

一般的にはローダの移動速度の高速化による対応が多いが，その場合，強烈な加速・減速力により振動が発生し，工作機械本体への伝播により部品の加工精度が悪化するという問題がある．本製品は，移動速度の高速化だけではなく，被加工物の着脱（ローディング）作業での「動作を見直して省略する」ということに主眼をおいた高速化に取り組み，加工精度の品質を下げることなく高速化を可能にしたローダ装置である．

図１に機械上を移動する走行軸と機械内に移動する上下軸を持つ２軸仕様のローダ装置を示す．走行軸の方向と主軸への寄り付き方向が異なる並行２スピンドル機等に対応するため，前後軸を付加した３軸仕様もある．

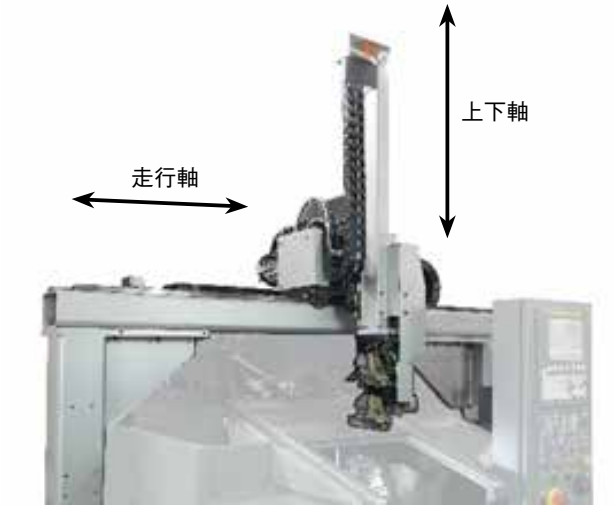


図1　Σiローダ高速タイプ（２軸仕様）

2. ローディング動作を省いた最適化

当社では，以前から直交型ローダ装置を自社開発しており，ローダハンド個別動作（特許6174193），ローダハンドからチャックへの素材押し込み動作(特許5349850)，加工室シャッタの高速制御（特許5253448）の技術があった．これらを組み合わせて新しい制御フロー（特開2019-147215）を開発することで，図２に示すように，従来15ステップあったローディング動作を12ステップに省略することができた．

さらに，ローダの移動速度が高速になることで増加する振動の影響を旋盤本体に伝わるのを抑制する構造（特許5890365）も組み合わせて，ローディング動作全体の最適化の技術を盛り込むことで，トータル的にローディングタイムの短縮を実現した．

図2　従来と本製品のローディング動作数の比較

3. 販売実績

本製品は，当社の主力製品である主軸チャックサイズが５ないし６インチの機械に搭載されている．2020年12月までに13台の販売実績がある．2020年はコロナ禍で生産台数の落ち込みもあったが，徐々に市場の回復基調にある中で，さらなる生産性の向上を目指すお客様への普及が進むと期待する．

4. まとめ

本製品は業界最速レベルのローディングタイム２秒を実現した．コロナ禍によるものづくり現場の無人化，自動化への要求が強まる中，本製品が貢献できる部分は大きいと考えている．

* 特別員，〒924-8558 石川県白山市旭丘1-8

(4) 乾式反応集じん装置

株式会社プランテック*

1. 製品概要

廃棄物焼却炉から排出される排ガス中には，ダストの他，塩化水素や硫黄酸化物などの酸性ガス，窒素酸化物，ダイオキシン類，水銀等の重金属類等，さまざまな有害物質が含まれている．乾式反応集じん装置（本製品）は，広く普及している汎用の乾式排ガス処理では対応できない厳しい規制値が求められる酸性ガス処理やダイオキシン類，水銀の除去に加え，未反応消石灰の大幅な削減を実現した画期的な製品である．

2. 開発の背景

廃棄物焼却に伴い発生する排ガス処理として，排ガス中に薬品（消石灰および活性炭）を連続して吹込み，排ガスダクト中とバグフィルタ内のろ布表面で反応・吸着処理させる乾式の処理が広く普及している．しかし，排ガス中の有害成分と消石灰の接触が十分でなく，未反応消石灰が多くなることから，消石灰が過剰に必要となり，その結果バグフィルタ捕集灰が強アルカリとなって重金属類が溶出し易くなるため最終処分に際して安定化薬剤も必要となる．さらに，大都市圏を初めとして有害ガスの排出に厳しい規制値が求められる場合，乾式処理では対応できず，装置が複雑でメンテナンスに手間がかかる湿式処理が採用されていた．

そのため，排水処理が不要でメンテナンスコストを削減できる乾式の処理であり，かつ，排ガス処理性能が高い製品が強く求められていた．

3. 製品の内容

本製品の外観と内部構造を図１，図２に示す．汎用の乾式処理では，排ガスダクト中に薬品（消石灰および活性炭）を連続して吹込んで排ガスダクト中とバグフィルタ内部のろ布上で反応・吸着処理させるものであるが，消石灰や活性炭と排ガス中の有害成分との接触効率が十分でない．これに対して本製品では，薬品の吹込みを短時間で一気に（４時間の処理に必要な量の薬品を10分程度で吹込む）行うことにより，ろ布表面に均一な厚さの反応・吸着層を常時形成して排ガス処理を行うものであり接触効率が高い．

図１　本製品の外観

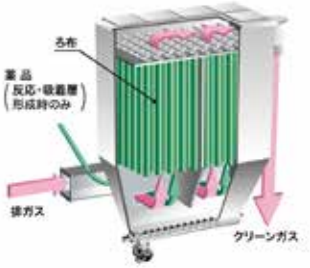


図２　本製品の内部構造

そのため，排ガス中のダストは薬品の反応・吸着層表面で完全に取り除くことができ，ガス中の酸性有害物質（塩化水素や硫黄酸化物）は，薬品と効率良く接触するため高効率で除去できる．排ガス処理により，薬品層が反応しなくなるか，バグフィルタろ布の差圧が上昇した場合に，ろ布上の付着物（フィルタで取り除かれた有害物質と反応済みの消石灰）をろ布から分離，落下させた後，再び短時間で一気に消石灰を吹込むことで，ろ布表面に新たな薬品の層を形成し，排ガス処理が継続される．

本製品はろ布上の付着物を速やかに分離，落下させ，新たな薬品の層を無駄なく形成するための工夫として薬品を吹込むノズルを可動式とし，排ガス量を調整するダンパと併せて制御する機構を設けている．

4. 本製品の特長

本製品は，廃棄物焼却炉の種類を問わず，使用することができるもので，排ガス処理に使用される薬品が有害物の高い除去効率を発揮できることから，従来の乾式処理の常識を超えるレベルまで有害ガス濃度を低減でき，イニシャルコスト，ランニングコストを大幅に削減できる．また，未反応消石灰が少ないことから，重金属類の安定化処理薬剤とともに，最終処分が必要なバグフィルタ捕集灰量も低減でき，環境負荷の低減にも寄与するものである．

5. 販売実績

本製品は，1994年に第１号基（京都大学医学部附属病院）を納入．以降も開発・改良を継続しており性能は進化を続けている．現在までに，医療廃棄物処理，産業廃棄物処理，災害廃棄物処理，一般廃棄物処理向けに実績を重ね，156基の販売実績を有している．

6. まとめ

乾式反応集じん装置は，当社の161に上る焼却プラントの経験と研究開発により完成させたもので，多種多様な廃棄物と半世紀に亘る廃棄物の変化に対応してきた技術である．この技術を広く広めるとともに，更なる技術開発にも取り組み循環型社会の発展に貢献していきたい．

* 特別員，〒550-0003 大阪府大阪市西区京町堀1-6-17