２０１０年度（平成２２年度）日本機械学会賞受賞者

日本機械学会賞（技術功績　１件）

1	燃費、排気性能に優れた ディーゼルエンジンおよびガス燃料エンジンの研究開発	鈴木　雅雄	〔トヨタ自動車（株）〕

日本機械学会賞（論　文　１６件）

分野　　0：先端境際領域　1：材料力学･材料，弾性･塑性等　2：熱工学･内燃機関等
3：流体･水力機械,空気機械等　4：機械力学自動制御･計測等
5：工作･鋳造･塑性加工･溶接 精密･生産管理･要素･機構･潤滑等　　（配列は分野別代表者の五十音順）

0部	1	サブナノメートルの粗さをもつ 球面と平面の Lennard-Jones 表面力による接触特性の数値解析法 日本機械学会論文集，76 巻，764 号，C 編　（2010 年 4 月）	小野　京右	〔(株) 日立製作所〕
	2	表面張力を利用した水面移動ロボットの研究 日本機械学会論文集，75 巻，751 号，C編　（2009 年 3 月）	鈴木　健司 小池　裕之 髙信　英明 三浦　宏文	〔工学院大学〕 〔トヨタ自動車（株）〕 〔工学院大学〕 〔工学院大学〕
	3	Development of Biomimetic Bearing with Hydrated Materials Journal of Biomechanical Science and Engineering，4 巻，2 号 （2010 年 5 月）	中西　義孝 高嶋　樹 日垣　秀彦 下戸　健 梅野　貴俊 三浦　裕正 岩本　幸英	〔熊本大学〕 〔(株) 寿エンジニアリング〕 〔九州産業大学〕 〔九州産業大学〕 〔福岡教育大学〕 〔愛媛大学〕 〔九州大学〕
1部	4	柔軟節の回転特性に基づく周期正方セル構造の短波長座屈モード 日本機械学会論文集，75 巻，760 号，A 編　（2009 年 12 月）	田中　展 渋谷　陽二	〔東京大学〕 〔大阪大学〕
	5	微細はんだ形状の予測と接続寿命評価への適用 日本機械学会論文集，74 巻，747 号，A 編　（2008 年 11 月）	谷江　尚史	〔(株) 日立製作所〕
	6	結晶塑性 Phase-Field モデルの構築と塑性変形を伴う 微視組織形成過程のシミュレーション 日本機械学会論文集，75 巻，760 号，A 編　（2009 年 12 月）	山中　晃徳 高木　知弘 冨田　佳宏	〔東京工業大学〕 〔京都工芸繊維大学〕 〔福井工業大学〕
2部	7	噴流床石炭ガス化炉内における溶融スラグ飛散現象の発生条件 日本機械学会論文集，75 巻，756 号，B編　（2009 年 8 月）	犬丸　淳 渡邊　裕章 大高　円 芦沢　正美 市川　和芳	〔(財) 電力中央研究所〕 〔(財) 電力中央研究所〕 〔(財) 電力中央研究所〕 〔(財) 電力中央研究所〕 〔(財) 電力中央研究所〕
	8	Micro Optical Viscosity Sensor for in situ Measurement Based on a Laser-Induced Capillary Wave Journal of Thermal Science and Technology，4 巻，1 号（2009 年 4 月）	田口　良広 長町　隆介 長坂　雄次	〔慶應義塾大学〕 〔大日本印刷（株）〕 〔慶應義塾大学〕
3部	9	気泡流モデルキャビテーション流れ解析による 遠心ポンプ内のキャビテーション強さおよびエロージョン発生領域の予測 日本機械学会論文集，74 巻，746 号，B編　（2008 年 10 月）	深谷　征史 田村　善昭 松本　洋一郎	〔(株) 日立製作所〕 〔東洋大学〕 〔東京大学〕
	10	キャピラリージェット形状を利用した動的表面張力の測定法 （第 2 報，動的表面張力の測定） 日本機械学会論文集，76 巻，762 号，B編　（2010 年 2 月）	脇本　辰郎 加藤　健司 谷　　俊也	〔大阪市立大学〕 〔大阪市立大学〕 〔(株) クボタ〕
4部	11	アクティブ遮音制御におけるアクチュエータ配置法 日本機械学会論文集，75 巻，758 号，C編　（2009 年 10 月）	眞田　明 東山　孝治 田中　信雄	〔岡山県工業技術センター〕 〔倉敷化工（株）〕 〔首都大学東京〕

4部	12	AT カット水晶振動子による小型荷重センサの設計と製作 日本機械学会論文集，75 巻，755 号，C編　(2009 年 7 月)	鳴海　圭亮 朝倉　歩 林　育菁 福田　敏男 新井　史人	〔東北大学〕 〔東北大学〕 〔東北大学〕 〔名古屋大学〕 〔名古屋大学〕
	13	ライフマスクを用いた顔ロボットによる動的表情表出 日本機械学会論文集，75 巻，749 号，C編　(2009 年 1 月)	橋本　卓弥 平松　幸男 辻　俊明 小林　宏	〔東京理科大学〕 〔トヨタ自動車（株)〕 〔埼玉大学〕 〔東京理科大学〕
	14	ファンデルポール型自励発振を用いた AFM カンチレバーの振幅制御 日本機械学会論文集，73 巻，732 号，C編　(2007 年 8 月)	林　圭一 芦田　極 藪野　浩司 黒田　雅治	〔(株）小松製作所〕 〔(独）産業技術総合研究所〕 〔慶應義塾大学〕 〔(独）産業技術総合研究所〕
5部	15	可変ブランクホルダー力による角筒深絞り加工 日本機械学会論文集，76 巻，766 号，C編　(2010 年 6 月)	北山　哲士 濱野　智史 山崎　光悦 久保　達男 西川　輝 木下　洋	〔金沢大学〕 〔金沢大学〕*1 〔金沢大学〕 〔(株）小松製作所〕*2 〔コマツ産機（株)〕 〔コマツ産機（株)〕
	16	回転角制御機能を備えた流体駆動スピンドルの開発と回転角制御 日本機械学会論文集，76 巻，763 号，C編　(2010 年 3 月)	中尾　陽一 浅岡　直哉 藤本　政良	〔神奈川大学〕 〔トヨタ自動車（株)〕 〔(株）ディスコ〕

*1（現）YKK（株），*2（現）コマツ産機（株）

日本機械学会賞（技術　８件）

（配列は代表者の五十音順）

1	微細超深穴加工用ドリルの開発	日立ツール（株） 〃 〃	赤松　猛史 吉村　彰 木野　晴喜
2	テーラーメイド超精密手術シミュレーションロボットの開発と事業化	ファイン・バイオメディカル（有） 名古屋大学	池田　誠一 福田　敏男
3	建設機械用ハイブリッドシステムの開発	（株）小松製作所 〃 〃 〃 〃	井上　宏昭 新垣　淑隆 遠藤　貴義 千葉　貞一郎 森永　淳
4	心地よい音を実現するデザイン技術開発と製品適用	（株）東芝 〃 東芝ホームアプライアンス（株） 東京大学	大富　浩一 穂坂　倫佳 岩田　宜之 柳澤　秀吉
5	営業車両において常時脱線係数を測定できる台車と それを用いた脱線係数監視システムの開発	東京地下鉄（株） （独）交通安全環境研究所 住友金属工業（株） 住友金属テクノロジー（株） （元）（独）交通安全環境研究所	清水　忠 大野　寛之 佐藤　與志 谷本　益久 松本　陽
6	びびり振動検知／自動回避機能を有する知能化加工システムの開発	オークマ（株） 〃 〃 〃 〃	千田　治光 稲垣　浩 上野　浩 浜口　顕秀 山下　守
7	低燃費を実現した変速比幅の大きい超小型副変速機付ＣＶＴの開発	ジヤトコ（株） 〃 〃 〃 日産自動車（株）	中野　晴久 田中　寛康 斎藤　寿 海野　剛弘 遠田　譲
8	ロール・ツー・ロール搬送方式を用いた 超広幅液晶用光学フィルムの製造プロセス	富士フイルム（株） 〃 富士ﾌｲﾙﾑｵﾌﾟﾄﾏﾃﾘｱﾙｽﾞ（株） 富士フイルム（株） 東海大学	疋田　伸治 藤倉　大介 名和野　隆 佐々木　格 橋本　巨

日本機械学会奨励賞（研　究　２０件）

分野　　0：先端境際領域　1：材料力学･材料，弾性･塑性等　2：熱工学･内燃機関等
3：流体･水力機械,空気機械等　4：機械力学自動制御･計測等
5：工作･鋳造･塑性加工･溶接 精密･生産管理･要素･機構･潤滑等　　（配列は分野別受賞者の五十音順）

0部	1	バイオマイクロアクチュエータの駆動源として応用できる 高機能タンパク質モータプレスチンの研究	熊野 峻	〔(株)日立製作所〕
	2	三次元培養およびマイクロ流体デバイスによる肝臓再生のバイオメカニクスの研究	須藤 亮	〔慶應義塾大学〕
1部	3	周期セル状材料の微視的座屈解析のための均質化理論の構築とその応用の研究	奥村 大	〔名古屋大学〕
	4	転位と水素の相互作用に着目した水素脆化の研究	武富 紳也	〔京都大学〕*3
	5	ナノ界面／構造を制御したカーボンナノチューブ複合材料の作製と 破壊機構の解明に関する研究	山本 剛	〔東北大学〕
2部	6	回転流中の予混合火炎の研究	下栗 大右	〔広島大学〕
	7	ＭＥＭＳ伝熱面を用いたサブクール沸騰気泡の成長と崩壊の研究	丹下 学	〔芝浦工業大学〕
	8	Ｓｉナノトランジスタにおける 電子・結晶系エネルギー非平衡性を考慮した支配長の研究	畠山 友行	〔富山県立大学〕
	9	蛍光ナノ粒子の気相燃焼合成法の研究	横森 剛	〔慶應義塾大学〕
3部	10	気液および気固界面が存在する場合の界面を通しての物質移動機構の研究	丹野 賢二	〔(財) 電力中央研究所〕
	11	量子･分子流体科学に基づくナノ材料の機能発現に関する理論研究	土井 謙太郎	〔大阪大学〕
	12	風洞試験による空力音源同定手法の研究	山崎 展博	〔(財) 鉄道総合技術研究所〕
	13	流れと音の直接計算を用いたキャビティ音発生機構の研究	横山 博史	〔豊橋技術科学大学〕
4部	14	大変形･大変位を伴うﾃｻﾞｰﾄﾞｼｽﾃﾑの運動と制御の研究	竹原 昭一郎	〔首都大学東京〕
	15	ヒト皮膚構造に基づく触知覚原理を活用した触覚センシングの研究	田中 由浩	〔名古屋工業大学〕
	16	動吸振器を用いた機械システムに発生する自励振動抑制の研究	中野 寛	〔東京工業大学〕
	17	局所的な異方性を有する繊維強化複合材料の解析と最適設計の研究	本田 真也	〔北海道大学〕
	18	人間の運動に関するウエアラブルなセンサシステムの研究	劉　涛	〔高知工科大学〕
5部	19	シャフトドライブCVT用ゼロスピンディスクの研究	成田 幸仁	〔室蘭工業大学〕
	20	超多自由度ロボットの冗長性活用制御の研究	松浦 大輔	〔オハイオ州立大学〕

*3（現）佐賀大学

日本機械学会奨励賞（技　術　１８件）

（配列は受賞者の五十音順）

1	ＧＩＳを利用した災害シミュレーションのモデル化手法の開発	秋山 善克	〔(株) 日本アムスコ〕
2	環境変化に対してロバストな磁気ヘッドスライダ熱式浮上量制御技術の開発	大久保 諭	〔㈱日立ｸﾞﾛｰﾊﾞﾙｽﾄﾚｰｼﾞﾃｸﾉﾛｼﾞｰｽﾞ〕
3	動的負荷に対する電子機器の設計・評価技術の開発	大森 隆広	〔(株) 東芝〕
4	マイクロ流体デバイスによる物質生成均一化技術の開発	片山 絵里香	〔(株) 日立製作所〕
5	自励振動現象に伴う渦構造の実験による客観的な抽出と制御方法の開発	河合 勇太	〔愛三工業（株)〕
6	可変動弁を備えた筒内噴射式ガソリン機関の燃費低減技術の開発	熊野 賢吾	〔(株) 日立製作所〕
7	成形法による繊維分布の影響を考慮した繊維強化樹脂複合材の機械特性評価技術の開発	澤田 貴彦	〔(株) 日立製作所〕
8	プラント内構造物簡易計測システムの開発	菅野 敦庸	〔(株) 日立ﾌﾟﾗﾝﾄﾃｸﾉﾛｼﾞｰ〕
9	耐震試験用振動試験機における加速度波形再現性を目指した制御技術の開発	関　健太	〔名古屋工業大学〕
10	高熱負荷対向材料に対する赤外熱画像を用いた高性能非破壊検査システムの開発	関　洋治	〔(独) 日本原子力研究開発機構〕
11	電子機器の高発熱・高密度実装化に対応した小型熱輸送デバイスの開発	高松 伴直	〔(株) 東芝〕
12	プロペラファンの翼端流れ挙動と騒音の関係解明に基づく低騒音化技術の開発	中島 誠治	〔三菱電機（株)〕
13	Slider-Disk間キャパシタンス測定によるHDD Shock評価手法の開発	西田 辰彦	〔日本発条（株)〕
14	ファンフィルタユニット用薄型遠心ファンの開発	本多 武史	〔(株) 日立製作所〕
15	高圧ガス中における遠心圧縮機羽根車の固有振動数予測技術の開発	真柄 洋平	〔(株) 日立製作所〕
16	多種サイズ紙幣の分離安定化技術の開発	三山 敏史	〔(株) 日立製作所〕
17	ユニバーサルデザインエスカレーターの開発	吉田 雅人	〔東芝エレベータ（株)〕
18	低レアメタル含有高温用しゅう動材料の開発	義久 順一	〔(株) ＩＨＩ〕

日本機械学会教育賞（５件）

（配列は代表者の五十音順）

1	ロボットを題材とした 工学導入教育の実践と普及活動	安藤　吉伸〔芝浦工業大学〕 水川　真　〔芝浦工業大学〕 春日　智恵〔芝浦工業大学〕 吉見　卓　〔芝浦工業大学〕
2	複合システムデザインのためのＸ型人材育成	グループ名 大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻 代表者　田中　敏嗣　〔大阪大学〕
3	産学連携教育による 実践的技術者育成教育の推進	グループ名 一関工業高等専門学校ＣＯ-ＯＰ教育担当教員 代表者　丹野　浩一〔一関工業高等専門学校〕
4	セミナー「自動車の運動力学」の継続開催	藤岡　健彦〔東京大学〕 景山　一郎〔日本大学〕
5	産学連携による若手技術者を主体とした 早期工学人材育成プログラム開発	グループ名 早期工学人材育成事業推進委員会 代表者　森下　信〔横浜国立大学〕

技術功績

(1) 燃費，排気性能に優れたディーゼルエンジンおよびガス燃料エンジンの研究開発

鈴木雅雄*1
(1954年生)

直噴ディーゼル機関は，その優れた低燃費性と高い耐久信頼性から自動車用の大型内燃機関として実用化が進んでいたが，小型乗用車用機関としては機関質量（重い），振動騒音（煩い），黒煙（汚い）等の課題から実用化は必ずしも進んでいなかった．

直噴ディーゼルエンジンでは，燃焼室内に噴射された燃料の微粒化と吸入空気との均質な混合による燃焼が低エミッション性能のポイントとなる．

燃料の微粒化と吸入空気との均質な混合には，混合気形成に優れたセンターノズル配置4弁構造と高圧での燃料噴射が必須となり，排気ガス規制の強化とともにアキシャル方式の分配型噴射ポンプからより高圧化が可能なラジアル方式の分配型ポンプの開発，及びピエゾインジェクタと高圧コモンレール噴射装置を搭載した小型4弁直噴ディーゼルエンジンの実用化開発に取り組み，省燃費と環境負荷の同時低減に貢献した．

乗用車用小型直噴ディーゼルエンジンの開発では，シミュレーションならびにCAEによるフルバーチャルプロセスを開発導入し，開発期間の短縮と信頼性の向上に寄与した．

低燃費と環境性能を高次元で両立させた日本初の電子制御式LPガス液体噴射方式（EFI-LP：Electronic Fuel Injection for LPgas）の実用化研究開発にも従事し，次世代LPガス自動車の実用化の先鞭をつけた．

エンジン開発に携わる技術者として，燃費・排気性能に優れた小型直噴ディーゼルエンジンおよびガス燃料エンジンの実用化研究開発に従事し環境負荷の低減に努力してきた．

その中で特に小型直噴コモンレールディーゼルエンジンと電子制御式液体燃料噴射式LPガスエンジンの開発において新しい技術を具現化した功績は大きい．

*1正員，トヨタ自動車（株）（〒471-8571　豊田市トヨタ町1番地）

論　文

(1) サブナノメートルの粗さをもつ球面と平面のLennard-Jones表面力による接触特性の数値解析法

小野京右*1
(1941年生)

従来，分子間表面力を考慮した吸引・接触理論には，粗さのない球面と平面の吸引・接触特性に関する解析解・数近解に関する多くの研究と，粗さをもつ平面同士のLennard-Jones（LJ）表面力を考慮した吸引・接触理論がある．後者は，突起の接触特性が独立であるとするGreenwood-Williamsonモデルを基礎としているため，突起間干渉による平均面の弾性変形が無視できないナノメートルレベル以下の粗さ接触特性の解明には平面同士の接触においても限界があることが筆者らによって指摘されていた．また粗さをもつ球面と平面の吸引・接触特性に対する解析理論はなかった．

本論文では，平均面間のLJ表面力で近似した非接触面のLJ表面圧力と接触突起のLJ表面圧力とを考慮し，接触突起と平均面間の弾性変形を考慮して，粗さをもつ球面と平面のLJ表面力による吸引・接触特性を明らかにできる数値解析理論を提案した．DMTモデルに基づく従来の理論と異なり，接触突起面の接触間隙が原子間平衡距離近傍にあれば，接触突起のLJ力は，Tabor parameter値および接近量の値にかかわらず常に$2\pi R_a d_\gamma$（R_a：突起半径，d_γ：接触表面エネルギー）で近似できることを基礎にしている．数値解析例では，半径2mmのガラススライダおよび半径20mmのHDD用熱突出ヘッドと磁気ディスクとの接触モデルに対する吸引・接触特性の計算例を示すと共に，粗さを小さくしていったとき，簡単な逐次近似法により収束解が求まる限界を示した．また磁気ディスク記録装置のように，高記録密度化のため粗さを小さくしていくと必然的に増加するLJ表面力を抑圧するには，表面粗さの突起頂点半径を小さく且つ突起密度を大きくすることが重要であることを示した．本理論は，従来の粗さのない球面・平面の吸引・接触理論と，粗さをもつ平面同士の吸引・接触理論の限界を除去し，両者の理論の間隙を埋め，両者を橋渡しできるものであり，また直交座標系を用いれば任意の形状をもつ2面の吸引・接触問題に拡張できる．なお，非接触面のLJ表面圧力を平均面のLJ圧力で近似する有効範囲や従来理論との関係については，続報のより厳密な理論の中で明確にしている．本理論は，ナノ理工学・ナノテクノロジーの発展に寄与することが期待される．

* 本論文は，日本機械学会論文集，76-764，C編（2010-4），949ページに掲載．
*1正員，（株）日立製作所（〒252-0888　藤沢市桐原町1番地）

論　文

(2) 表面張力を利用した水面移動ロボットの研究

鈴木健司*1
(1965年生)

小池裕之*2
(1984年生)

髙信英明*3
(1967年生)

三浦宏文*4
(1938年生)

MEMS技術を用いて製作されるマイクロ機構の運動には，スケール効果により，通常の機械では無視できる表面張力，ファンデルワールス力などが大きな影響を及ぼすようになる．昆虫等の微小生物は，これらの力を巧みに利用して，小さいサイズに適した行動を行っていると考えられる．昆虫の優れた運動能力を小型ロボットに応用するため，本研究では，アメンボを規範とし，表面張力を利用して水面上を自立移動する小型ロボットの開発を行った．

まず，水面上でのロボットの脚の支持力，引き離し力の理論式を解析的に導いた．その結果，接触角90度以上の撥水性支持脚では，単位長さ当たりの支持力は接触角によらずほぼ一定であり，引き離し力は接触角が高いほど小さくなることが示された．次に，高撥水性の支持脚を製作するため，MEMS技術を用いて金属ワイヤ表面に3種類の方法で微細な凹凸加工を施し，表面の撥水化を行った．本研究により，平面基板上だけではなく，ワイヤ表面のような曲面上を撥水化する技術が確立された．製作した支持脚を用いて水面上での支持力，引き離し力を測定した結果，理論と良く一致することが確認された．

次に，MEMSによる撥水性支持脚を用いて水面移動ロボットの製作を行った．ロボットは，振動モータ，駆動回路，リチウムポリマー電池を搭載し，12本の支持脚により水面上で自立移動することが可能である．ロボットの質量は7.85gであり，水面上で十分な耐荷重性が得られるように，支持力の理論に基づいて脚の全長を決定した．また，ロボットの駆動法として，脚の共振を利用した新しい手法を提案した．12本の脚はそれぞれ長さが異なっており，偏心したおもりを持つ振動モータの回転数に応じて，特定の脚が共振して回転振動が発生し，水面を蹴って移動する．モータの回転数によって共振する脚が変化することを利用し，1つのモータのみを用いて，プログラムに従って直進，右旋回，左旋回の3種類の動作を行わせることに成功した．質量に制限のある小型ロボットにおいて，共振を利用した駆動法は極めて有効であることが示された．

* 本論文は，日本機械学会論文集，75-751，C編（2009-3）656ページに掲載．
*1正員，工学院大学工学部（〒192-0015　八王子市中野町2665-1）
*2トヨタ自動車（株）（〒471-8571　豊田市トヨタ町1番地）
*3正員，工学院大学工学部（〒163-8677　東京都新宿区西新宿1-24-2）
*4名誉員，工学院大学（〒163-8677　東京都新宿区西新宿1-24-2）

論　文

(3) Development of Biomimetic Bearing with Hydrated Materials

中西義孝*1
(1968年生)

高嶋　樹*2
(1976年生)

日垣秀彦*3
(1964年生)

下戸　健*3
(1977年生)

梅野貴俊*4
(1974年生)

三浦裕正*5
(1956年生)

岩本幸英*6
(1950年生)

生体関節は，変動荷重，変動すべり速度・方向，長期立脚後の起動摩擦など，過酷な摩擦条件にさらされているにも関わらず，長期にわたり優れた低摩擦・低摩耗を実現している．これは軸受面に相当する関節軟骨と潤滑液に相当する関節液が理想的な軸受システムを構成し，軸受内では弾性流体潤滑(EHL)やSoft-EHL，滲出潤滑などが作用していると考えられている．

そこで著者らは，これらの潤滑機能をバイオミメティック（生体模倣）ベアリングとして人工的な軸受に適用できないか実験的検証をおこなった．

軸受材料としてポリビニルホルマール（Polyvinyl formal；PVF）を採用した．PVFは優れた含水性を有するポリビニルアルコール（Polyvinyl formal；PVA）の分子鎖を化学的に架橋することにより生成される連続多孔質材料である．本研究では軸受材料として適切なPVFを選択する指針を得るため，架橋条件を変化させ生成した18種類のPVFについて，乾燥時と湿潤時の気孔径，気孔率，気孔壁密度，さらにはそれらの弾性特性と粘性特性を計測し，マッピング化を行った．PVFは低弾性体の特徴に由来するEHLや連続多孔質体の特徴に由来する滲出潤滑機能が発現しやすく，潤滑液膜形成が有利に行われる反面，軸受面間が境界・混合潤滑条件に曝された場合には，切削性の摩耗や疲労性の摩耗が顕著に表れやすいという弱点も有している．そのため切削性摩耗に対する特性を調査する多方向摩擦実験と，疲労性摩耗に対する特性を調査する往復動実験を併用した．生体関節と同じ水系潤滑とするため，潤滑液にはPBS（リン酸緩衝生理食塩液）を利用した．これにより油系潤滑液を使用しない軸受系が実現できるかを検証した．

気孔径が5μm程度の緻密な構造体で，かつ，気孔部での潤滑液保持のみならず気孔壁もその密度が極端に変化しない程度に湿潤（分子レベルの水を水素結合で捕捉）するという限られた条件のPVFを利用すると，優れた耐摩耗性を有する軸受系となることを実験的に確認できた．本研究は，生体関節の優れた特徴を反映させたバイオミメティックベアリングが実現可能なことを示している．

* 本論文は，Journal of Biomechanical Science and Engineering, 4-2 (2010-5) 249ページに掲載．

*1 正員，熊本大学大学院自然科学研究科（〒860-8555　熊本市黒髪2-39-1）
*2 正員，(株) 寿エンジニアリング（〒731-4215　広島県安芸郡熊野町城之堀3-21-1）
*3 正員，九州産業大学工学部（〒813-8503　福岡市東区松香台2-3-1）
*4 正員，福岡教育大学教育学部（〒819-4192　宗像市赤間文教町1-1）
*5 愛媛大学大学院医学系研究科（〒791-0295　東温市志津川）
*6 九州大学大学院医学研究院（〒812-8582　福岡市東区馬出3-1-1）

論　文

(4) 柔軟節の回転特性に基づく周期正方セル構造の短波長座屈モード

田中　展*1
(1980年生)

渋谷陽二*2
(1958年生)

構造材料として工学的に広く利用されてきたセル状材料は，超軽量性や高比剛性などの優れた機械特性を有するため，昨今，環境負荷低減の観点からその重要性は高まっている．セル状材料の力学特性評価において，座屈現象は軽量化設計とも深く関係する無視できない問題であり，多様で複雑な座屈挙動を正しく理解することで機能構造材料としての特性向上が期待できる．そこで著者らは，より広い視点からセル状材料の基本的な座屈メカニズムを解明することを目的として，節の多回転相互作用に着目した2次元柔軟節構造体の弾性変形モデルを構築し，周期正方セル構造を対象に節の柔軟性に依存した短波長座屈モードを解析した．

はじめに，柔軟節の多回転相互作用を複数の回転バネを内挿することでモデル化し，対称性を課した回転剛性行列が巡回行列になることを示した．そして，巡回行列の性質を利用した標準固有値問題より，回転剛性行列の固有ベクトルに相当する柔軟節の基本回転モードを求めた．さらに，六方ハニカムや正方ハニカムなどセル状材料の主要な平面形状を構成する3位～6位柔軟節について，それらの基準回転モードを具体的に計算し，整理した．次に，柔軟節モデルの回転エネルギーと大回転／微小ひずみを仮定したはり部材のひずみエネルギーから柔軟節構造体の弾性保存系を定式化し，座屈解析に必要な接線剛性行列を導出した．

上述した柔軟節構造体モデルを用いて，等二軸圧縮下における周期正方セル（2×2セル集合）の短波長座屈モードを計算した．その結果，各座屈モードが4位柔軟節の3種類の基本回転モード(共回転／非対称回転／反対回転)の組み合わせで決定されることを明らかにした．そして，得られた座屈モードの幾何学的対称性と節の回転対称性の関係を整理し，各モードの座屈値が選択された基本回転モードの固有値に依存することを見出した．特に，柔軟係数という指標を用いて，柔軟節を滑節から剛節まで変化させたときの座屈値を評価することにより，滑節時や剛節時には縮退する柔軟節構造特有の座屈モードを確認した．これらの座屈モードは高次モードであるため物理的に顕在化しにくいが，基本回転モードを初期不整量として与えるなど柔軟節の回転特性を考慮することで高次座屈モードが発現できる可能性を指摘した．

* 本論文は，日本機械学会論文集，75-760，A編（2009-12），1649ページに掲載．

*1 正員，東京大学大学院工学系研究科（〒113-8656　東京都文京区本郷7-3-1）
(元) 大阪大学大学院工学研究科
*2 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

(5) 微細はんだ形状の予測と接続寿命評価への適用

谷江尚史*1
(1971年生)

微細化が進む半導体製品では，はんだ接続部の信頼性確保が大きな課題となる．はんだ接続部の信頼性にはその形状が大きく影響するが，微細なはんだは製造プロセス中に溶融して形状が大きく変化するため，これまで形状予測は困難であった．また，近年様々な組成の鉛フリーはんだが開発されており，これらのぬれ性が従来広く用いられてきた錫鉛共晶はんだとは異なることも，はんだ形状予測を困難にしていた．

そこで筆者は，MPS (Moving-Particle Semi-implicit) 法を用いて，微細はんだ接続部の形状を高精度に予測する手法を開発した．具体的には，はんだを非圧縮性流体粒子の集合体として扱うことで大変形や分裂・結合などに

対応し，表面張力の算出方法を拡張することでぬれ性の扱いを可能にした．はじめに，開発手法を用いてランド上にはんだのみを配置した場合の形状を予測し，予測形状が誤差5%以下の精度で理論形状と一致することを確認した．次に，実際の半導体実装構造のはんだ形状予測に適用し，TSOP（Thin Small Outline Package）構造ではリード端子のぬれ性によってはんだのぬれ上がり形状が異なること，フリップチップ構造ではんだが溶融時に分裂して隣接するバンプとの電気的導通を遮断できることを示した．

さらに，はんだ接続部の接続信頼性を評価するため，本はんだ形状予測手法と，筆者らがこれまでに開発した疲労き裂進展解析手法を組み合わせた破断寿命評価手法を提案した．このき裂進展解析手法は，き裂の発生位置や進展経路を自動的に計算して破断寿命を求めることができるため，本手法で形状を予測した任意のはんだ形状の破断寿命の評価に適した手法である．

提案手法をTSOP構造の接続信頼性評価に適用し，リード端子のぬれ性によって形状だけでは無くき裂の発生位置や進展経路も変化すること，リード端子のぬれ性が低い場合には破断寿命が低下することを明らかにした．さらに，1つの半導体パッケージの中でリード端子のぬれ性にばらつきがある場合，全てのリード端子のぬれ性が低い場合よりもさらに短寿命になることを明らかにし，部材品質のばらつき低減が製品寿命の向上に重要であることを示した．このように，提案手法は設計上流段階での製造ばらつきを考慮した製品寿命評価を可能にした．

* 本論文は，日本機械学会論文集，74-747，A編（2008-11），1475ページに掲載．
*1正員，（株）日立製作所（〒312-0034　ひたちなか市堀口832番地2）

論　文

(6) 結晶塑性Phase-Fieldモデルの構築と塑性変形を伴う微視組織形成過程のシミュレーション

山中晃徳*1（1981年生）　高木知弘*2（1973年生）　冨田佳宏*3（1945年生）

金属材料の力学特性は，微視組織の形態や空間分布に強く依存するため，金属材料中で生じる微視組織の形成過程と力学特性の関係を高精度に予測可能な数値シミュレーション手法が必要とされている．これに対し近年では，材料の全自由エネルギーに基づき微視組織形成過程を記述できるPhase-Field法が注目され，多種多様な材料における組織形成を数値シミュレーションにより再現可能となってきている．しかしながら，マルテンサイト変態のような微視組織の形成と塑性変形が同時に生じる複雑な現象を解析できるPhase-Fieldモデルは，ほとんど見当たらない．組織形成過程で生じる塑性ひずみは，材料中の残留応力発生の原因となるため，これを予測可能となれば，材料の品質改善や高機能化にも大きく貢献できる．

そこで著者らは，金属材料における組織発展とそれに伴う塑性変形により生じる結晶方位変化や転位密度変化を評価するため，Phase-Field法と結晶塑性論に基づく結晶塑性Phase-Field（CP-PF）モデルを新たに構築した．本モデルの構築にあたり，組織形成過程で生じる塑性ひずみは結晶塑性論に基づいて評価し，弾性ひずみエネルギーの評価にはマイクロメカニクス理論を一般化したPhase-Field Microelasticity理論を用いた．また，力学場の数値計算には高速フーリエ変換を用いており，塑性変形を伴う極めて複雑な組織形成過程においても高効率に解析可能である．さらに本論文においては，構築したCP-PFモデルを用いた固相変態による多相多結晶組織の形成シミュレーションにより，多結晶構造形成に伴う粒界近傍での塑性変形挙動や多結晶構造形成後の材料内部の残留応力分布など，これまでのPhase-Fieldモデルでは困難であった組織形成過程の解析も可能であることを示した．

本論文で構築したCP-PFモデルは塑性変形を伴う組織形成過程を効率的かつ定量的に解析するための方法論を示すものであり，今後様々な材料における組織形成予測手法として活用されることにより，材料開発技術の飛躍的な進展に貢献すると考える．

* 本論文は，日本機械学会論文集，75-760，A編，（2009-12），1794ページに掲載
*1正員，東京工業大学大学院理工学研究科（〒152-8552　東京都目黒区大岡山2-12-1）
*2正員，京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科（〒606-8585　京都市左京区松ヶ崎御所海道町）
*3フェロー，福井工業大学工学部（〒910-8505　福井市学園3-6-1）

論　文

(7) 噴流床石炭ガス化炉内における溶融スラグ飛散現象の発生条件

犬丸　淳*1（1958年生）　渡邊裕章*1（1972年年生）　大高　円*1（1965年生）

芦澤正美*1（1964年生）　市川和芳*1（1966年生）

石炭ガス化複合発電（IGCC）は，高効率で環境性に優れた新たな発電方式として，低炭素社会の実現に向け，その実用化および普及が強く期待されている．その中核技術である噴流床石炭ガス化炉においては，炉内の強い上昇ガス流れによって炉壁を流下する溶融スラグ（灰）が飛散して炉壁へ付着する「スラッギング現象」が発生し，重大な運転障害を引き起こすことがある．このため，その影響因子および発生条件を定量的に解明し，実機ガス化炉に適用可能な溶融灰飛散現象評価技術を開発することが求められている．

本研究では，200t/dパイロットプラントで発生した溶融灰飛散現象を踏まえ，2t/d小型ガス化炉による現象再現実験，パイロットプラントの実験データの解析，ガス化炉数値解析による炉内流動の考察などを行い，溶融灰飛散現象のメカニズムおよび現象発生条件を明らかにした．まず，2t/d小型ガス化炉による高温高圧条件下の実験を行い，パイロットプラントで発生した灰飛散現象を再現し，本現象は，ガス化炉スロート部における「垂直方向平均ガス動圧」および壁面を流下する溶融灰の「液膜レイノルズ数」の影響を強く受け，これらが共に大きい条件において発生することを明らかにした．次に，200t/dパイロットプラント運転結果の解析も加え，飛散現象に対する前述の二つの影響因子について，飛散発生限界に及ぼす影響を定量的に解明した．また，別途実施した高粘性流体による基礎実験結果に基づき，気液界面のせん断力と流下液膜の波高に着目してモデル化を行うことで，飛散発生の限界動圧および限界ウェーバー数に関する評価式を提案し，大型ガス化炉へも適用可能で実用性の高い飛散発生限界の評価手法を開発した．さらに，独自に開発した数値シミュレーション手法により，ガス化炉スケールアップに伴う炉形状の変化が炉内流動に及ぼす影響を解明すると共に，ガス化炉スケールアップ時の設計課題を明らかにした．

本研究成果は，噴流床石炭ガス化炉の運転信頼性を確保し，ガス化炉の最適設計技術やスケールアップ技術の確立に資するものである．

* 本論文は，日本機械学会論文集，75-756，（B編）（2009-8），1576ページに掲載
*1正員，（財）電力中央研究所（〒240-0196　横須賀市長坂2-6-1）

論　文

(8) Micro Optical Viscosity Sensor for in situ Measurement Based on a Laser-Induced Capillary Wave

田口良広*1 (1976年生)　長町隆介*2 (1984年生)　長坂雄次*3 (1955年生)

粘性率は，コーティング分野や食品分野における製造プロセス制御，医療分野やエンジンオイル分野における診断・分析等に用いられる重要なパラメータである．例えば有機薄膜の塗布・乾燥プロセスにおいて時々刻々と変化する塗膜の粘性率分布を高速にその場計測（in situ モニタリング）することができれば，品質の向上や歩留まりの向上へと繋がるばかりでなく，全く新しい概念に基づいた材料創生が期待できる．しかしながら，プロセス内で粘性率をモニタリングするためには，系を乱すことなく高速かつ安定にセンシングする必要があり技術要求レベルは非常に高く，実現可能なセンシング手法はほとんど無いのが現状である．

そこで著者らは，振動や試料の蒸発等の外部擾乱が存在するプロセスラインにおいて，安定して試料の粘性率をリアルタイムにモニタリングすることを目的として，光学式マイクロ粘性センサを提案している．本センサは2本のフォトニッククリスタルファイバ（加熱用パルスレーザ伝送用）と3本のコリメートレンズファイバ（観察用レーザ伝送用，信号光検知用，試料ーセンサ間距離制御用）によって構成されており，微細加工技術によって作製されたセンサヘッド部に精緻にパッケージングされている．試料表面は，パルスレーザの2光束干渉によって瞬間的に縞状に加熱され，熱膨張により微細な表面波が形成される．この表面波の減衰振動特性を観察することで試料の粘性率と表面張力を同時に計測することができる．表面波の挙動を観察するために，コリメートレンズファイバから出射した観察光を表面波上に照射し，その一次回折光を信号光検知用のファイバにより集光・検知している．表面波の振動減衰時定数は数百ナノ秒オーダであり，高速なセンシングを可能としている．また，試料ーセンサ間距離を光学的にモニタリングし，ピエゾアクチュエータによって距離制御を行うことで試料に追従してセンシングすることが可能となった．

本論文では，作製したデバイスの光学特性を実験的に明らかにするとともに，センサを用いて振動が存在する系において試料の蒸発に追従しながら高速な振動減衰挙動を安定して観察することに成功し，提案手法の妥当性を明らかにした．

* 本論文は，Journal of Thermal Science and Technology, 4-1, (2009-4), 98ページに掲載．

*1 正員，慶應義塾大学理工学部（〒223-8522　横浜市港北区日吉3-14-1）
*2 大日本印刷（株）（〒300-2646　つくば市緑ヶ原1-1-3）
*3 フェロー，慶應義塾大学理工学部（〒223-8522　横浜市港北区日吉3-14-1）

論　文

(9) 気泡流モデルキャビテーション流れ解析による遠心ポンプ内のキャビテーション強さおよびエロージョン発生領域の予測

深谷征史*1 (1967年生)　田村善昭*2 (1961年生)　松本洋一郎*3 (1949年生)

キャビテーションエロージョンは，流体中で発生したキャビテーション気泡の崩壊に起因して材料が損傷する現象である．ポンプの羽根車で生じるエロージョンが予測できれば，製品の流体性能だけでなく信頼性も含めたより高度な設計が可能となる．エロージョンを短期間で精度良く予測するための手段の一つが，数値流体解析の応用である．しかし，羽根車内の巨視的な流れ場と，微視的で複雑な気泡運動の時間・空間的なスケール比は10^6にも達する．このため，流れ場と多数の気泡の詳細挙動を同時に，かつ高速・安定に計算することは従来困難であった．

本研究では，ポンプ羽根車の翼面で生じるエロージョンの発生領域を予測する数値解析手法を開発した．本手法では気泡流モデルを採用し，気泡は全て球形で合体や分裂は起こらない等の仮定の下に，気泡の膨張・収縮を表す運動方程式を，高次項を省略することなく計算した．その際，流れ場と気泡の圧力連成挙動に関し，疑似圧縮性法の考え方に基づいて導出した圧力方程式を用いることで計算の高速・安定化を図った．また，気泡の並進運動や数密度分布を計算することで，多数の気泡核の分布を扱えるようにした．これらにより，羽根車内においてμ秒オーダで急激に膨張・収縮する多数の気泡運動の予測が可能となった．さらに，解析結果から得られる気泡内圧力と気泡数密度に基づくキャビテーション強さの評価指標を新たに提案した．

本解析手法を遠心ポンプ羽根車に適用し，モデルポンプ試験で検証を行った．その結果，全揚程3%低下時の有効吸込ヘッドを誤差−27%で予測し，キャビテーションの発生に伴って変化する羽根車内の液相静圧や液相流速の分布が予測できた．また，気泡内圧力については，実際の気泡崩壊現象と同等である1μsの時間幅でスパイク状に変化する挙動が予測できた．さらに，解析で予測したキャビテーション強さが大きい翼面上の領域は，塗料試験で可視化したエロージョン発生領域と良く一致した．これらの結果から，本解析手法を用いたエロージョン発生位置予測の有効性が確認できた．

このように，数値流体解析でエロージョン発生位置を予測可能としたことは，近年推進されているポンプの高速小型化設計に対して大きな貢献が見込まれる．また，本解析手法で予測されるキャビテーション強さは材料改質効果との高い相関性も確認されており，その方面でも発展性が期待できる．

* 本論文は，日本機械学会論文集，74-746，B編（2008-10），2116ページに掲載

*1 正員，（株）日立製作所（〒312-0034　ひたちなか市堀口832-2）
*2 正員，東洋大学総合情報学部（〒350-8585　川越市鯨井2100）
*3 フェロー，東京大学工学系研究科（〒113-8654　東京都文京区本郷7-3-1）

論　文

(10) キャピラリージェット形状を利用した動的表面張力の測定法（第2報　動的表面張力の測定）

脇本辰郎*1 (1967年生)　加藤健司*1 (1958年生)　谷　俊也*2 (1983年生)

界面活性剤水溶液では，液体表面が新たに形成された瞬間から，液体内部に均一の濃度で分散していた活性剤分子が表面に移動・吸着を開始する．このとき，液体表面の活性剤分子濃度が飽和状態に達するまで，表面張力の値が時間によって変化する．このような動的表面張力のふるまいは，印刷におけるインクの挙動や発酵，醸造などの化学プロセスにおける破泡や起泡と関連して，様々な工業分野で問題となる．従来，動的表面張力を測定するいくつかの手法が提案されており，実際の計測に用いられているが，複雑で高価な装置が必要になることや測定が容易でないことなどの問題点があった．単純な装置で，精度および再現性が良好な測定手法の開発が望まれていた．

一般に，自由表面を有する流れにおいて，流れのスケールと流速が小さい場合，その流動は表面張力の影響を顕著に受ける．この点に着目し，1mm程度の直径のオリフィスから水平に噴出する液体噴流を用い，動的表面張力を測定する新たな手法を考案した．界面活性剤水溶液では，オリフィス出口において新たに噴流表面が形成された後，経過時間に応じた表面張力が流れ方向の各位置に現れる．重力により下向きに方向を変える噴流の軌跡を決定する理論モデルが構築できれば，実際に観測される軌跡と一致するように，動的表面張力を求めることができる．本研究では，まず噴流挙動を表現する理論モデルについて検討を行った．噴流内の圧力を適当に近似し，重力，慣性力ならびに表面張力を考慮した運動方程式を導いた．その妥当性を示すため，予め動的表面張力の分かった活性剤水溶液の噴流軌跡を測定し，理論解

との比較を行ったところ，両者がよく一致することが確認できた．また，ウェーバー数が1程度の流速においては，表面張力の値に応じて噴流軌跡が顕著に変化することが示された．

濃度を様々に変化させた数種類の界面活性剤水溶液に対し，実際に動的表面張力の測定を行った．写真撮影から求めた噴流の軌跡に一致するよう，運動方程式中の表面張力の値をフィッティングすることにより，動的表面張力を求めた．得られた測定値は，従来の手法による結果とよい一致を示し，数ミリセカンドで変化する動的表面張力の挙動を求めることができた．本測定法は，装置ならびに計測が単純で，高精度に動的表面張力を測定できる利点を有する．

* 本論文は，日本機械学会論文集，76-762，B編（2010-2），291ページに掲載
*1正員，大阪市立大学大学院工学研究科（〒558-8585　大阪市住吉区杉本3-3-138）
*2（株）クボタ（〒590-0823　堺市堺区石津北町64）

論　文

(11) アクティブ遮音制御におけるアクチュエータ配置法

眞田　明*1（1969年生）　東山孝治*2（1966年生）　田中信雄*3（1947年生）

一般にパネルの遮音性能は質量に依存し，特に低周波数の音を遮断するには重い構造を用いる必要がある．このことは機器の軽量化の大きな障害になっている．そこで，軽い構造によって高い遮音効果を得るため，アクティブな制御を用いて透過音を抑制する研究が行われている．音響透過は一方から入射した音波によってパネルが強制加振され振動し，その振動によって透過側に音が再放射されるという原理である．このため，パネルを透過する音を低減するには，パネルの振動をコントロールすれば良い．ただし，特定点に加振力を加えるポイントアクチュエータを用いる場合，透過音における振動モード間の連成により制御効果はアクチュエータの位置や数によって複雑に変化する．また，制御スピルオーバが原因で特定の周波数帯域において制御効果が得られない現象が発生する．このことは，広帯域の周波数成分を持つ騒音源や周波数が変動する騒音源に対する遮音対策として致命的な欠陥となる．

そこで，本研究では，振動構造物からの放射音における支配因子であるパワーモード（放射モード）とアクチュエータ位置との関係から，励振方法と制御効果の関係を明らかにし，アクチュエータの効果的，効率的な配置について理論的な検討を行った．この結果から，パネルの遮音性能に見られる音が透過しにくくなる現象（音響透過における反共振現象）が発生する周波数における振動の節に，4つのアクチュエータを配置する方法を提案した．この位置にアクチュエータを配置することで，パネルに対して入射音波と等価な力を加えることができ，少数のアクチュエータで効率的に透過音の抑制が可能であることが分かった．理想的に得られる制御効果について検討するため，フィードフォワード制御により透過音響パワーが最小となる最適制御を行った場合の垂直入射音響透過損失を計算し，提案方法によってアクチュエータを配置した場合と他の位置にアクチュエータを配置した場合の制御効果の比較を行った．これにより，提案方法が他の方法と比較して，低周波数の比較的広い帯域で，大きな遮音効果を得られることを示した．また，斜入射の場合についても，パネルの制振性を向上させることにより十分な制御効果が得られることを示した．最後に，理論を検証するため，垂直入射時の制御実験を行い，提案方法の有効性を確認した．

* 本論文は，日本機械学会論文集，75-758，C編（2009-10），2686ページに掲載．
*1正員，岡山県工業技術センター（〒701-1296　岡山市北区芳賀5301）
*2倉敷化工（株）（〒712-8555　倉敷市連島町矢柄四の町4630）
*3フェロー，首都大学東京システムデザイン学部（〒191-0065　日野市旭が丘6-6）

論　文

(12) ATカット水晶振動子による小型荷重センサの設計と製作

鳴海圭亮*1（1985年生）　朝倉　歩*1（1984年生）　林　育菁*2（1976年生）

福田敏男*3（1948年生）　新井史人*3（1963年生）

ロボット，医療および介護の分野では優れた荷重センサが必要とされている．例えば，ロボットが重い物から軽い物まで巧みに操作するには，高感度で広計測レンジの荷重センサが必要になる．従来の荷重センサには，高感度，広計測レンジ，高速度応答，小型および高耐久性等をすべて満たすセンサは存在しない．我々は高機能な荷重センサを実現する上で，水晶に着目した．水晶は，外部からの力に応じた電荷を発生し，高感度で広い計測レンジを有し，温度安定性や周波数安定性にも優れていることから，各種センサに用いられてきた．ここで，発生する電荷を検出する方式の荷重センサは，出力がドリフトしやすいという欠点がある．一方，水晶を振動させた状態で，外部からの力により共振周波数が変化する特性を利用する水晶振動子では，共振周波数の変化を検出することで安定した力計測が可能であるため，本論文ではこれをセンシング原理として用いる．

このような水晶振動子を荷重センサとして利用する際には，水晶振動子の機械的な脆弱性が問題となり，水晶振動子を安定に保持する機構が必要となる．このような問題を考慮し，しかもセンサを小型化する研究は十分になされていない．そこで，我々は水晶振動子を微細加工技術により小型化し，これを外力に対して安定に保持する機構を用いることにより，小型・薄型で安定な荷重センサを実現することを目的とした．

我々は，水晶振動子を2本の板ばねで挟み，上部からの垂直圧縮力を水晶振動子に対して水平方向の圧縮力に変換する方式を提案し，これにより水晶振動子にかかる曲げ応力が低減できることを示した．また，このばね構造により，予期しない方向からの力に対して，水晶振動子に曲げ応力が発生しにくい構造となっていることを構造解析により確認した．製作したセンサの保持機構の寸法は6mm×5mm×4.4mmである．このセンサの共振周波数と鉛直方向からの静荷重との間に単調増加の関係が認められた．荷重を45N（接触面積は6.0×5.0＝30mm²であり，圧力に換算すると1.5MPa）まで印加したときの本センサの出力特性を評価した結果，センサの感度は360Hz/Nで，出力変動は荷重に換算して最大2.25mNであった．これより，提案するセンサが高感度，広計測レンジを有しており，荷重センサとして利用できることを実験的に確認した．

* 本論文は，日本機械学会論文集，75-755，C編（2009-7），1989ページに掲載．
*1東北大学大学院工学研究科（〒980-8579　仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-01）
*2東北大学原子分子材料科学高等研究機構（〒980-8579　仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-01）
*3フェロー，名古屋大学大学院工学研究科（〒464-8603　名古屋市千種区不老町）

論　文

(13) ライフマスクを用いた顔ロボットによる動的表情表出

橋本卓弥[*1] (1981年生)　平松幸男[*2] (1983年生)　辻　俊明[*3] (1978年生)　小林　宏[*1] (1966年生)

近年，日常生活の中で人間と係わり合うことのできるコミュニケーションロボットの研究が活発に行われている．人間同士の対面コミュニケーションでは，言語情報だけでなく，表情や視線，身体動作といった非言語情報も大きな役割を担っている．そのため，コミュニケーションロボットの研究においても，ロボットの身体性を利用した非言語情報によって，人間との円滑なコミュニケーションを実現することが期待されている．非言語情報の中でも，特に重要とされるものに顔表情がある．表情は主に情動を表し，人間の喜怒哀楽を表現するものである．また，人間同士の対面コミュニケーションにおいて，伝達されるメッセージの実に55%が顔表情によるものだという報告もあり，表情の果たす役割は大きい．そのため，ロボットが人間に対して自然な表情を表出することは，人間と係わり合うロボットを開発する上で重要である．

そこで著者らは，人間に酷似した顔，皮膚の質感を持った顔ロボットの開発を行っている．特に本研究では，顔ロボットの実在感を表現するために，実在する人間から顔型を取って皮膚（ライフマスク）を制作し，実在の人間をモデルとした顔ロボットの開発を行った．そして，開発した顔ロボットによりモデルとなった人物の6基本表情（怒り，恐怖，悲しみ，驚き，嫌悪，幸福）の表情表出過程を再現することを行った．ここでは，あらかじめ撮影しておいたモデルの表情表出過程を解析し，ある時刻における顔面上の特徴点の目標変位量を求めた．次に，解析した時間－変位関係を基に各時刻におけるアクチュエータの動作量を決定した．これを基本表情毎に行い，フィードフォワードデータを取得した．

顔ロボットでの動的表情表出実験を行い，顔上の特徴点の時間－変位関係をモデルと比較した結果，モデルの表情表出過程を精度よく再現できていることを確認した．また，被験者を用いた表情の認識実験では，各表情とも高い認識率が得られており，人間から見ても自然な動的表情表出が実現できていることを確認した．これらの結果は，今後の発展と実用化が期待される人間生活を支援するロボット，特に近年開発が盛んな人間と外見がそっくりなヒューマノイドロボットの表情生成に不可欠な知見を提供するものであり，広く社会に貢献する成果であると考えられる．

* 本論文は，日本機械学会論文集，75-749，C編（2009-10），113ページに掲載．
*1 正員，東京理科大学工学部（〒162-8601　東京都新宿区神楽坂1-3）
*2 トヨタ自動車（株）（〒471-8571　豊田市トヨタ町1）
*3 正員，埼玉大学工学部（〒338-8570　さいたま市桜区下大久保255）

論　文

(14) ファンデルポール型自励発振を用いたAFMカンチレバーの振幅制御

林　圭一[*1] (1982年生)　芦田　極[*2] (1969年生)　藪野浩司[*3] (1961年生)　黒田雅治[*2] (1964年生)

原子間力顕微鏡（Atomic Force Microscope：AFM）とは，先端に探針が付いたマイクロカンチレバを用いて試料上を走査し，その表面形状をナノメータオーダの精度で観察する装置で，今やMEMS，ナノテクやナノバイオテクノロジーにおいて必須である．特に近年，蛋白質やDNAなど生体高分子のin vivoに近い状態，すなわち溶液中でのAFM観察に期待が高まっている．

凸凹で変形や破損し易い生体関連試料にダメージを与えずにAFM観察するためには，コンタクトモードやダイナミックモードのように試料表面との接触を伴う観察方法ではなく，非接触で表面形状を観察する方法が要求される．そのため，試料と探針の間に働く原子間力によりカンチレバの等価固有振動数が変化することを利用し，非接触にて試料表面の観察を可能にする周波数変調（FM）モードが注目されている．

しかし，通常用いられている強制加振法では，液中等の高粘性環境下ではQ値が著しく低下し，固有振動数の正確な測定が困難なため，自励発振法が提案されている．しかしながら一般に自励発振状態では振幅が時間と共に増大するため，試料との接触回避のためには，発振限界付近に線形フィードバックゲインを設定せざるを得ず，測定中の周辺環境の変化に伴い，しばしば発振が停止し，観察不能に陥る．

そこで本論文では，液中環境下でのAFMによる生体関連試料の表面形状の非接触高精度観察の実現に向けて，マイクロカンチレバの新しい制御法を提案した．具体的には，線形フィードバックに加えて非線形フィードバックを応用した分岐制御により，マイクロカンチレバにファンデルポール（van der Pol）型振動子と等価な非線形特性を持たせることで，カンチレバと試料との衝突回避と，カンチレバの発振停止の回避が両立可能であることを示した．さらに，自作AFMを用いて，ハイゲインな非線形フィードバックにより定常振幅数nmの低振幅でマイクロカンチレバを自励発振させ，かつ試料表面走査に伴うマイクロカンチレバの固有振動数変化を，液中においても正確に捕捉することに成功し，提案方法の有効性を実証した．非線形性を積極的に活用することでマイクロカンチレバの振動振幅を正確に制御可能にした当該技術は，AFMに留まらず，原子分子のマニピュレーションやMEMSデバイスの疲労試験など幅広い分野への応用が可能である．

* 本論文は，日本機械学会論文集，73-732，C編（2007-8），2225ページに掲載．
*1 (株) 小松製作所（〒923-0302　小松市符津町ツ23）
*2 正員，(独) 産業技術総合研究所（〒305-8564　つくば市並木1-2-1）
*3 正員，慶應義塾大学理工学部（〒223-8522　横浜市港北区日吉3-14-1）

論　文

(15) 可変ブランクホルダー力による角筒深絞り加工

北山哲士*1
(1972年生)

濱野智史*2
(1985年生)

山崎光悦*3
(1951年生)

久保達男*4
(1968年生)

西川　輝*5
(1983年生)

木下洋*5
(1968年生)

深絞り加工では，材料を抑えるブランクホルダー力（Blank Holder Force：BHF）を適切に調整して金型間に材料を流し込む．成形加工中のBHFは，全工程に対して一定であることが多いが，BHFが大きすぎると材料に割れが生じ，小さすぎるとしわが発生するため，割れやしわが発生しないようなBHFの大きさを設定することが重要である．材料に発生する割れやしわを防ぎ，さらにより深く絞ることを考えた場合，BHFの大きさをストロークに応じて変化させる可変ブランクホルダー力（Variable Blank Holder Force：VBHF）の軌道を求めることは，先進的深絞り加工法の中でも重要な設計課題である．VBHFによる加工を，加工に要するエネルギという視点から眺めると，一定のBHFで加工するのに比べ，より少ないエネルギで加工することが期待できる．大きなエネルギ減少率が達成できれば，プレス機のモータの定格能力を下げることなどにつながり，結果的にはコスト削減につながることも期待される．

本論文では，角筒深絞り加工を対象として，割れやしわの発生を抑制しつつ，さらに加工中の材料の板厚変動を規定値以下に抑えるようなVBHFの軌道を求める簡素な閉ループ型アルゴリズムを構築し，シミュレーションおよび実験を通じて，その有効性を検討した．このアルゴリズムは，割れやしわの発生を抑制しつつ，さらに加工中の材料の板厚変動を考慮するため，局所的および大域的な材料の板厚状態を考慮しながらVBHFの軌道を設計できる点に特徴を有している．さらに，最小BHFで加工することがよいという立場から，BHFが一定値ではしわが発生するような低いBHFから加工をはじめるが，しわの発生により，BHFを高くする．一方で，板厚変動を考慮することにより，BHFを減少する仕組みが組み込まれているため，VBHFの軌道はきめ細かく増加・減少を繰り返す．しわや割れを防ぐと同時に，加工に要するエネルギも大幅に減少できることがシミュレーションを通じて明らかとなった．また，本論文で提示したアルゴリズムによって得られたVBHFの軌道を，コマツ産機サーボプレスH1F150（ハイブリッドACサーボプレス）を用いて検証したところ，材料にしわや割れは全く発生せず，諸寸法も極めて高い精度で一致し，本論文で構築した閉ループ型アルゴリズムの有効性が実証された．本研究成果は，角筒深絞り加工技術の向上に大きく寄与することが期待される．

＊ 本論文は，日本機械学会論文集，76-766，C編（2010-6），1617ページに掲載．

＊1 正員，金沢大学理工研究域（〒920-1192　金沢市角間町）
＊2 正員，YKK（株）（〒938-8601　黒部市吉田200）（元）金沢大学
＊3 フェロー，金沢大学理工研究域（〒920-1192　金沢市角間町）
＊4 コマツ産機（株）（〒920-0225　金沢市大野町新町1-1）（元）（株）小松製作所
＊5 コマツ産機（株）（〒920-0225　金沢市大野町新町1-1）

論　文

(16) 回転角制御機能を備えた流体駆動スピンドルの開発と回転角制御

中尾陽一*1
(1961年生)

浅岡直哉*2
(1982年生)

藤本政良*3
(1982年生)

超精密工作機械による超精密部品の加工では，そのスピンドル性能が加工面性状を決定する主要因の一つであるため，超精密工作機械の高性能化において，高い回転精度と軸受剛性を有する高性能スピンドルが必要不可欠になっている．このため，多くの超精密工作機械用スピンドルには，空気静圧軸受で支持された回転軸をビルトインモータで駆動する構造が採用されている．しかしながら，この場合，軸受剛性を低下させることなくスピンドルを小型化するのが難しい上，ビルトインモータの発熱に起因したスピンドルの変形により，安定した加工精度維持が難しいなどの解決すべき課題があった．

この種の問題解決を目指して，著者の先行研究においてはウォータドライブスピンドルが開発されている．これは，水静圧軸受で支持されたスピンドルを水で冷却しながら，水のエネルギーで駆動するものであるが，その構造上の制約から，スピンドルの回転角制御は不可能であった．

本研究で新たに開発した流体駆動スピンドルは，20L/min供給時の出力が80W，回転速度が6 000rpm程度の小型スピンドルであり，構造上の特徴によりスピンドルへの流体の供給方向と流量によって，回転方向と回転速度の制御を可能にしている．さらに，このスピンドルに回転角フィードバック制御系を具備させれば，スピンドルの回転角制御も可能になる．本論文では，まず，スピンドルの基本諸性能を精度良く予測できる数学モデルを導出し，理論計算と実験結果から，開発したスピンドルが超精密加工に要求される基本動力性能を有することを確認している．さらに，導出した数学モデルを用いて回転速度フィードバック制御系と回転角フィードバック制御系を設計している．設計した制御系に対して，スピンドルの回転角制御性能を実験と理論によって評価検討した結果，スピンドルに作用する僅かな内部ならびに外部負荷トルクが，スピンドル回転角に定常偏差を生じさせることを示すとともに，回転速度フィードバック系内に組み込んだ外乱オブザーバによって効果的に補償できることを示している．さらに，回転角の定常偏差は使用したロータリエンコーダの分解能である0.018°程度まで小さくできることを実験結果により明らかにしており，超精密工作機械の高性能化に大きく寄与する．

＊ 本論文は，日本機械学会論文集，76-763，C編（2010-3），749ページに掲載．

＊1 正員，神奈川大学工学部（〒221-8686　横浜市神奈川区六角橋3-27-1）
＊2 正員，トヨタ自動車（株）（〒471-8572　豊田市トヨタ町1）
＊3 (株) ディスコ（〒143-8580　東京都大田区大森北2-13-11）

(1) 微細超深穴加工用ドリルの開発

赤松猛史*1
(1974年生)

吉村　彰*2
(1965年生)

木野晴喜*2
(1979年生)

1. 概　　要

微細超深穴加工用ドリルの「エポックマイクロステップボーラー」は，従来の加工法では実現できなかったL/D＝100といった高アスペクト比の微細穴あけ加工を可能にする切削工具である．

近年，金型や部品の小型化に伴って微細穴あけ加工に対する要望が高まり，各社から微細穴あけ用ドリルが開発されてきている．しかしこれらの工具を用いた場合に可能な穴深さはL／D＝20程度までであり，更なる深穴加工は放電加工に頼らざるを得ない．しかしながら放電加工にも深さ方向への限界や，電極の寿命，加工時間などに関して課題を抱えている．これらの課題を解決するために，新概念の「切り屑ストッパー」を開発し，かつ高い剛性の首部形状を採用したことで，従来では実現できなかった微細超深穴加工を可能にした．

2. 技術の内容

穴の直径が1mm以下の加工の場合，工具の剛性や切り屑排出の課題から，一般的にステップ加工を行う必要がある．今回開発した工具はステップ加工を行うことを前提として，深穴加工の要求仕様を満たす形状を開発し採用した．

工具剛性を向上させるためには工具の断面積を大きくする必要があるが，心厚（ウェブ厚）が大きすぎると切り屑ポケットが十分に確保できなくなる．また穴の深さが深くなれば，一般的に切り屑排出溝も長くなるため，工具剛性の面でより大きな問題が発生してしまう．しかしステップ加工を行うことを前提にすれば，それほど切り屑排出溝を長くする必要性はないと考えられる．

一般的なサイズのドリルであっても深穴になるとステップ加工を行い，ドリルを穴付近まで戻す深穴サイクルを使用することが多いが，本開発品においてはそれが前提の加工方法になる．すなわち，穴が深くなれば切り屑排出溝を長くしないといけないという従来の考え方から逆転の発想で設計した．つまり図1に示すようにドリルの形状として，必要最低限の切り屑排出溝を確保し，その後端には刃径よりも少し小さい首ストレート部を設けた．これにより工具剛性が大幅に上がり，曲げに対しても強くなる．

しかし，後端の首ストレート部分には切り屑ポケットがないため，切削中，その部分に切り屑が流れると切り屑が噛み込んで折損が生じてしまい，その後加工することができなくなる．そこで，本開発品には図2に示すように，切り屑排出溝と首ストレート部の間に切り屑ストッパーを設けた．本来ドリルの設計上，切り屑は溝に沿って上面へいかにスムーズに持ち上げるかという発想になる．つまりここでも従来の常識とは逆の発想で，切り屑を上面に上がらないように壁を設けている．

図3に，その加工メカニズムを示す．加工方法としては一回のステップ量を加工するごとに，ドリルを穴付近まで戻して，再度穴深さ方向へ移動させる方法である．この切り屑ストッパーの効果で，加工後に発生した切り屑を確実に切り屑排出溝のみに溜めて，ドリルを穴付近まで戻した際に，確実に切り屑を外部へ排出できる．同図からもわかるように，切り屑ストッパーによって加工中のガイド性も向上し，真直度の高い穴精度が得られる．

図4に本開発品（工具径φ0.5mm，首下長さ50mm）の切削事例を示す．被削材はSUS304で，穴径φ0.5mm，穴深さ50mm，すなわちL/D＝100倍という従来の常識では考えられなかった超深穴加工を行った．同図からもわかるように，穴内面の仕上げ面粗さも良好であり，従来放電加工でも困難であった領域まで高精度な穴あけを実現した．

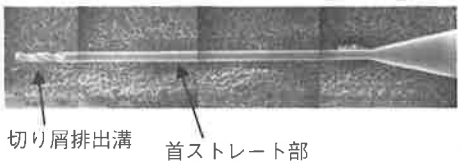


図1　開発したドリルの形状

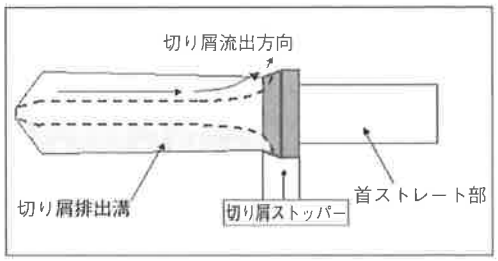


図2　開発した切り屑ストッパー

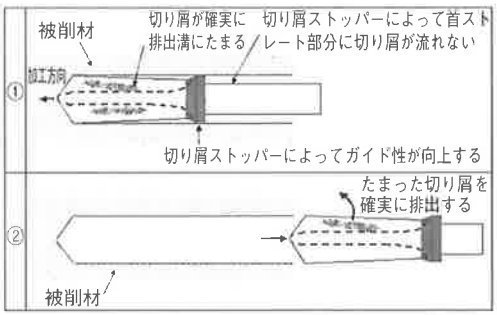


図3　本開発品の加工メカニズム

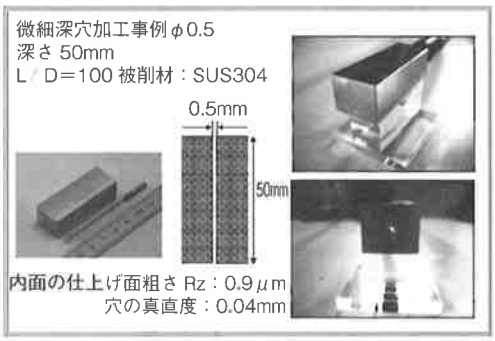


図4　切削事例　L/D=100の微細超深穴加工

3. ま　と　め

今回開発した微細超深穴加工用ドリルは「エポックマイクロステップボーラーS」の商品名にて販売している（2010年6月より標準化）．本工具は，現在，最新の医療部品や各種ノズル，金型などの製造において御使用頂いており，様々な分野において最先端の加工に役立てて頂いている．

*1 正員，日立ツール（株）（〒521-1351　野洲市三上35-2）
*2 日立ツール（株）（〒521-1351　野洲市三上35-2）

技　術

(2) テーラーメイド超精密手術シミュレーションロボットの開発と事業化

池田誠一*1
(1977年生)

福田敏男*2
(1948年生)

1. 概要

本技術は，患者のCT／MRI画像から，同患者の体内構造とくに血管構造を精密に立体モデル（図1）化するものである．さらに本技術は，この臓器立体モデルに，人型ロボットを意識した人型のボディを付与して，図2，図3に示すカテーテル手術のシミュレーション用の人型ロボットを構築するものである．私達は，この臓器立体モデルおよび人型ロボットを医療用シミュレータとして，(1) 患者の手術リハーサル (2) 医師の技術トレーニング，(3) 研究開発者の医療機器評価の目的で提供している．

本臓器モデルおよび，人型ロボットは，世界の病院や医療機器メーカーに導入され活躍している．そして，「医療技術トレーニング分野」の発展と普及に，大きな貢献を行っている．一例として，本技術（臓器立体モデル）は，日本脳神経外科分野の専門医師試験に，技術評価媒体としては初めて採択され，医療現場でのシミュレータの重要性と認知度を飛躍的に高めた．

2. 技術の内容

本技術の具体的な第1の側面（臓器立体モデルの製造技術）は，具体的には以下のプロセスである．(1) CT／MRI画像から目的の臓器形状を抽出して3次元データ化し，(2) 積層造形手段（樹脂溶融型の3次元インクジェット手段）を用いてこれを立体化し，(3) 得られた積層造形物をロストワックス鋳型として用いて，管状の臓器，特に血管の立体モデルを得る．この技術には任意の材料を用いることができるため，生体疑似性と透明性・耐久性に優れたシリコンゴム（図1）や，極めて生体疑似性の高いPVAハイドロゲル材料，一方で再生医療に用いられる生体親和性材料（ポリ乳酸やポリカプロラクトンなど）からなる臓器立体モデルを生成でき，様々な目的に利用できる．また造形精度は，用いる積層造形手段に依存するが，必要に応じて10mm以上の精度を実現でき，外科手術のシミュレーションには十分な微細臓器構造を再現できる．また使用する材料の硬化特性等にも依存するが，必要に応じて数時間から1日程度で加工を完了でき，手術のリハーサルなど緊急性を要する目的にも十分に対応できる．これらの優れた特徴から現在，医療に関わる多用な目的に導入・利用され活躍している．

現在では量産化技術にも目処が付き，今後はより低価格で世界中により大きな規模で提供してゆく計画である．

本技術の第2の側面（臓器立体モデルの応用技術）は，女性型手術トレーニング用ロボット「EVE（イブ）」（図2）である．EVEは，臓器立体モデルに，さらに計測・制御技術を付与して，手術シミュレーション目的に特化したロボットとしてシステム化したものである（EVEは，Endovascular Evaluator/Educatorの略で，「血管内手術を評価・教育するもの」の意味）．このシステムに付与した計測・制御技術には，(1) 光弾性応力計測法を応用して臓器（血管）立体モデルそのものを力センサにする3次元応力計測技術，(2) この力情報から得られた情報を分析して，その結果を映像（グラフや数値）と音声で提示する分析技術，(3) カメラ映像から，実際の手術中に得られるX線映像を疑似生成するVR技術，(4) 人の心拍を精密に再現するフィードバック型の人工心臓（拍動ポンプ）が含まれる．EVEによれば，シミュレーションだけでなく，評価（手技や医療機器の分析・評価）のフィードバックが可能になる．このことから，現在世界の医療機関や医療機器メーカーに導入され，最先端のシミュレータとして活躍している．

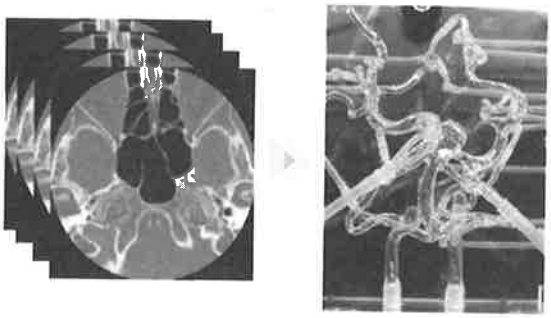


図1　血管の立体モデル

図2　トレーニング用ロボット「EVE（イブ）」

図3　EVE（イブ）による医療技術トレーニング

3. まとめ

2005年に名古屋大学発ベンチャー企業（ファイン・バイオメディカル（有））を創業し，臓器立体モデルとEVEの提供を通じて，社会に貢献している．本臓器モデルおよび，人型ロボット（EVE（イブ））は，2006年以降，日本全国および海外の病院やテルモ社，ジョンソン・エンド・ジョンソン社，ボストンサイエンティフィック社を初めとする医療機器メーカー等で導入され，医療分野全体で，シミュレータを用いたトレーニング制度や医療機器評価制度の普及と発展に貢献している．

*1 正員，ファイン・バイオメディカル（有）（〒464-0858　名古屋市千種区千種2-22-8）

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

(3) 建設機械用ハイブリッドシステムの開発

井上宏昭*1
(1959年生)

新垣淑隆*2
(1957年生)

遠藤貴義*3
(1968年生)

千葉貞一郎*4
(1967年生)

森永　淳*3
(1966年生)

1. 概要

建設機械の製造から廃却にいたるライフサイクルにおいては，稼動時の燃料消費によるCO_2の排出が90%以上を占めており，消費燃料の低減が温暖化ガス排出の低減に直接つながる．そこで建設機械の中で国内において最も稼動台数が多い油圧ショベルに対し，旋回の制動時に従来熱として放出していたエネルギーを回生するハイブリッドシステムを開発した．本システムを国内の代表機種である機体重量20トンクラスの油圧ショベルに適用した結果，平均25%の燃費低減を実現した．

2008年より本システムによるハイブリッド油圧ショベルの販売を開始し，現在までに600台強が国内外において稼働中である．

2. 技術的特長

2-1. ハイブリッドシステム

ハイブリッド油圧ショベルの構成は，旋回電気モータ，発電機モータ，インバータ，キャパシタ等から成り立っている．

機体上部の旋回が減速する時，運動エネルギーを旋回電気モータが電気エネルギーに変換し，キャパシタと呼ばれる二次電池に蓄える．(図1)

これを旋回加速時のエネルギーとして再活用すると共に，作業負荷増大時に発電機モータを通じてエンジン加速のアシストエネルギーとしても活用する．(図1，2) この為，待機状態を始めエンジン回転を低く抑えることができ，燃料消費量の低減が可能となる．

乗用車のハイブリッドシステムに比べエネルギー出入りのサイクルが頻繁な建設機械の使われ方を考慮して，二次電池には電気2重層キャパシタを採用した．この結果，充放電の高効率化と長寿命化を達成した．また，建設機械における過酷な稼動条件に対する信頼性を確保するため，総てのコンポーネントを内製した．(キャパシタセルは購入品)

2-2. 燃費低減効果

通常機と比較して，平均25%の燃費低減を実現した．(図4) このシステムは旋回エネルギーを回生するため，旋回時の負荷，旋回角度，旋回の頻度によって燃費低減効果が異なる．旋回角度が大きい作業では，公称値25%以上の低減効果を得られる例もある．本ハイブリッド油圧ショベルの導入により，1台あたり年間約20トンのCO_2の排出削減が可能となる．これはおよそ一般家庭4世帯分の年間CO_2排出量に等しい．

3. まとめ

2010年12月に汎用性と生産性を向上させた新型機を投入した．今後一層の市場浸透が望まれると共に，ハイブリッド油圧ショベルの系列展開と，その他の建設機械のハイブリッド化に取り組んでいく所存である．

図1　旋回減速時及びエンジン加速時のエネルギフロー

図2　旋回加速時のエネルギフロー

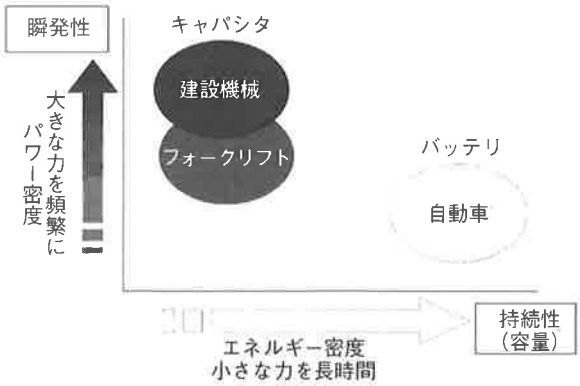


図3　キャパシタとバッテリの特性概念図

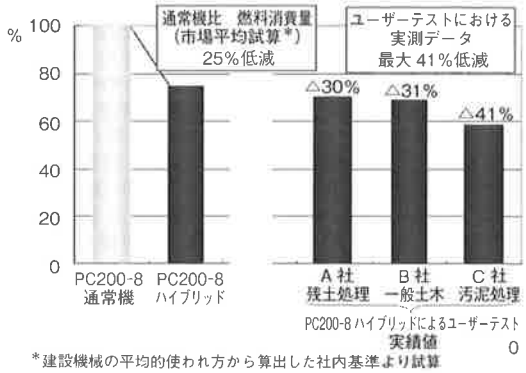


図4　燃料消費量の比較

*1 正員，(株) 小松製作所 (〒573-1011　枚方市上野3-1-1)
*2 正員，(株) 小松製作所 (〒254-8567　平塚市万田1200)
*3 (株) 小松製作所 (〒254-8555　平塚市四之宮3-25-1)
*4 正員，(株) 小松製作所 (〒254-8555　平塚市四之宮3-25-1)

技　術

(4) 心地よい音を実現するデザイン技術開発と製品適用

大富浩一*1
(1952年生)

穂坂倫佳*2
(1974年生)

岩田宜之*3
(1973年生)

柳澤秀吉*4
(1978年生)

1. 概要

製品が発生する音を付加価値と考え，製品開発そのものに音を創りこみ，心地よい音を実現するデザイン技術を開発した．家電製品や情報機器など家庭・オフィス内は種々の製品が発生する音で満たされている．これらの音を小さくすることは従来の低騒音技術により可能ではある．しかし，低騒音を実現するためには材料等の多くの資源を必要とし，環境にやさしくない．また，製品には固有の音があり，これをなくすことも不自然である．そこで，製品の音を単に小さくするのではなく，心地よい音を実現することを目指したデザイン技術を開発した．本デザイン技術は家電製品（クリーナ）等の製品開発に適用されている．

2. 技術の内容

従来の製品音は“製品から発生する音は全て騒音である”という考え方の下，騒音レベルをスペックとして設定，これを満足するように設計されている．また，製品ができて初めて騒音レベルが測定できるため，対策が後手になっている．また，ここで発生する製品価値はネガティブな印象（騒音は悪者）を低減するに留まっている．

これに対して，これからの製品音は“製品が発生する音は付加価値である”という考え方に則り，製品コンセプト設計の段階から音質を考慮した設計を行うべきと考える．このためには，ユーザの音に対する要求を定義するとともに，これを具体化するための方策が必要となる．このようにして生まれてくる価値はポジティブな印象を付加することになる．ただし，これを実施するには「製品音は騒音ではない」という考え方を浸透させるとともに，製品設計段階で音をデザインできる指標を定義する必要がある．

図1に心地よい音を実現するデザイン技術開発の手順を示す．心地よい音を実現するデザイン技術は，顧客の多様な要求の分析，顧客ニーズを抽出する手法，心地よさを定量化する“音のものさし”の開発，音のものさし上に顧客ニーズを考慮して目標音を設定する手法，および目標音達成のための計測・解析技術から成っている．

このデザイン技術をクリーナに適用した．目標音を達成するためには，まずは対象製品の仕様を理解する必要がある．心地よい音を実現することは一般には抵抗が増えることにつながり，クリーナの本来の性能である吸込み仕事率が低下する．吸込み仕事率と音の両立が不可欠である．音の発生源はモータ／ファンであり，これに付随して吸込み音，排気音が発生する．また，これとは別に床ブラシ音がある．前項で述べた目標音に向って，これらを設計することになる．目標音の実現に当たっては，クリーナモータ本体とモータカバーとの間にバネ支持構造（振動吸収サスペンション）（図2）を採用するとともに新型ブラシを開発した．

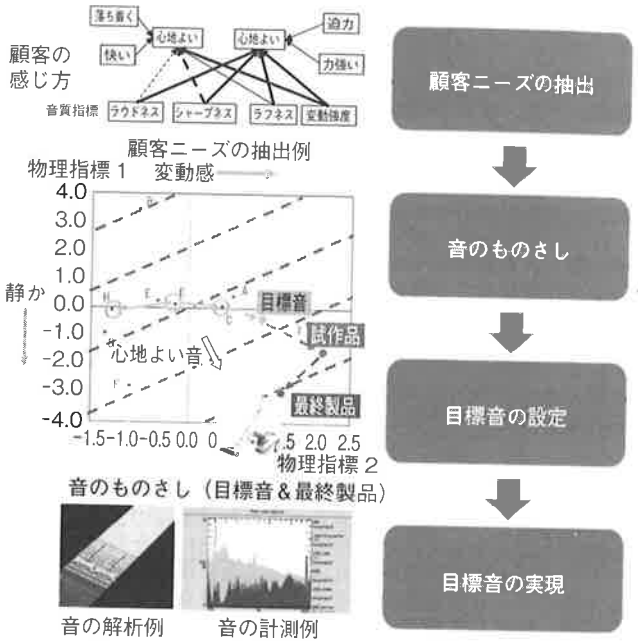


図1　心地よい音を実現するデザイン技術開発の手順

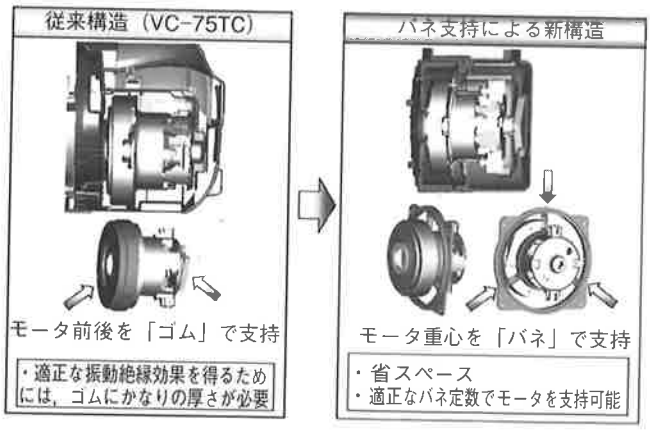


図2　目標音実現のための新構造

3. まとめ

心地よい音を実現するデザイン技術を開発するとともにこの技術を適用したクリーナ Quie™ を2008年3月1日に発売することができた．以後，4機種へのクリーナへの適用するとともに，事務機器を始めとする他製品へと適用範囲を拡大中である．

*1 フェロー，(株) 東芝（〒212-8582　川崎市幸区小向東芝町1）
*2 (株) 東芝（〒212-8582　川崎市幸区小向東芝町1）
*3 東芝ホームアプライアンス（株）（〒489-8610　瀬戸市穴田町991）
*4 正員，東京大学大学院工学研究科（〒113-8656　東京都文京区本郷7-3-1）

技　術

(5) 営業車両において常時脱線係数を測定できる台車とそれを用いた脱線係数監視システムの開発

清水　忠[*1]
(1971年生)

大野寛之[*2]
(1966年生)

佐藤輿志[*3]
(1956年生)

谷本益久[*4]
(1956年生)

松本　陽[*5]
(1949年生)

1. 概要

鉄道車両の走行安全性を示す指標として使われている「脱線係数」とは，車輪に加わる縦方向の力（輪重：P）と横方向の力（横圧：Q）との比Q／Pの値を言う（図1）．列車の走行中に発生する脱線係数が，車輪とレールの接触幾何および摩擦係数から計算される限界脱線係数（安全の目安値）よりも低ければ，安全な走行が担保される．

従来，脱線係数の測定は主に新線開業時や新型車両の導入時等の限られた機会にしか行われておらず，時間経過とともにどのように変化しているかの観察は行われていなかった．

ところが近年の研究により，同一路線の同一車両が同一地点を通過する場合でも，脱線係数の値が変化していることが明らかになってきた．そのため，様々な条件下での脱線係数の変化を捉えるための営業車両による常時監視システムの開発が求められるようになって来た

2. 技術の内容

従来の脱線係数の測定は，PQ輪軸と呼ばれる測定専用の特殊な車輪軸を用いる必要があった．これは車輪の歪みから輪重と横圧を測定するもので，歪みゲージを貼付したり信号線を通すために穴あけ加工がなされていることに加え，熱影響を避けるためにブレーキを作用させることもできないことから営業中の列車に装着して測定することができず，限られた機会の試運転列車でしか測定ができなかった．また，回転するPQ輪軸から信号を取り出すためにはスリップリングあるいはテレメータが必要であり，常時監視を行うには適していない．

そこでPQ輪軸を用いずに輪重と横圧とを測定できる新たな方法として，車輪ではなく台車に装着したセンサを用いて計測するシステムの開発を行った．

輪重の測定には車輪の歪みに代わり台車の変形を捉える方法とした．開発にあたっては，台車枠の歪みを計測する方法と，車軸部分のバネの垂直変位を捉える方法の2通りで試験を実施した．どちらの方法を用いた測定結果もPQ輪軸を用いた測定結果との間に良い線形性を示したことから，実用上問題ないことが明らかになった．実用化に当たってはメンテナンス性も考慮してバネ変位を計測する手法を採用した（図2）．

横圧の測定には台車の軸箱近傍に設置した非接触変位計で，車輪の変形を捉えることとした．走行中の車輪は横圧により変形するだけでなく，ベアリングのガタによる横変位や車輪そのものの傾きによる変位も発生する．これらの影響を排除し横圧による変形のみを捉えるために，車輪の板部の変位の他，車軸近傍の上下2点の変位を捉えることにより測定値の補正を行った（図3）．また，円錐コロ軸受を採用した上で軸受をキーで固定することにより，横変位をできる限り押さえるとともに，車輪板部の平面性を向上させることで横圧による微少な変形を精度良く捉えることが可能となった．従来のPQ輪軸を用いた測定結果と比較したところ測定値は良く一致しており，実用上問題ないことが明らかとなった．

脱線係数の測定を営業列車を用いて常時行うためには，輪軸にブレーキを作用させる必要がある．ブレーキの使用により車輪が熱変形を起こさないよう，ブレーキは車輪に作用するものではなく輪軸にブレーキディスクを装着することとした．

こうした工夫を行うことで，営業車両において常時脱線係数

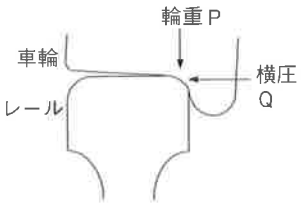


図1　輪重と横圧

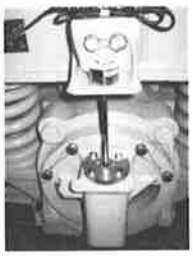


図2　輪重測定用変位計

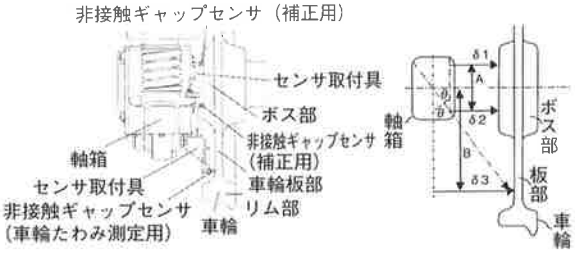


図3　横圧測定用センサ配置

図4　常時PQ測定用台車

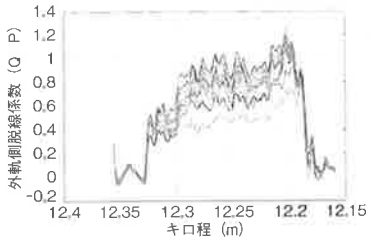


図5　曲線部（R＝160m）における脱線係数の時間変化

を測定できる実用台車（図4）を完成させ，現在，東京地下鉄丸ノ内線にて使用し，測定データを日々取得している．

図5に曲線半径160mのカーブに進入して出て行くまでの間の脱線係数の測定結果を示す．各測定時刻に於けるグラフの形状はほぼ相似形を示している一方で，脱線係数の値そのものにはばらつきがあることが分かる．このカーブに進入する手前には車輪やレールの異常な摩耗を抑制するとともに曲線通過性能を向上させるためにレールに塗油を行う装置が設置してあり，一定の列車間隔ごとに動作している．塗油による摩擦係数の変化が脱線係数の変動に影響するものと考えられることから，取得されたデータを元に適切な摩擦状態の管理手法について研究を進めていきたいと考えている．

また，カーブの曲率が同じでありながら脱線係数の変動範囲に違いが出ることも，本システムによる常時監視の結果明らかになった．今後の解析により，その違いの出る要因を明らかにし，適切な曲線部の軌道管理に結びつけたいと考えている．

3. まとめ

営業車両を用いて脱線係数の常時監視を行うことで，これまで明らかでなかった軌道状態の変化を捉えることが可能となった．本システムにより取得されたデータを活用して新たな知見を得るとともに，本技術の普及により鉄道の安全性・安定性のさらなる向上に貢献していきたい．

[*1] 正員，東京地下鉄（株）（〒110-8614　東京都台東区東上野3-19-6）
[*2] 正員，(独) 交通安全環境研究所（〒182-0012　調布市深大寺東町7-42-27）
[*3] 正員，住友金属工業（株）（〒554-0024　大阪市此花区島屋5-1-109）
[*4] 正員，住友金属テクノロジー（株）（〒554-0024　大阪市此花区島屋-1-109）
[*5] フェロー，(元)（独）交通安全環境研究所（〒182-0012　調布市深大寺東町7-42-27）

(6) びびり振動検知／自動回避機能を有する知能化加工システムの開発

千田治光*1
(1964 年生)

稲垣　浩*2
(1960 年生)

上野　浩*2
(1978 年生)

浜口顕秀*2
(1980 年生)

山下　守*2
(1969 年生)

1. 概　　要

厳しい価格競争と高品質の実現を求められている製造業において，加工能率の向上は大きな課題の一つとなっている．加工機械の技術革新によりハイパワーの加工が可能になってきているにも関わらず，依然として実績に則った加工条件が使われることが多い．その要因として，加工条件を高めると加工不具合であるびびり振動が発生し易くなることが挙げられる．びびり振動が発生した場合，加工面の悪化，工具やホルダの破損に至ることがあるため，びびり振動の解消に多大な労力と時間を費やすのが常である．従来，熟練技能者は経験を活かしながら試行錯誤で適切な加工条件を見つけてきたが，その妥当性を検証することは困難である．また，びびり振動の種類により異なる対策が講じられるが，その判別法が体系化されているとは限らない．このような背景から，最適な加工条件を短時間で容易に探索する知能化加工システムを開発した．

2. 技術の内容

本知能化加工システムの基本的な装置構成を図 1 に示す．機械に内蔵した加速度センサの値がしきい値を超えた場合，びびり振動を抑制できる主軸回転速度を瞬時に算出し，自動的に主軸回転速度を変更する．制御された結果は，工具情報として CNC 装置内に記録される．そして，次回 NC プログラムで主軸回転速度が指令されると，記録を確認して自動的に主軸回転速度を変更することも可能である．

びびり振動の一種である自励型再生びびり振動において，正常な加工ができる安定領域とびびり振動が発生する不安定領域は図 2 に示す安定限界線図で表すことができる．自励型再生びびり振動は主軸回転速度を変化させると安定領域と不安定領域が交互に現れるので，適切な主軸回転速度を選ぶことで，より安定で高能率な加工が行える条件設定が可能となる．この安定限界線図はインパルス加振によって求められることが知られているが，高価な測定器を用いた専門的な事前測定が必要となる．一方，本技術では加工中の振動から安定限界線図を算出するため，その作業が不要となる上，実加工状態であるため，より高精度な算出結果となる．

本機能をモールドベースのポケット加工に適用した事例を表 1 に示す．工具は径 ϕ 16mm のソリッドエンドミルで，軸方向切り込み 40mm の条件で加工を行った．主軸回転速度 4 900min^{-1} で加工するとびびり振動が発生したため，本システムを動作させたところ，主軸回転速度が自動的に 5270min^{-1} に変更され，安定した加工となった．加工面においても，びびり振動が発生した場合にみられる斜めの線が，図 3 に示すように制御により，安定加工の場合にみられる縦の線に変化した．

3. ま　と　め

開発した知能化加工システムは，2009 年発売以来 200 台以上が納入され，ユーザの生産性向上に貢献している．今後，さらに工作機械の加工能力を最大限に活かす新技術へ発展させていきたい．

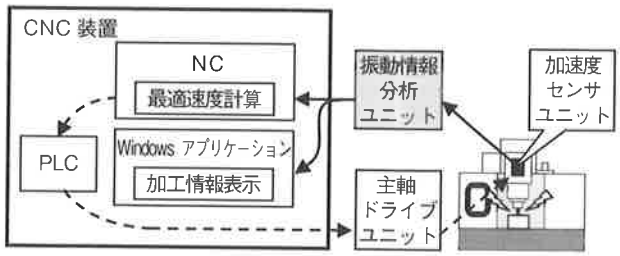


図 1　本知能化加工システムの装置構成

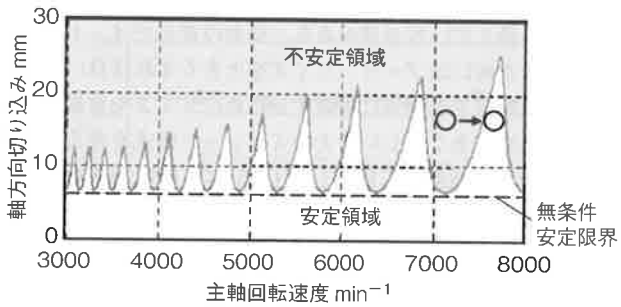
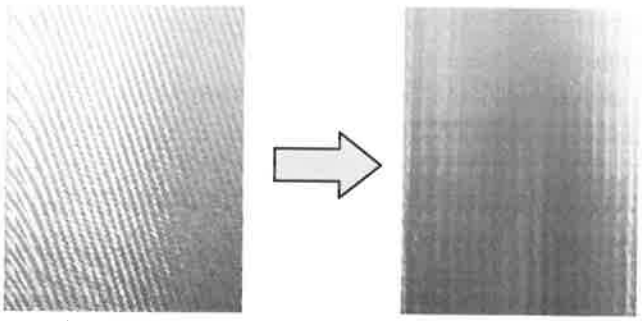


図 2　安定限界線図の一例

表 1　本システムの適用事例

ワーク材質	HPM7
ワークサイズ	300 × 200 × 50mm
工具径	ϕ16mm
軸方向切り込み	40mm
半径方向切り込み	0.05mm
主軸回転速度	4 900 → 5 270min^{-1}
送り速度	2 600 → 2 796mm/min



(a) 制御なし　　(b) 制御あり

図 3　制御による加工面の変化

*1 正員，オークマ（株）（〒480-0193　愛知県丹羽郡大口町下小口 5-25-1）
*2 オークマ（株）（〒480-0193　愛知県丹羽郡大口町下小口 5-25-1）

(7) 低燃費を実現した変速比幅の大きい超小型副変速機付 CVT の開発

中野晴久*1
(1967 年生)

田中寛康*2
(1970 年生)

斎藤　寿*3
(1969 年生)

海野剛弘*3
(1968 年生)

遠田　譲*4
(1977 年生)

1. はじめに

環境，経済性の両面で自動車に対する燃費向上要求は世界的にますます高まっている．グローバルに台数影響を考慮すると最量販であるレシプロエンジンとの組合せで使われるトランスミッションの改良による燃費向上は CO_2 排出の面積効果を出す上で，非常に重要である．

一方，燃費向上と同時に自動車が本来もっている「走る楽しみ」も進化しなければならない．そのため，新型の CVT には燃費のみに特化した性能だけでなく，従来型の CVT の持つ運転性を兼ね備えている必要がある．従来の考えでは，上記の特性を満たすためにはプーリーサイズを大きくすれば良いが，それでは軽自動車や小型車に搭載するためのサイズや重量を満足できないため，全く新しい考えのミッション型式を考える必要が出てきた．今回新規に開発した CVT は，副変速機を有することで低燃費，高性能，小型化を達成した．この新小型 CVT は，軽自動車から小型自動車まで幅広く搭載していく予定であり，その商品概要と主要構造技術について紹介する．

2. 技術の内容

表 1 に今回開発した新小型 CVT の諸元を示す．変速比幅は既存 CVT の 6.0 から 7.3 まで拡大した．また重量は既存 CVT に対して 13%の軽量化を実現し，ワイドレンジ化と軽量・小型化を両立させている．

従来型の CVT は前後進の切り替え機構しか持たない遊星歯車を採用していたが，新小型 CVT はベルト変速機構の後流に前進 2 段，後進 1 段の変速が可能な副変速機を有する．(図 1)．通常の CVT に副変速機を追加する事で，既存 CVT，STEP-AT の中で最も広いレシオカバレッジを実現し，低燃費・動力性能の両立を達成した．

新小型 CVT ではプーリーの小径化，薄肉化を行ったが，加工および熱処理の際に発生する歪が最大の課題になった．そこで，プーリーの熱処理について伝熱解析によるシミュレーションを行い (図 2)，ワーク構成の最適化を図るなどの改善を行い，曲がり直し工程の廃止を達成した..

3. まとめ

昨今の地球環境問題に対する燃費向上に貢献する事が変速機の使命であるが，CVT に副変速機を組み合わせる独自の新構造にチャレンジし，低燃費と優れた動力性能を両立した極めて高性能の超小型変速機を開発することが出来た．

*1 正員，ジヤトコ（株）(〒243-0126　厚木市岡津古久 560-2)
*2 ジヤトコ（株）(〒243-0126　厚木市岡津古久 560-2)
*3 ジヤトコ（株）(〒417-0023　富士市吉原宝町 1 番 1 号)
*4 日産自動車（株）(〒 243-0192　厚木市岡津古久 560-2)

表 1　主要諸元

Item		New CVT	Conventional-CVT
Torque capacity		150Nm	150Nm
Gear ratios	Ratio coverage	7.3	6.0
	Pully ratio	2.200 ~ 0.550	2.561 ~ 0.427
	Final gear ratio	3.753	5.473
	Sub planetaly gear ratio (1st)	1.821	None
	Sub planetaly gear ratio (2nd)	1.000	None
	Reverse gear ratio	1.714	1.023
Through low ratio		15.035	14.016
Overall length (mm)		327.3	354.7
Distance between Pulley axles		147	156
Distance between 1st and 4th axles		183	186

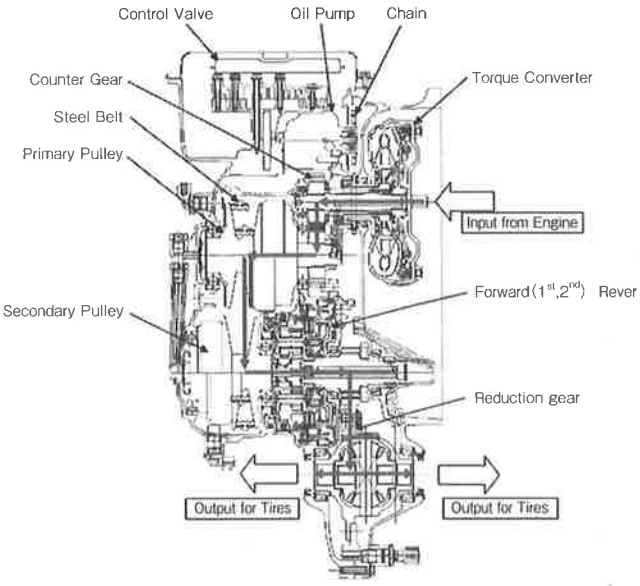


図 1　新小型 CVT の主断面図

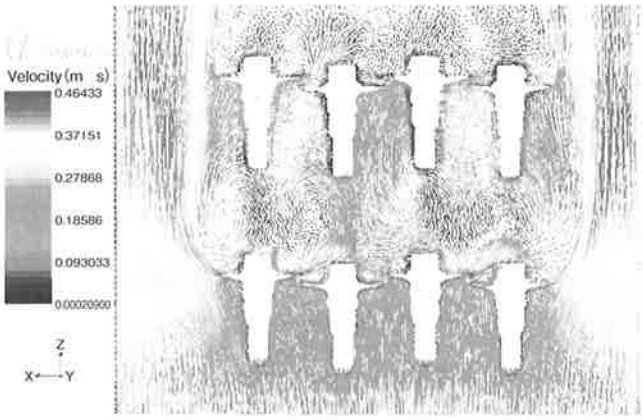


図 2　プーリー熱処理シミュレーション結果

技　術

(8) ロール・ツー・ロール搬送方式を用いた超広幅液晶用光学フィルムの製造プロセス

疋田伸治*1
(1965年生)

藤倉大介*2
(1958年生)

名和野隆*3
(1949年生)

佐々木格*2
(1946年生)

橋本　巨*4
(1951年生)

1. 概　　要

テレビ，パソコンモニターなどに代表されるディスプレイは，従来のCRT（ブラウン管）から液晶ディスプレイ（LCD）への置き換えが急激に進行している．LCDに使用される高機能な光学フィルムは，ガイドローラを使用したロール・ツー・ロール搬送方式により，連続で大量に，かつ安価に生産される．LCDの大型化に伴い幅の広い光学フィルムが必要になったが，ローラの広幅化で慣性モーメントが大きくなった．フィルムとローラ間ではスリップが発生し，わずかな傷も許されない光学フィルムにおいて，欠陥がなく安定に搬送することが極めて難しくなった．そこで，超広幅光学フィルムの生産をするにあたり，産学連携の下，ウェブハンドリング技術を学術見地から系統的に研究し，その成果を実生産ラインに適用することで，傷がなく高品質で高性能な超広幅光学フィルムの量産化を達成した．

2. 技術の内容

紙，フィルム，金属薄膜など薄くて柔軟な連続媒体はウェブ（Web）と称される．ウェブハンドリングとは，そのような柔軟な連続媒体であるウェブの性能を損なうことなく搬送する技術のことをいう．ガイドローラは，フィルム張力によるローラ表面への圧力によるトラクション（摩擦力）で駆動される．搬送速度の増加に伴いガイドローラとフィルムの間に空気が巻き込まれ，摩擦力が低下する．そこで，流体潤滑的な視点から空気膜を排除するマイクログルーブローラを考案した（図1）．

スリップを事前に予測し傷発生を防止することは，製造プロセスでは重要である．マイクログルーブローラの溝部はローラとフィルム間の空気膜厚と同程度であるマイクロメートルオーダであることから，グルーブ内の流れも粘性流とみなし，等価膜厚さの概念を適用し，ローラとフィルム間の空気膜厚さを求め，スリップ開始の張力と速度の関係を導出した．

一方，厚さ60 μm以下の光学フィルムは，過度の張力により容易にシワが発生し破断してしまう．2本のローラ間のミスアライメントによって生じる曲げモーメントによる座屈変形（トラフ）は，ローラとフィルム間の摩擦力により円筒状フィルムの臨界座屈応力を超えたときに折れシワとして成長する．この折れシワ発生時の臨界張力と速度の関係を導出した．

一般に，スリップとシワはトレードオフの関係にあり，スリップとシワの発生させない安定な搬送領域を実現するローラの最適な溝形状を見出すことは，難しい課題である．溝形状の決定に，（スリップ開始張力／シワ発生張力）の最小化を目的関数とした最適化設計問題として取り組み，溝形状の最適解を求めた．

上記最適化したマイクログルーブローラは，図2に示すように従来のローラと比較し，全ての速度域に渡り摩擦係数が下がることなく高いトラクション力を得られた．また，高速域でのフィルムとローラ間で発生するスリップを低い張力で防止することができ，しかもローラ上で発生するシワも回避できるようになった．

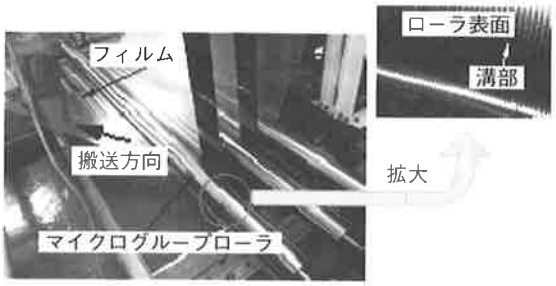


図1　マイクログルーブローラ

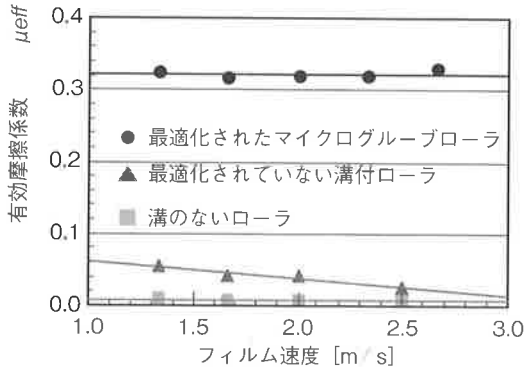


図2　従来ローラとマイクログルーブローラの比較

図3　超広幅光学フィルム外観

3. ま　と　め

以上，技術開発したローラを実生産ラインに適用することにより，傷やシワなどの欠陥の全くない図3に示すような最大2 300mm幅の光学フィルムの生産が可能となり，生産性を1.5倍に高めることができた．

*1 正員，富士フイルム（株）（〒250-0193　南足柄市中沼210）
*2 富士フイルム（株）（〒250-0193　南足柄市中沼210）
*3 正員，富士フイルムオプトマテリアルズ（株）（〒421-0305　静岡県榛原郡吉田町大幡463-1）
*4 フェロー，東海大学工学部（〒259-1292　平塚市北金目4-1-1）

研究奨励

(1) バイオマイクロアクチュエータの駆動源として応用できる高機能タンパク質モータプレスチンの研究

熊野　峻*
(1982年生)

内耳外有毛細胞の細胞膜に存在するタンパク質モータプレスチンは膜電位変化を感知して変形し，その変形が細胞を伸縮させると推察されている．プレスチンはその高機能性からバイオマイクロアクチュエータの駆動源として最適であると考えられるが，アクチュエータの設計にはプレスチンの変形メカニズムを明らかにする必要がある．そこで本研究では変異プレスチンを作製し，その特性を調べることでプレスチンを構成するアミノ酸の中で変形に不可欠なアミノ酸を同定した．さらに，原子間力顕微鏡を用いて精製プレスチンの表面形状をナノスケールで可視化した．これらの知見はプレスチンの変形メカニズムを解明するために不可欠な要素である．

* 正員，(株) 日立製作所 (〒185-8601　国分寺市東恋ヶ窪1-280)

研究奨励

(2) 三次元培養およびマイクロ流体デバイスによる肝臓再生のバイオメカニクスの研究

須藤　亮*
(1977年生)

細胞から組織を再生する組織工学では，生物，医学研究のみならず工学的なアプローチも重要となる．本研究では，生体工学の立場から肝臓再生の手法を提案している．具体的には，肝前駆細胞から毛細胆管を再生し，定量的な解析により再生した毛細胆管が同期して収縮し，生理的な機能を獲得することを実験的に証明した．また，生体内の組織構造を模倣した三次元積層培養法を考案し，機能的な三次元肝組織の再構築に成功した．さらに，微細加工技術を応用したマイクロ流体デバイスを用いて，間質流が肝組織と血管の組織化を促進することを見出し，微小細胞環境の制御によって三次元複合組織を再生させる新しい組織工学のコンセプトを提案した．

* 正員，慶應義塾大学理工学部 (〒223-8522　横浜市港北区日吉3-14-1)

研究奨励

(3) 周期セル状材料の微視的座屈解析のための均質化理論の構築とその応用の研究

奥村　大*
(1975年生)

ハニカムやフォーム（発泡体）に代表されるセル状材料は，圧縮変形下において，セル構造の座屈にともない，見かけ上の降伏挙動を示す．本研究では，均質化理論を用いて上述の問題を解析することを考え，理論を拡張し，分岐座屈条件の導出を行った．六角形ハニカムへの理論の適用では，特徴的な座屈モード（単軸・二軸・花状）の発生機構を明らかにした．また，四角形ハニカムの解析では，長波長座屈が優先的であることを示し，このときの圧縮強度を解析的に導いた．さらに，三次元フォームの解析では，ケルビンセルを用いたモデル化によって，微視的座屈挙動に支配的な要因の同定を行った．

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

研究奨励

(4) 転位と水素の相互作用に着目した水素脆化の研究

武富紳也*
(1978年生)

水素脆化現象の全体像は未だ明らかにされていないが，転位と水素の相互作用の重要性が指摘されている．本研究では計算機シミュレーションと実験を併用し，スケール横断的に転位と水素の相互作用に着目した研究を行った．原子シミュレーションから，転位にトラップされた水素がパイエルス障壁を減少させること等を明らかにし，転位動力学解析から，き裂近傍への転位群の逆集積によって粒内劈開破壊が生じる破壊モデルを構築した．また，解析結果と腐食疲労試験結果の比較から，支配的となる破壊機構が力学条件によって遷移することを明らかにした．これらの研究を通して，水素脆化機構の発現条件や耐水素脆性向上指針などの重要な知見を得た．

* 正員，佐賀大学大学院工学系研究科 (〒840-8502　佐賀市本庄町1番地)
(元) 京都大学

研究奨励

(5) ナノ界面/構造を制御したカーボンナノチューブ複合材料の作製と破壊機構の解明に関する研究

山本　剛*
(1978年)

多層カーボンナノチューブ（MWCNT）/セラミックス複合材料は実用化への期待が強く活発な研究がされているが，ナノ寸法のMWCNTと母材との界面構造・性質の理解と制御の困難さために実用に供することができるまで高性能の複合材料は開発されていない．本研究では，MWCNTと母材との界面構造・性質を理解する目的で，1本のMWCNTのみを複合体から引抜く実験を実施し，実際の現象に基づく破壊モデルを提案した．適切なMWCNTを選択し，さらに体系的な合成に関する研究を行うことで，MWCNT単味の強度・剛性・形状の選択が複合体の特性向上に極めて重要な設計要素であることを見出し，世界トップクラスの曲げ強度ならびに破壊靭性特性を兼ね備えた複合材料の作製に成功した．

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

研究奨励

(6) 回転流中の予混合火炎の研究

下栗大右*
(1977年生)

可燃性混合気で形成された回転流中で着火すると，層流燃焼速度の10倍以上での高速火炎伝播，いわゆるボルテックスバースティングが発生する．本研究では，消炎直径近傍の細管内におけるボルテックスバースティングの発生限界を求めたほか，火炎直径が大きい場合には壁面への熱損失のため伝播速度が大幅に低下することなど，細管内特有の現象を明らかにした．また，本研究は，予混合気の回転流中に形成される管状火炎において，半径・周方向モードの音響学的共鳴振動燃焼発生の可能性があることを明らかにした．さらに，逆火の危険なく，予混合燃焼に極めて近い燃焼状態を実現可能な，急速混合型管状火炎燃焼法の開発に大きく寄与した．

* 正員，広島大学大学院工学研究院 (〒739-8527　東広島市鏡山1-4-1)

研究奨励

(7) MEMS伝熱面を用いたサブクール沸騰気泡の成長と崩壊の研究

丹下　学*
(1979年生)

原子力・製鉄などで不可欠な役割を果たす高サブクール沸騰において，気泡微細化が除熱に大きな役割を果たすことが知られているが，詳細な発生条件は知られていなかった．本研究で開発されたMEMS伝熱面は，過渡加熱用の薄膜ヒータと気泡核生成用の水素発生電極をもち，通常のキャビティと異なり温度場と独立に沸騰核生成を制御できる．このMEMS伝熱面を用いて，沸騰現象の最小単位ともいうべき孤立沸騰気泡を生成し，高サブクール沸騰における気泡の変形・分裂を，熱流束と発泡までの加熱時間という基礎的なパラメータで分類した．通常の沸騰面では実現不可能な理想的実験条件を作ることで，沸騰現象の基礎的研究手法に新たな道を示した．

* 正員，芝浦工業大学工学部（〒135-8548　東京都江東区豊洲3-7-5）

研究奨励

(8) Siナノトランジスタにおける電子・結晶系エネルギー非平衡性を考慮した支配長の研究

畠山友行*
(1979年生)

Si MOSFETに代表されるSiナノトランジスタ内部には高電界が生じており，電子系と結晶系のエネルギーが非平衡状態となっている．本研究では，高電界下における半導体内部現象を支配する微分方程式を一部数値解析結果を取り入れながら解くことにより，電子・結晶系のエネルギー非平衡性を考慮したデバイス特性を支配する支配長を導き出した．さらに，数値解析にて，支配長をベースとしたメッシュゾーニングを施すことにより，精度を損なうことなく解析時間を大幅に短縮することに成功した．精度を保ったままの解析時間の短縮により，デバイス開発の高速化が期待される．

* 正員，富山県立大学工学部（〒939-0398　射水市黒河5180）

研究奨励

(9) 蛍光ナノ粒子の気相燃焼合成法の研究

横森　剛*
(1975年生)

蛍光ナノ粒子は，バイオマーカーや次世代ディスプレイ材料等の広範な用途に期待される機能性物質である．現在，その合成にはゾルゲル法や水熱法などの利用が一般的であるが，バッチ多段階行程による大量合成の難しさや後熱処理による粒子焼結が問題となっている．そこで本研究では，低沸点の蒸気錯体を用いて気相燃焼反応場中で合成を行う連続一段工程型の気相燃焼合成法を新たに提案し，その合成条件と各種粒子特性について検討を行った．その結果，適切な気相燃焼温度を設定することで，焼結を起こさずに粒子形状を維持したまま良好な蛍光発光を示すナノ粒子が得られること明らかにし，気相燃焼合成法の有用性を提示した．

* 正員，慶應義塾大学理工学部（〒223-8522　横浜市港北区日吉3-14-1）

研究奨励

(10) 気液および気固界面が存在する場合の界面を通しての物質移動機構の研究

丹野賢二*
(1978年生)

本研究は，気液界面もしくは気固界面が存在する流れ場の物質移動現象に関するものである．気液界面を通しての物質移動については，室内実験により，気流速度，うねり，および吹走距離が風波気液界面を通しての物質移動に及ぼす影響を界面近傍の乱流構造と関連付けて明らかにした．同時に，風波気液界面を通しての物質移動に対する相似パラメータが外部変数である気流の一様流速であることを発見し，大気・海洋間の物質移動モデルの発展に大きく貢献した．気固界面における物質移動については，ハニカム式の触媒反応器内の流れ場の挙動を実験と数値計算により詳細に検討し，反応器の性能や劣化特性を説明する重要な知見を得た．

* 正員，(財) 電力中央研究所（〒240-0196　横須賀市長坂2-6-1）

研究奨励

(11) 量子・分子流体科学に基づくナノ材料の機能発現に関する理論研究

土井謙太郎*
(1977年生)

近年，DNA，カーボンナノチューブ，ナノワイヤおよび分子結晶のような大規模分子系において電子移動の効果による機能発現が期待されている．本研究では，カーボンナノチューブ表面における水素分子の吸着・脱離過程，DNAの電荷注入に対する応答特性，さらにはナノ材料における電子移動メカニズムに着目し，それらを分子流体科学の観点から理論的に解析するための方法を提案してきた．分子の流動現象に対して，分子間の衝突や分子と固体表面の接触に伴う電子移動の効果を量子力学的に考慮することにより，ナノ材料の機能発現に寄与する過渡的な非平衡現象の解析が可能になるとともに，電荷の存在が分子の流動に対して強く影響することを示した．

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

研究奨励

(12) 風洞試験による空力音源同定手法の研究

山崎展博*
(1975年生)

高速列車から発生する空力音の低減策を講じる上で，風洞試験により得られる音源の詳細な分布が有用な情報となる．本研究では，主流近傍に設置した2組の螺旋配列型マイクロホンアレイを用いた測定手法を考案し，風洞試験における空力騒音源の位置を高精度で同定することに成功した．また空力騒音の発生と流れ場の非定常挙動との関係を解明するための手法として，時系列PIVを用いて流れ場の時系列情報を取得し，その測定結果をHoweの双極子音を対象とした渦音理論式に適用することにより，遠方場における空力騒音を評価する手法を考案した．これにより，双極子音の発生メカニズムを解明する重要な知見を得ることができた．

* 正員，(財) 鉄道総合技術研究所（〒521-0013　米原市梅ヶ原）

研究奨励

(13) 流れと音の直接計算を用いたキャビティ音発生機構の研究

横山博史*
(1981年生)

乱流境界層中のキャビティにおける，ピーク音の発生を伴う流体と音の相互作用を，三次元圧縮性 Navier-Stokes 方程式に基づく流れと音の直接計算により明らかにした．自励振動が発生する主流マッハ数 0.3 のキャビティ流れを主な対象とし，音波によるせん断層の加振（Acoustic feedback）によって大規模渦構造が発生する機構や，渦構造が壁面に衝突する際の音波の発生機構を初めて明らかにした．また，キャビティ形状・マッハ数がピーク音に及ぼす影響や，乱流境界層中のキャビティ流れと層流境界層中のキャビティ流れとの本質的違いを明らかにした．さらに，音響共鳴によるピーク音の増幅機構を明らかにした．

* 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）

研究奨励

(14) 大変形・大変位を伴うテザードシステムの運動と制御の研究

竹原昭一郎*
(1976年生)

テザードシステムは，母船につながれたテザー（ワイヤロープやひも）とそれに連結された先端機（ロボットやカメラ）で構成されるシステムであり，海洋や宇宙空間における様々な応用例が提案されている．本研究では，このシステムを柔軟体，剛体から構成されるマルチボディシステムとして捉え，最新の大変形柔軟体要素を用いてシステムのモデリングを行った．同システムには大変形問題が含まれ，実験によってこの柔軟体要素の検証を行い，微小重力下での検証も行った．この結果，剛体と柔軟体の干渉は，柔軟体の大変形運動と剛体の大回転運動が複雑に関係していることが判明した．さらに，テザーを利用した制御方法を提案し，制御効果を確認した．

* 正員，首都大学東京都市教養学部（〒192-0397　八王子市南大沢 1-1）

研究奨励

(15) ヒト皮膚構造に基づく触知覚原理を活用した触覚センシングの研究

田中由浩*
(1980年生)

IT・自動化技術が進んだ今でもなお，ものづくり産業や医療分野では，多くの現場で技能者の触覚が頼りになっている．本研究では，こうした現場で客観評価，匠の技を実現するため，ヒト皮膚構造に基づく触知覚原理を活用し，高感度かつシンプルでロバストな触覚センサを開発した．ヒト皮膚構造には巧妙な触覚情報処理メカニズムが隠されている．ヒト指の利用と皮膚の柔軟性に注目し，流体シートを介在した指装着型微小凹凸検査用触覚センサ，ヒトの滑り知覚原理を基に，硬さとぬめりを同時計測する電気レス・滅菌可能な医療用触覚センサ，指先触覚感度に関する爪の力学的機能を明らかにし，爪の変形により触覚感度を可変する技術を開発した．

* 正員，名古屋工業大学大学院工学研究科（〒466-8555　名古屋市昭和区御器所町）

研究奨励

(16) 動吸振器を用いた機械システムに発生する自励振動抑制の研究

中野　寛*
(1979年生)

機械システムに発生する自励振動は，騒音や激しい振動の原因となるため，自励振動の抑制は重要な課題である．本研究では，動吸振器による自励振動抑制メカニズムの統一的解明を目指し，自励振動発生メカニズムが異なる，自転車用ディスクブレーキの鳴き，自動車用ディスクブレーキの鳴き，工作機械の再生びびり振動に対して，それぞれ動吸振器を適用し，自励振動抑制に関する特性を調べた．その結果，強制振動に対する動吸振器の特性と異なり，自励振動の発生を完全に抑制できること，動吸振器自体も全く振動しないこと，自励振動抑制可能なチューニング振動数範囲を最大にする最適な減衰が存在することを実験と解析で明らかにした．

* 正員，東京工業大学大学院理工学研究科（〒152-8552　東京都目黒区大岡山 2-12-1）

研究奨励

(17) 局所的な異方性を有する繊維強化複合材料の解析と最適設計の研究

本田真也*
(1981年生)

自然界に存在する骨や貝殻などの素材は局所的な異方性構造を示し，均質な材料よりもその環境に適した性質を有する．本研究ではそれらの素材に着想し，繊維強化複合材料において，局所的な異方性分布を実現する設計手法を提案した．まず短繊維の分布および配向を最適に設計する手法を提案し，局所異方性構造の有用性を示した．続いて，三次元空間内の曲面の等高線を水平面に射影することで，任意の曲線群を表現する手法を提案し，その曲面形状を制御することにより，最適な曲線状強化繊維を有する複合材を設計した．本手法の結果より，曲線状繊維を有する複合材は均質材よりも優れた振動特性や面内強度を有することが明らかになった．

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

研究奨励

(18) 人間の運動に関するウエアラブルなセンサシステムの研究

劉　　涛*
(1979年生)

ウエアラブルな床反力センサとして，まず，履物に装着する並列型の新しい 6 軸のロードセルを開発したが，履物の剛性が高すぎて歩容が変化するという問題が生じた．それを解決するために，導電ゴムを利用した柔軟な新型の 3D 力センサの開発や，複数の小型の 3D 力センサを内蔵する超薄型のセンサプレートを装着する履物の開発を進めた結果，歩容を乱さない履き心地と精度を両立させる 6 軸の床反力センサシステムの基礎技術を確立することに成功し．さらに，床反力センサに姿勢センサも組み入れる座標変換機能を加えたことにより，ウエアラブルなセンサのみで下肢の関節モーメントを推定することに成功した．

* 正員，高知工科大学システム工学群（〒782-8502　香美市土佐山田町宮ノ口 185）

研究奨励

(19) シャフトドライブCVT用ゼロスピンディスクの研究

成田幸仁*
(1978年生)

トラクションドライブは油膜のせん断力で動力を伝達する機構である．同機構を用いてシャフトドライブCVTの伝達トルク向上と小型化の両立を図るために，伝達トルクを減少させ，すべりを増加させるスピンを全変速比で発生しないゼロスピンディスクを考案した．トルク伝達に必要な油膜のせん断力を実験により測定し，計算結果と比較した結果，ゼロスピンディスクが理論どおり機能していること，トルク容量は従来のディスクと比較して約4倍となったこと，伝達動力を転動体質量で除したパワーウェイトレシオはこれまでと比較して約2倍となったことを確認し，全変速比でゼロスピンディスクが優れていたことを明らかにした．その成果はシャフトドライブCVT技術の向上への貢献が期待される．

* 正員，室蘭工業大学もの創造系領域（〒050-8585　室蘭市水元町27-1)

研究奨励

(20) 超多自由度ロボットの冗長性活用制御の研究

松浦大輔*
(1980年生)

人間の日常生活空間で使用可能なロボットを実現するためには，運動空間の自由度をはるかに超える自由度を有する超多自由度機構と，多数の目標運動の効率的な達成および未知の環境への適応を可能とする柔軟性を実現する制御手法が有効である．本研究では，出力誤差の線形和により関節入力を修正する誤差履歴線形和学習制御則，「目標運動の達成支援性」および「各リンクの運動可能性」の最大化に基づく機構姿勢の最適化，および機構各部における剛性分布を目標出力とした柔軟性制御則を提案し，10R直列機構および受動弾性対偶を具備した10リンク4自由度閉ループ機構による実験検証において，多数の自由度を効果的に活用可能であることを実証しており，その成果は超多自由度ロボットの制御技術の向上に大きく貢献することが期待される．

* 正員，オハイオ州立大学機械・航空宇宙工学科（Scott lab. 201 West 19th Ave Columbus, OH 43210)

技術奨励

(1) GISを利用した災害シミュレーションのモデル化手法の開発

秋山善克*
(1980年生)

近年のコンピュータの発展に伴い災害シミュレーション技術は多くの研究者によって提案されており実用段階に入ってきている．しかしながら，3次元シミュレーションを実施するためのシミュレーションモデルを構築する際のモデル化には膨大な情報と多くの労力を要する．一方，地理空間情報（GISデータ）として多くの地形図や街区，斜面等データが電子化されている．しかしそれらはそれぞれ独自のフォーマットによりデータ化されているため，相互のデータを組み合わせて利用することが困難である．そこで，これらのGISデータ（地形及び街区や構造物，斜面等）から汎用ソフトウエアを用いた防災計画におけるシミュレーションを行うためのモデル構築アルゴリズムの開発を行った．

* 正員，（株）日本アムスコ（〒460-0002　名古屋市中区丸の内3-19-5)

技術奨励

(2) 環境変化に対してロバストな磁気ヘッドスライダ熱式浮上量制御技術の開発

大久保　諭*
(1981年生)

磁気ディスク装置の高記録密度化を実現するために，現在，磁気ヘッドスライダの浮上量を5nm程度まで低減することが求められている．このような超微小量の浮上制御技術として，磁気ヘッドにマイクロ熱アクチュエータを搭載した熱式浮上量制御スライダが適用されている．また，記録／再生機能の信頼性の観点から，磁気ヘッドの浮上量は装置環境変化に対しても安定維持させる必要がある．本研究では，装置環境変化の一つとして，高地において気圧が低い環境下を想定し，実験的・理論的手法によって熱アクチュエータ挙動の特性変化が極低浮上において大きく影響することを定量的に明らかにした．この特性変化を考慮して，超微小浮上条件でのロバストな浮上量設計・制御を実現し，製品適用した．

* 正員，（株）日立グローバルストレージテクノロジーズ（〒252-8588　藤沢市桐原町1)

技術奨励

(3) 動的負荷に対する電子機器の設計・評価技術の開発

大森隆広*
(1978年生)

電子機器のモバイル化，高密度化が進む中，電子機器の信頼性を確保しつつ，安全で安心なユビキタス社会を実現するためには，使用環境を意識した動的な負荷に対する評価技術の開発が重要な課題となっている．受賞者は，ノートブック型パーソナルコンピュータや携帯電話といった電子機器の落下衝撃評価において，衝突時の衝撃力を予測する技術，および，はんだ接合部の衝撃強度を実験的に取得する技術を開発した．また，車載用電子機器に展開が見込まれる動荷重と熱負荷が重畳した複合荷重に対する実装基板はんだ接合部の疲労寿命解析・設計法を新たに提案し，有効性を示した．これらの開発技術は，携帯型電子機器の信頼性向上に貢献している．

* 正員，（株）東芝（〒212-8582　川崎市幸区小向東芝町1)

技術奨励

(4) マイクロ流体デバイスによる物質生成均一化技術の開発

片山絵里香*
(1981年生)

近年，均一なナノ粒子や乳化液滴等の物質生成技術として，微細な流路内部で均一で高速な混合を実現するマイクロ流体デバイスを活用する動きが活発化している．しかし，流路内部の流動状態が生成する物質の均一性に及ぼす影響について，十分に解明されていなかった．そこで，本開発におけるナノ粒子生成では，流路内部の混合状態を実験的に評価し，多層流薄層化に伴う混合の高速化により，粒子の均一性が向上することを解明した．一方，乳化液滴生成では，乳化状態を二相流解析で予測し，解析結果から得られた均一な液滴生成条件を用いることで，液滴径のばらつきを表すCv値5%以内を実現し，新たな物質生成均一化技術の開発に成功した．

* 正員，（株）日立製作所（〒312-0032　ひたちなか市堀口832-2)

技術奨励

(5) 自励振動現象に伴う渦構造の実験による客観的な抽出と制御方法の開発

河合勇太*
(1977年生)

自励振動現象は騒音や機器の損傷や破損の原因となり，多くの流体機器で問題となる．自励振動の発生原因となる渦構造の抽出はこれらの問題を解決するときに重要な役割を担う．渦構造を実験的に抽出する場合，客観性や計測の容易さが課題となるが，本開発では位相平均圧力や位相平均速度勾配テンソルの不変量を用いて解決した．これらは圧力や速度の位相平均場から求めるため多点同時測定などの大掛かりな計測設備を必要とせず，開発期間の短縮やコスト削減にも貢献する．本手法によって自励振動の1つであるエッジトーン現象の高Re数領域で初めて渦構造を実験的に抽出し，渦構造と角柱を干渉させることでエッジトーン現象の抑制に成功した．

* 正員，愛三工業（株）（〒474-8588　大府市共和町1-1-1）

技術奨励

(6) 可変動弁を備えた筒内噴射式ガソリン機関の燃費低減技術の開発

熊野賢吾*
(1980年生)

世界中で自動車燃費規制が強化される中，エンジンの高効率化が急務である．本開発では可変動弁を活用した筒内噴射式ガソリン機関を次世代エンジンと位置付け，燃費低減技術を構築した．本システムでは低負荷域で吸気弁制御によるノンスロットル運転を，中負荷域で吸排気弁制御による圧縮着火燃焼を実現し燃費低減を図るが，その際に低負荷域での燃焼不安定化，中負荷域での燃焼切替（圧縮着火燃焼／火花点火燃焼）時のトルク変動が課題となる．そこで，燃料分割噴射を活用した混合気制御による燃焼安定化手法と，切替過渡時の空燃比および残留ガス量の適正化によるスムーズな燃焼切替手法を考案し，その効果を実証した．

* 正員，(株) 日立製作所（〒319-1292　日立市大みか町7-1-1）

技術奨励

(7) 成形法による繊維分布の影響を考慮した繊維強化樹脂複合材の機械特性評価技術の開発

澤田貴彦*
(1975年生)

軽量化や省エネルギー化の観点から，機械装置への繊維強化樹脂複合材(以下，FRP）の適用が増えている．FRPの機械的特性は，繊維量，繊維長および配向度に依存するため，各種因子の影響を系統的に把握する必要がある．本開発では，微視的観察と頻度解析によって得られた配向分布関数で定義される成形法パラメータを取り入れることによって，機械的特性に及ぼす繊維量の寄与率を成形法毎に数値化できることを見出した．本技術で構築した機械特性線図により，強度と弾性係数を±15%以内の精度で予測可能となった．これにより，設計者が要求する強度と弾性係数から，FRPに必要な繊維量と成形法を任意に選択することができる．

* 正員，(株) 日立製作所（〒312-0034　ひたちなか市堀口832-2）

技術奨励

(8) プラント内構造物簡易計測システムの開発

菅野敦庸*
(1983年生)

発電プラント内の高所や狭隘部にある任意の空間2点間距離が計測可能で，現場での可搬性を考慮した軽量・コンパクト且つ操作が容易な計測装置を開発した．既製のレーザ距離計を直交する2つの回転軸の回転角を外部出力可能な自動雲台に搭載した3次元計測装置を基本構成とした．装置構成要素であるレーザ距離計で示すレーザポイントは遠方となると計測者の肉眼では正確な位置決めが難しいことから，ズーム機能付きデジタルカメラユニットを付加した．また，撮影画像を利用したレーザポイントの半自動位置合わせ機能と，画像データと計測データを一元化して記録する機能を開発し，発電プラント内の計測作業に適用した．

* 正員，(株) 日立プラントテクノロジー（〒170-8466　東京都豊島区東池袋4-5-2）

技術奨励

(9) 耐震試験用振動試験機における加速度波形再現性を目指した制御技術の開発

関　健太*
(1977年生)

構造物の耐震性能を評価する振動試験機には，地震加速度波形の高い再現性が求められる．しかし，試験対象物の振動により発生する反力が外乱として作用し，加速度波形の再現性が劣化する．この問題に対し，反力フィードバック補償器の設計指針の明確化と補償帯域の拡大，特定周波数の外乱抑圧特性向上を実現するフィードバック補償器設計，反力の周波数変動に対応した適応アルゴリズムの開発を行い，多様化する耐震試験に対応する制御手法の開発を行った．各提案法の有効性は油圧加振機を用いた実験により検証している．以上の研究成果によって，各種構造物に対する正確な振動応答評価が可能となり，耐震技術の向上に大きく寄与している．

* 正員，名古屋工業大学（〒466-8555　名古屋市昭和区御器所町）

技術奨励

(10) 高熱負荷対向材料に対する赤外熱画像を用いた高性能非破壊検査システムの開発

関　洋治*
(1979年生)

国際核融合実験装置ITERのダイバータは，高熱負荷を定常的に除去することが要求される．冷却ユニットにおける表面保護材と銅合金製冷却管の接合状態は，機器の寿命に大きな影響を与えるため，接合に対する非破壊検査手法の確立は，最重要課題の一つである．本開発では，表面保護材のプラズマ対向面と両側面の三面を1度の検査で同時に観察できる手法を世界で初めて実現した．同一の検査条件で三面の熱過渡応答データを取得することにより，検査時間短縮と良好な再現性を可能とした．本技術は，ダイバータの製作に有効な検査手法と評価され，ITERダイバータの冷却ユニットの非破壊検査に採用されている．

* 正員，(独) 日本原子力研究開発機構（〒311-0193　那珂市向山801-1）

技術奨励

(11) 電子機器の高発熱・高密度実装化に対応した小型熱輸送デバイスの開発

高松伴直*
(1975年生)

素子の発熱量増加に伴い，一般的な単管ヒートパイプ（HP）の熱輸送性能では機器の放熱設計が困難になりつつある．そこでノートブック型パーソナルコンピュータにも搭載可能な小型LHP（Loop-Heat-Pipe）を開発した．HPは管内壁のウィック（毛細管構造）により単管内で液と蒸気を分離・対向させて流すために熱輸送量や管の曲げが制限されるが，LHPは蒸発器内のウィックの毛細管力と蒸気の慣性力により冷媒を循環させるため熱輸送量を増加でき，管の曲げによる性能低下も小さい．ただし，液の逆流防止構造を施す必要があるため小型電子機器での実用例はなく，本研究ではこの構造を内蔵させた薄型蒸発器を開発し，同直径HPの3倍の熱輸送性能を達成した．

* 正員，(株) 東芝（〒212-8582 川崎市幸区小向東芝町1）

技術奨励

(12) プロペラファンの翼端流れ挙動と騒音の関係解明に基づく低騒音化技術の開発

中島誠治*
(1979年生)

プロペラファンは換気，空調機器等に広く使用されており，形状最適化による低騒音化が進んでいる．より一層の低騒音化には，ファン内部の流れ場を詳細に把握し，騒音との関係を明らかにすることが重要である．本研究では，簡便かつ迅速に流れ場の情報を得るために，熱線流速計プローブを用いたファン後流計測システムおよび小型圧力センサーを用いたケーシング壁面圧力変動計測システムを構築するとともに，流れ挙動と騒音との関係が明確になっていない翼端渦の挙動について調べた．その結果，翼端渦の挙動はおよそ200 Hz以下の低周波騒音と相関が高いことを明らかにし，ファン低騒音化設計の新たな指針となる重要な情報を提供した．

* 正員，三菱電機（株）（〒661-8661 尼崎市塚口本町8-1-1）

技術奨励

(13) Slider-Disk間キャパシタンス測定によるHDD Shock評価手法の開発

西田辰彦*
(1976年生)

ハードディスクドライブ（HDD）の利用範囲がパソコン以外の分野にも広がるなかで，その耐衝撃特性向上に対する要求は高まるばかりである．HDDの耐衝撃特性評価には，高速度カメラによる挙動観察がひとつの有効な手段であるが，近年のヘッド浮上量低下により，高速度カメラでは観察不可能な微小な振動によるスライダとディスクの接触が問題となってきている．本業績は，高速度カメラによる挙動観察とスライダ・ディスク間のキャパシタンス測定を組み合わせることで，衝撃時のスライダ挙動をより詳細に評価する手法を確立したものである．本手法は，近年の浮上量が低下したHDDの耐衝撃特性評価において有効な手法であると言える．

* 正員，日本発条（株）（〒243-0302 神奈川県愛甲郡愛川町中津字桜台4056）

技術奨励

(14) ファンフィルタユニット用薄型遠心ファンの開発

本多武史*
(1976年生)

半導体や液晶製造工場に設置されるファンフィルタユニット（以下，FFU）は，クリーンルーム内の塵埃を除去する空気清浄機であり，省電力，低騒音，省スペース化が求められている．本開発では，FFUの薄型化に対応した薄型遠心ファンを開発した．数値解析を用いて渦と損失発生の相関を可視化し，ファンの翼前縁で発生した前縁翼端渦が損失と騒音の原因であることを明らかにした．さらに前縁翼端渦抑制のためにファンの前縁突出長さの最適化と翼形状の3次元化を行った．これにより，薄型ファンの性能向上と騒音低減を実現し，FFUの省スペース化と高効率・低騒音化の両立を達成した．

* 正員，(株) 日立製作所（〒312-0034 ひたちなか市堀口832-2）

技術奨励

(15) 高圧ガス中における遠心圧縮機羽根車の固有振動数予測技術の開発

真柄洋平*
(1980年生)

ターボ機械では，信頼性確保のため羽根車の共振回避設計が必要となる．しかし，羽根車周囲の作動流体の影響で羽根車の固有振動数が変化することが課題であった．作動流体が水であるポンプでは，付加質量効果により大気中に比べ水中の羽根車固有振動数は低下することが知られている．本開発では，作動流体が密度変化の大きなガスである遠心圧縮機において，羽根車固有振動数は，羽根車と周囲ガスとの構造-流体連成振動により，上昇する場合があることを明らかにした．そして本メカニズムに基づき羽根車固有振動数の予測技術を開発した．本技術により，羽根車周囲ガスの影響を考慮した共振回避設計が可能となる．

* 正員，(株) 日立製作所（〒312-0034 ひたちなか市堀口832-2）

技術奨励

(16) 多種サイズ紙幣の分離安定化技術の開発

三山敏史*
(1979年生)

世界各国で使用される現金自動取引装置は，紙幣の搬送や識別に対し高い信頼性が求められており，紙幣を識別するため一枚ずつ分離し繰り出す分離機構の性能向上が必須である．本開発では，紙幣を繰り出す前にその先端を整列する予備送り機構を設けることで，異なるサイズの紙幣の混在投入時に紙幣先端ずれ20mm（ユーロ紙幣の最大寸法差）でも安定した分離が可能な機構を実現した．また，従来は実験的手法で測定していた複数紙幣の繰出防止力を，紙幣中の含水量の変化から紙幣のヤング率を同定し，数値シミュレーションで予測する技術を確立した．この結果，定量的且つ短期間に分離機構の性能予測が可能となり開発効率向上を実現した．

* 正員，(株) 日立製作所（〒312-0034 ひたちなか市堀口832-2）

技術奨励

(17) ユニバーサルエスカレーターの開発

吉田雅人*
(1975年生)

エスカレーターが他の輸送用機器と大きく異なる点は，利用者のすぐ近くで，動いている部分（可動部）と止まっている部分（固定部）とが隣接して存在するという点である．これにより挟まれ事故が比較的多く発生する結果につながっている．可動部と固定部は手摺ベルトと手摺ベルト入込口との隙間に存在する他，欄干先端部で折返した手摺ベルトの下面と床との間にできる空間にも存在し，子供が近くで遊んでいて，手や頭が巻込まれる等事故の要因となる．本エスカレーターでは，これらの部分を「隠す」のではなく，敢えて「見せる」ことで事故を防止し，且つ意匠性を向上させるという，従来のエスカレーターの考え方を一新する斬新なデザインとした．

* 正員，東芝エレベータ（株）（〒141-0001　東京都品川区北品川6-5-27）

技術奨励

(18) 低レアメタル含有高温用しゅう動材料の開発

義久順一*
(1976年生)

高温環境下の機械要素部品のしゅう動部では凝着摩耗が起因となる面荒れや摩擦係数過大による駆動力の増大が課題となり，著しい場合には部品が可動不能となるため，摩擦・摩耗特性に優れた材料開発が重要となる．レアメタルを含む耐熱合金等の適用により課題が解決できる場合があるが，本開発ではレアメタル含有率が小さい鉄鋼材ベースの高シリコン鋼が，最高温度800℃の大気中においてしゅう動面にシリコン濃度の高い層を形成し，汎用鋼に比べて低い摩擦・摩耗特性を示すことを明らかにした．本開発成果の他製品の高温しゅう動部への展開により，レアメタル使用量の低減や駆動エネルギー削減による環境負荷低減に貢献する．

* 正員，（株）IHI（〒235-8501　横浜市磯子区新中原町1）

教　育

(1) ロボットを題材とした工学導入教育の実践と普及活動

安藤吉伸*1
(1966年生)

水川　真*2
(1949年生)

春日智惠*1
(1939年生)

吉見　卓*1
(1961年生)

芝浦工業大学では，ロボットを題材とした工学導入教育を実践し，その普及活動を進めている．高校の理学中心学習から工学への導入教育として，ものづくりを通してエンジニアリング活動の楽しさや難しさを体験させる創成科目「製作実験」を工学部1年次後期に実施している．これは，芝浦工業大学が掲げる実学教育への橋渡しを目的としたもので，ロボットの製作過程において実際に発生する諸問題への解決の道筋を模索させることにより，ものと理屈の距離感の短縮と，学生個人における工学へのモチベーションの発現を図っている．教材・カリキュラム開発と実践に対するアンケート結果から，高い満足度とスキル向上，工学への意欲向上を確認している．

これに加え，科学技術教育の振興・普及のため，2000年来，芝浦工業大学生涯学習センターで主催する「ロボットセミナー」の講座を担当してきた．そのための教材として，ワンチップマイコンを用いたロボットを開発するとともに，教育効果を上げるための具体的な指導書と教育プログラムを用意した．

*1正員，芝浦工業大学（〒135-8548　東京都江東区豊洲3-7-5）
*2フェロー，芝浦工業大学（〒135-8548　東京都江東区豊洲3-7-5）

教　育

(2) 複合システムデザインのためのX型人材育成

大阪大学大学院工学研究科機械工学専攻
〔代表者〕田中敏嗣*1
(1959年生)

文部科学省「魅力ある大学院教育」イニシアティブ（2005年度～2006年度）に採択された「統合デザイン力教育プログラム」での大学院における総合系PBL型科目の導入による課題設定能力・構想力育成の取り組みに引き続いて，文部科学省「組織的な大学院教育改革推進プログラム」（2007年度～2009年度）の支援を受けて標記のプロジェクトを推進した．本プロジェクトでは，大学院における解析系の専門的知識の実践的活用・応用能力を育成する授業の整備に重点を置いた教育プログラムの構築を行った．具体的には，マルチフィジックス問題解析能力の高度化に重点を置いた一群をなす実践的教育科目を大学院の教育課程に新設し，マルチフィジックス問題の本質を的確にモデリングし解析する能力，連成に伴う相互の影響を掌握できる能力の開発を行う教育プログラムの構築，およびそれらと専門教育科目との連携等を実施した．さらに，提案型研究支援プロジェクトや学生企画講演会など，大学院生の主体的な取り組みを支援する活動を行った．以上の取り組みにより，総合系から解析系にわたる実践的な複合システムデザイン能力育成のための教育プログラムを構築した．

*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）

教　育

(3) 産学連携教育による実践的技術者育成教育の推進

一関工業高等専門学校CO-OP教育担当教員
〔代表者〕丹野浩一*1
(1944年生)

本プログラムは平成19年度から一関高専の4～5年生全学科に対し，課題発見と解決，設計工程の全容を知り，知財や経営管理を系統的に学ぶ目的で実施された．教材開発や指導は，企業技術者等と教員が共同して取り組んだ．

例えば課題解決演習科目「実践創造技術」では，企業技術者から「なぜなぜ分析」「思考展開図」等を学び，その上で企業から提示された課題や，企業に直接出向いて見出した現場課題に対し，解決方策を提案・議論してきた．これらの作業を通し，共同作業管理力，プレゼンテーション力の養成を図るとともに，4学科を混成した班編成とすることにより異分野の見方に接する機会を与えた．

また，設計開発を目的とした完結型授業科目を実施した．これは従来の演習科目を効果的に結び付けたもので，適宜，現役技術者等による講演会を組み合わせる等産業界との連携による実践的教育である．例えば機械工学科では，CADで機構設計をし，その装置と組み込み技術を融合し，最後にまとまった装置に仕上げる等，工程全体が俯瞰できる授業とした．さらに，工学基礎教科が商品の特性にどう関わっているかを知るために，企業から提供されたエンジンを分解する等の実験を通じ，材料，振動，熱等々の側面で，製品に要求される性能とそれを達成するための課題との関連性を学ぶ授業を実施した．

*1正員，一関工業高等専門学校（〒021-8511　一関市萩荘字高梨）

教　育

(4) セミナー「自動車の運動力学」の継続開催

藤岡健彦*1
(1955年生)

景山一郎*2
(1949年生)

自動車の運動性能は，メーカの新入社員やこの分野の研究を始めることになった学生にとって取っつき難い分野と言われており，この理由は自動車の運動力学を教えている大学が少ないためであると考えられる．本セミナーは，東京近郊の大学において自動車の運動力学関連の講義を行っている教員が結集して，自動車運動力学を，機械系基礎科目（機械力学，制御工学）の知識を前提に，分かり易く，体系的に講義することを意図して，2000年5月に東京で基礎セミナーとして開始した．2005年からは京都でも並行開催し，この11年間での参加者は，学会主催の硬派な内容の講習会としては異例の約3 000名（半分強が学生・院生，半分弱がメーカの技術者）の多きにのぼっている．このことは，具体的機械を対象とした体系的理論的講義の需要が多いことも示唆している．

本セミナーHP

http://www.jsme.or.jp/tld/home/archives/event/VD_sem/index.htm

*1フェロー，東京大学大学院工学系研究科（〒113-8656　東京都文京区本郷7-3-1)
*2フェロー，日本大学生産工学部（〒275-8675　習志野市泉町1-2-1)

教　育

(5) 産学連携による若手技術者を主体とした早期工学人材育成プログラム開発

早期工学人材育成事業推進委員会*1
〔代表者〕森下　信*2
(1954年生)

本教育活動は，高校生の工学離れを抑止し，工学分野へ多くの優秀な学生を導いて人材の裾野を広げる目的で，高校生に対して工学の具体例や面白さ等を伝えるために授業および企業見学会を企画・実施している．第1の特徴は，若手技術者を主体として講義や見学を行っていることである．工学を身近なものとして捉えさせると同時に高校生にとって自らの将来像をみせるキャリア教育としての意味も有している．第2は，様々な工学関連テーマに関係する熟練技術者が中等教育に参加できる場を提供し，現在の我が国の高度技術開発を支えた人材を高校生に紹介することである．第3の特徴は，大学教員がコーディネータとして活動することで高校側の負担を軽減すると同時に，産業界と高校との橋渡しを行っていることである．これらの活動を通じて高大連携を強固にするための人的ネットワークを構築している．これまでに工学に関する15テーマを企画・開発し，12高校に対して授業もしくは見学会を実施し，平成20～22年度の3年間で1 400名におよぶ高校生に対して工学教育活動を行っている．本活動には大学教員8名，若手技術者12名，熟練技術者8名の協力を得ている．

*1横浜国立大学工学部（〒240-8501　横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)
*2フェロー，横浜国立大学大学院環境情報研究院（〒240-8501　横浜市保土ヶ谷区常盤台79-7)

日本機械学会奨励賞　賞牌について

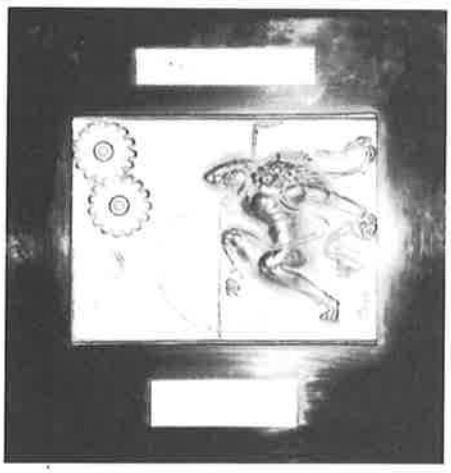
この賞牌は機械・工学技術の象徴（シンボル）である歯車に相対し、魁（さきがけ）が右手に筆、左手に墨つぼを持ち、斗（ます）を蹴り、天を翔る姿を配してあります。

魁とは北斗七星の第一星として文筆を司る神の尊称です。

受賞者の功績をたたえ、今後の発展を祈る図を表現したものであります。

制作は国指定の蠟型鋳造の技術を継承される
日展会員 須賀正佐氏によるものであります

(1983. 4. 1　千々岩健児記)



日本機械学会教育賞について

新世紀が始まり、科学技術が著しく進歩する一方で、わが国では18歳人口の減少化と共に若者の理科離れが指摘され、小学校から高等教育機関におよぶ教育改革の必要性、とりわけ情報教育、国際化や継続教育の必要性が叫ばれております。このような社会環境の変化の中にあって、社会の進歩を支える機械工学・工業分野における技術教育は高等教育機関ばかりでなく、企業にとってもますます重要になるものと考えられます。このような観点から日本機械学会では、技術教育の発展と普及を支援するため、教育面で優れた成果・業績を上げた方を評価するため、日本機械学会教育賞を設立しました。教育賞は、2001年度より、教育面で顕著な貢献が認められる個人またはグループに賞状及び副賞にて顕彰いたします。

日本機械学会教育賞　賞牌

２０１０年度（平成２２年度）日本機械学会優秀製品賞 受賞社（５件）

（配列は会社名の五十音順）

	製品名	受賞社名
1	オゾンリネン消毒庫　OR シリーズ（OR-5V, OR-12）	株式会社ＩＨＩシバウラ
2	超高速応答　極細・極薄熱電対	株式会社アンベエスエムティ
3	実用型ＣＮＣスリム旋盤シリーズの開発	高松機械工業株式会社
4	立形マシニングセンタ YMC 430	安田工業株式会社
5	高速リニアサーボ弁	油研工業株式会社

優秀製品賞

(1) オゾンリネン消毒庫　OR シリーズ（OR-5V，OR-12）

株式会社 IHI シバウラ*1

1. はじめに

これまで病院，診療所等で使用した寝具類で感染の危険がある寝具類の消毒方法については，『病院，診療所等の業務委託について（平成5年2月15日指第14号厚生省健康政策局指導課長通知）』により規定されているが，新たに『オゾンによる消毒方法』が平成19年4月1日付けで追加された．

この法改正に合わせて開発したのが『OR-5V』（内容積6m^3）及び『OR-12』（内容積10m^{3}以上）である．本機は，寝具類の消毒を請け負う業者が大量に処理することが可能なオゾンによる大型リネン消毒庫である．

2. 開発の経緯

従来の消毒方法（エチレンオキサイド，ホルムアルデヒド）においては，残留毒性による発ガン性問題等から法規制が厳しくなり，環境測定の義務化や作業主任者の特定が必要となるなど，作業者及び周囲環境に大きな負担が生じていた．財団法人日本病院寝具協会では，より安全で簡便な消毒方法を求めた結果，低温消毒により生地を痛めず，また，残留毒性が少なく消毒効果が立証されているものとしてオゾン消毒法に到った．

オゾンの実績を持つ当社とリネン消毒のノウハウを持つ財団法人日本病院寝具協会において共同開発を行った．

図1　本製品の外観図　OR-5V

3. 製品の特徴

本製品の主な特徴を以下に示す．

(1) 自社製高濃度オゾン発生装置搭載

酸素発生器及び自社製無声放電型オゾン発生器を搭載したことにより，純度の高い高濃度オゾンを消毒庫内に注入することができる．

(2) リネン材内部への浸透性向上

リネン材への消毒を行う場合，処理対象物は消毒庫内に積み重ねて処理するケースが多い．積層された内部のオゾンCT値は表面部に比べ低くなる．ここでCT値とは，オゾン暴露量を消毒ガス濃度（concentration）と時間（time）の積で表わした数値のことで，消毒効果はCT値に依存すると言われている．本製品は積層されたリネン材内部へのオゾン浸透性を向上させ，CT値を高める対策を講じている．

積層された内部のオゾンCT値を高める対策として，庫内を真空状態とし，その後オゾンを注入する．注入は，上方2ヶ所，センター4ケ所，下方4ヶ所の注入口から2段階に切り替えている．これにより，リネン材内部までオゾンが浸透する．設定時間経過後に残存したオゾンは分解機構により酸素になり庫外に排出，運転が終了する．消毒庫内のオゾン濃度に対する，処理対象物内部のオゾン濃度の比率を測定した結果，布団で約70%，タオルで90%程度の浸透性が得られた．これらの一連の動作を自動制御にて行うと共に，消毒庫の内外オゾン濃度を本製品に組み込まれたオゾンモニタ（オゾン濃度計）で計測し，消毒効果の確認及び作業従事者の安全確保を行うことができる．システム構成を図2に示す．

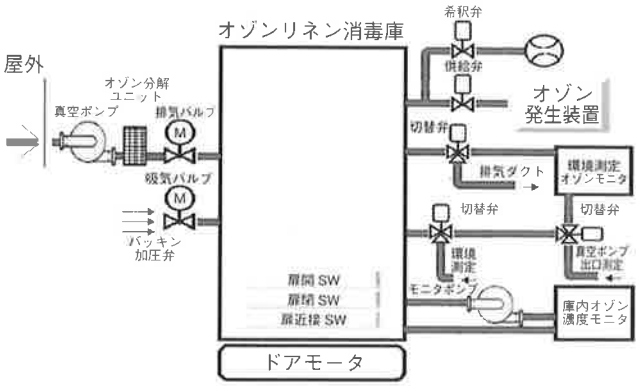


図2　本製品のシステム構成図（OR-5V）

(3) 消毒有効性について

消毒有効性を記録させるため，記録計でオゾン濃度を出力させた．また，オゾンCI（ケミカルインジケータ）をオゾン業界で唯一使用し，対象物への浸透性・消毒有効性が確認できると同時にエビデンスとして残すことができる．

4. 販売実績

2010年末までの本装置の販売数は13台で，オゾンによるリネン消毒庫の市場シェアは100%を有している．

5. むすび

リネン業界において，オゾン消毒法は強力な酸化力と酸素に戻る環境親和性の高さから，有効性，安全性，経済性を備えた新しい消毒庫として期待が高まっている．従来の消毒薬のように保管する必要がなく，法規制も不要など，多くの特長を持つため，今後，さらに多くの分野にオゾン消毒の適用を広げていきたい．

*1　特別員，〒390-8714　松本市石芝1-1-1

(2) 超高速応答　極細・極薄熱電対

(株) アンベエスエムティ*1

1. はじめに

従来，温度測定には価格が比較的安くかつ容易に使用できる熱電対が広く使用されている．熱電対は広い温度範囲を計測でき，かつデータをパソコンへ容易に取り込めることも好都合である．

17年前，当時0.3mmピッチQFP電子部品が基板に搭載されようとしていた．リード幅は約0.15mmであり，このリードの温度測定に従来の先端がϕ0.5mm程度の熱電対をはんだ接合して温度測定することに疑問を感じたのが発端となった．真の温度を測定するにはどうしたらよいだろうか？

正確な温度測定は実験などにおける重要な基本的データであるにもかかわらず，大きな課題点があるのではないかとの疑念が浮かんだ．

2. 超高速応答　極細・極薄熱電対の開発

超高速応答熱電対の条件としては基本的に先端感温部の昇温速度が大きく，先端感温部からの放熱が小さいことが必要である．即ち，

① 先端感温部の熱容量を小さく抑える．
② 先端感温部の伝熱面積を大きくする．
③ 先端に続く熱電対線を細くする．
（希薄な空気に比較し熱電対は金属であり熱伝導性が高く熱電対線自体を通過して熱が逃げやすいため）
④ 応答性に深くかかわる先端部（数ミリオーダー）以外は，取扱い上最低でも100μm径は必要となる．

上記①③④を満たすのが極細熱電対で，最も高速応答．更に①②④を満たすのが極薄熱電対であり，物体表面の温度測定への適応性を重視しており，ある程度の頑丈さを併せ持つ．

3. 超高速応答熱電対の仕様と用途例

弊社の極細熱電対（主としてK型熱電対）は，先端部のみ13μm, 25μm , 50μmクロメルアルメル線を接合したものである．また，極薄熱電対は先端部の厚さを，例えば10～80μm程度と薄くすることで主として物体表面温度測定用として開発したものである．この極細・極薄熱電対は，従来にない超高速応答で固体・液体・気体を問わず温度計測を可能とする．例えば，数1 000rpmで回転する自動車エンジンシリンダー内のガス温度，車衝突時瞬間的に膨らむエアーバッグ用インフレーターガス温度，パッチクランプと呼ばれる1個の生体細胞の例えば20msecの短時間における瞬間的温度変化，ICチップのジャクション温度，フリップチップICのアンダーフィルの温度，火薬類の爆発時温度変化，短時間で温度変化するバイトやエンドミル先端の温度，呼吸時の排気温度など先端技術の中枢（宇宙，航空，原子力，半導体，ソーラー，医学，農業その他の設備）で幅広く使用されている．

4. 製作熱電対例と測定温度データ

図1はエンジン用2線式K型熱電対（25および50μm）で同じ空間温度を測定し，各温度データから真の温度を計算で求める．

先端がϕ0.5mm程度のボール状熱電対では高速で回転するエンジン内部の温度は測定不可能（ほとんど温度変化は見られない）であったが，当社極細熱電対によって初めて可能となった．現在，顧客からのデータは公表できないので，図2に高速応答の一例として超小型スターリングエンジン（ガタ有り）のシリンダー内ガス温度の測定例を示す．ただし，燃料は外部からろうそく状で加熱．

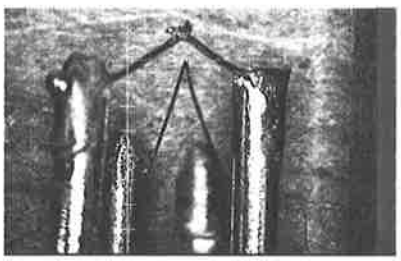


図1　エンジン用2線式K型熱電対（25および50μm）

スターリングエンジンのシリンダー内ガス温度
測定サンプリングタイム：1msec
熱電対タイプ：極細熱電対25μm（ϕ2mmのSUS管入り）
横軸1マス50msec
回転数　約1 090rpm（1サイクル55msec）
温度変化185～220℃

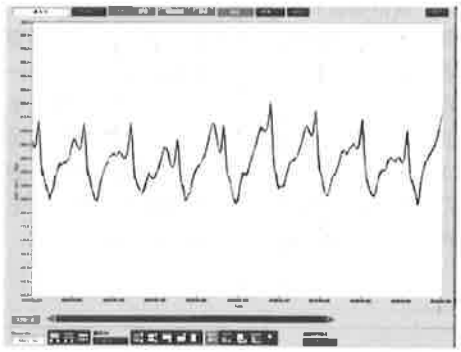


図2　スターリングエンジン（模型）筒内ガス温度

最近では火薬の爆発など，さらに高速（μsecオーダー，上記の1/1 000の時間）で変化する温度を25μm極細熱電対で十分に測定することが可能となっているが，詳細はデータがまとまった時点で発表したい．従来にない短時間領域の温度測定が可能となり，温度予測ソフトなどと連携すればその効果は計り知れない．

5. 販売実績

昨年度の販売実績は各種超高速応答熱電対を中心に合計で約12 500本以上を出荷している．

当社の特徴は顧客のニーズ，即ち，対象物体・取付け部の大きさ・測定温度幅・要求応答性・測定時間・ノイズの有無などを聞き，原則すべてカスタムメイドで要望に応じている．

現在，わが国では当社製の超高速応答熱電対が広く使用されているが，海外では残念ながら当社の宣伝が十分でないこともあり，使用されているのはごく一部に限定されている．今後，これを機会に一層海外への拡販を図りたい

6. むすび

これまで多くの顧客の要望を実現し，社内の実験でも，今さらながら特に極細熱電対は底知れない応答性を持っている（すなわちより真の温度を測定できる）ことを実感している．応答性の限界を把握するには爆薬，あるいはコンデンサに蓄えた電気エネルギーを瞬間的にショート発熱させるなどでしかその限界は把握できない．時定数を測定することは長年の目標であるが，異なる温度雰囲気への移動時間を数μsec以下にする必要があり，通常これは不可能である．別の方法でその応答性を表示できないか模索したい．

＊1　特別員，〒226-0024　横浜市緑区西八朔町149-18

(3) 実用型 CNC スリム旋盤シリーズの開発

高松機械工業株式会社*1

1. 製品の概要

これまでの工作機械は,「大きくて剛性が高いほうがよい」というのが一般的で, 市場からもそのような機械が要求されていた. しかし, ものづくりの現場においては, 自動車部品, 家電部品, 医療機器部品をはじめとして, 部品の小型化, 高精度化が急速に進んでいる. また, 設備投資に関わる経費を節約する動きが高まり, 無駄に大きな機械ではなく, 加工部品の大きさに見合った「機械の小型化」, それに伴う「省エネルギー化」に対する要求が強くなっている.

そこで, 研究室レベルではなく, 実際の量産現場での使用を目的として開発した実用型 CNC スリム旋盤シリーズを図 1 に示す. これらは, 従来機と同等の切削能力を有し, 加工部品の搬入出, 計測などの自動化への対応を可能とした省スペース型の精密 CNC 旋盤である.

図 1 スリム旋盤シリーズ外観

2. 機械の技術的特徴

スリム旋盤は幅 300mm の「USL-300」, 幅 480mm の「USL-480」, USL-480 を 2 台結合して, 2 スピンドル型とした「XW-30」の 3 つの種類がある. 図 2 にスリム旋盤シリーズの基本構造を示す. 機械幅を小さくするため, ベッドの上面に Z 軸 (主軸移動型), 上面に対して垂直な側面に X 軸 (刃物移動型) を取り付ける構造とした, 各移動 2 軸が直交する単能型旋盤で, 刃物は 2〜4 本取り付けることができる. 移動軸の配置は, 移動範囲が多く必要な主軸を前後方向 (奥行き方向) とし, 移動範囲を小さくできる刃物台を左右方向 (幅方向) とした. 主軸はイナーシャの最適化により, 小型であるが従来機と同等の切削能力を有する. また, 自動化ライン構築や工程分割に容易に対応可能なベッド構造を採用した.

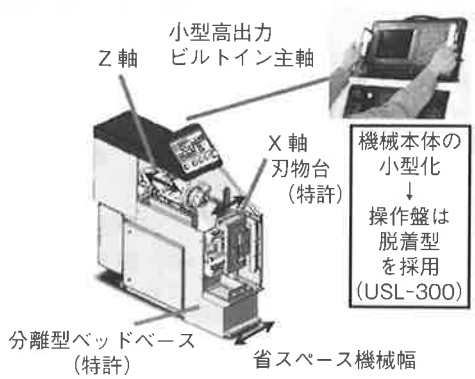


図 2 スリム旋盤の基本構造

3. 省スペース・省エネルギー効果

図 3 に, 省スペース効果の検討として機械を 2 台連結した仕様で設置面積を比較した結果を示す.

これより, 従来機の場合に比べて, USL-300 との比較で 80%, 1 台で 2 台分の機能を持つ XW-30 1 台との比較でも 70%もの削減効果があった.

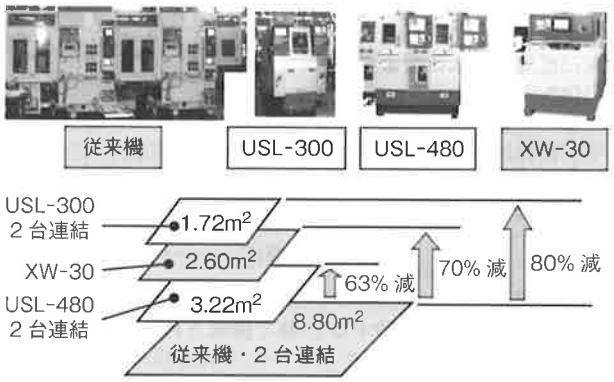


図 3 省スペース効果 (機械設置面積比較)

また, 図 3 の仕様で各機械を同じサイクルで稼動させた場合の消費電力量を比較すると, 従来機の場合に比べて, USL-480 との比較で 64%, XW-30 との比較では 74%の削減効果があった.

4. 販売実績

2010 年 12 月までに国内大手部品メーカを中心に, 3 機種あわせて約 200 台, 海外へも 40 台の輸出販売実績がある. 特に, スペース, 加工の両方の効率に優れた XW-30 の普及がすすんでおり, 今後もさらなる伸びが期待できる.

5. まとめ

開発した本スリム旋盤は, リーマンショック後のものづくり現場での「環境意識」の高まりもあり, 着実に市場への普及がすすんでいる. この考え方が業界全体にも波及し, 他社からも同様の機械が開発, 販売されている.

今後も, この「環境にやさしい機械」のさらなる仕様・機能の向上に努める所存である.

*1 特別員, 〒924-8558 白山市旭丘 1-8

優秀製品賞

(4) 立形マシニングセンタ　YMC430

安田工業株式会社*1

1. 製品の概要

YMC430は，日々進歩する「医療機器部品」「IT関連部品」「小型精密金型」などの微細加工分野において，急速に高まる超高精度・高面品位加工というニーズに応えるため開発したマシニングセンタである．

長時間稼動における安定した高精度・高面品位加工が一般的な工場環境にて実現可能な機械を目標とした．そのためには，機械本体の優れた運動性能だけでなく，振動や熱的外乱に対する安定性が必要であり，既存の機械には無い基本構造を考案し製品化した．

図1　機械外観

なお，DDモータ駆動の専用2軸制御テーブルを搭載することで，複雑形状加工に対応する同時5軸制御加工や，自動化・無人化に対応するコンパクトなワークチェンジャの搭載などの拡張性も備えている．

2. 基本構成

基本軸構成は，テーブルが前後左右に移動する「XYステージ」と，主軸が上下移動するZ軸で構成され，ATCユニットは機械後方に配置した．XYステージ方式を採用することで低重心構造となり，移動体は軽量にまとめられ重心近くに設置されている．ベッドについても厚みを充分に確保し，XYステージユニットをその中心低くに設置した．テーブル上面の位置が低くワーク段取り等の作業性が向上すると同時に，テーブル移動時の振動に対する安定性も向上している．

3. 特徴

①対称構造H形コラム

通常XYテーブル方式を採用した場合，コラムはシングルコラムのCフレーム構造が一般的であるが，コラム前面から主軸までのオーバーハングが大きくなり主軸からテーブルまでの力線が長くなる．また，コラムの前後方向は非対称構造となり，温度変化によるY軸方向の変位が問題となる．この問題を解決するため本機では「H」型断面のコラムを開発し製品化した．その断面は，ダブルコラムに近い形状となっており，曲げ・捩り剛性が向上するとともに，通常のシングルコラム（Cフレーム）にくらべ，コラムから主軸までのオーバーハングが少ないため工具－加工物間の力線が短く，また，その力線も2本で構成されるため非常に高い剛性が確保される．結果，Z軸の加減速性能と振動減衰性の向上をもたらし，微細加工に要求される反転移動時の高速化と高精度化を実現している．また，「H」形状は，左右だけでなく前後の形状も対称となっており，温度変化による変形も抑制され，安定した精度を確保する．

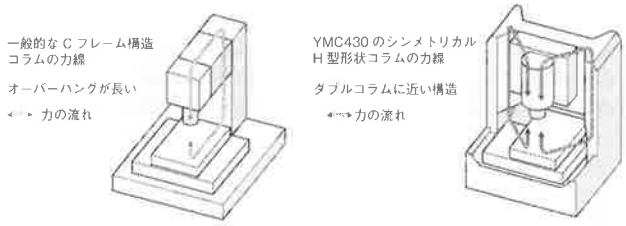


図2　コラム形状の比較

②リニアモータ駆動XYステージ

テーブルには前後左右に移動する「XYステージ」方式を採用した．前後左右の移動体をできるだけ低い位置に設置することで，機械全体のローリングを少なくした．また，加工ポイントは常にガイドの中にあるので，各軸の姿勢変化（極力抑えているが）が位置決め精度に与える影響は非常に少ない．

また，非接触で高精度なテーブル駆動を実現するため，駆動には在来機のボールスクリューではなくリニアモータを採用した．機械的なバックラッシュやロストモーションの要素がないため，軸反転時の挙動は素直で，他の軸との補間精度も非常に良好である．

③熱変位対策および振動対策

機体温度制御システムは，ある温度にコントロールされた熱交換液を循環させる方式であり，機械全体の温度分布を均一に制御することによって，機械の幾何学的精度（真直・直角等）を確保しようとするものである．

ポンプや制御装置など，振動源や発熱源となる装置はユニット化して機械背面にまとめ機械設置時に機械本体と切り離すことで，振動・発熱の直接的伝播を防止している．

4. 精度

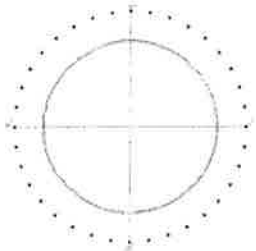
①各軸の位置決め精度（ISO230－2）

正確さA（2σ）測定値　X軸：0.356μm　Y軸：0.508μm　Z軸：0.316μm

②XY軸の真円精度

実加工によるXY軸円弧補間の形状精度の測定結果．

真円度　：0.60μm
材質　：A5052
加工径　：ϕ105mm
主軸回転数　：12 000 $^{-1}$
送り速度　：2 000mm/min
使用工具　：ϕ6mmスクエアエンドミル
測定器　：TAYLOR-HOBSON社製 Talycenta



5. 加工事例

プラスチックレンズ金型のベースプレート

ϕ3-32個，ϕ18-4個，ϕ20-4個の穴のエンドミル加工

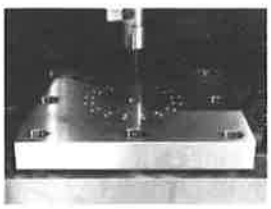
被削材：HPM38（HRc52）

加工物寸法：200×200×25h（mm）

使用工具：超硬コーティングエンドミル

加工液：オイルミスト

各穴位置精度　測定結果：±1μm



6. まとめ

YMC430のシェアは明確ではないが，開発直後から順調に受注いただいており微細加工機としての比率は約20%程度ではないかと思われる．

今後，部品の高精度化の要求はさらに厳しくなるものと思われる．このような市場の要求に応えられるよう開発を行って行きたい．

*1　特別員，〒719-0303　岡山県浅口郡里庄町浜中1160

(5) 高速リニアサーボ弁

油研工業株式会社*1

1. 高速リニアサーボ弁と開発目的

油圧制御は，機械駆動系の要素部品として広く産業装置，機械に用いられている．電気指令により機械系を駆動することも容易であり，位置，速度，加速度，圧力，荷重を実現するには所望のセンサを付加して電気 - 油圧サーボ弁，比例電磁式方向流量制御弁を用いた油圧制御が一般的に用いられる．本製品は，従来から普及しているノズルフラッパ機構方式の電気 - 油圧サーボ弁の代替となるが，新規開発したボイスコイル形リニアモータを制御駆動部に採用し，「高速リニアサーボ弁」として商品化したものである．

開発の背景，目的としては，ノズルフラッパ形サーボ弁の周波数応答特性 100～200Hz をブレークスルーする約 2 倍の 400Hz 以上の特性を実現し，鍛圧機械に使用することにあった．さらに商品化にあたっては高寿命・高信頼性（作動油の汚染に強い）の実現，また省エネ性についても視野に入れた開発を行った．この結果，性能，信頼性などが評価され，適用領域を拡大している．

2. 構造と動作

油圧の流量，方向制御は油路開度を制御するスプールの位置決めにより実現するが，このスプールを小型・高推力ボイスコイル形リニアモータと直結し，専用の高速アンプとの組合せによって電気的フィードバック制御している．図 1 に構造を，また図 2 に各構成要素について新規設計・開発，生産技術的改良点を示す．

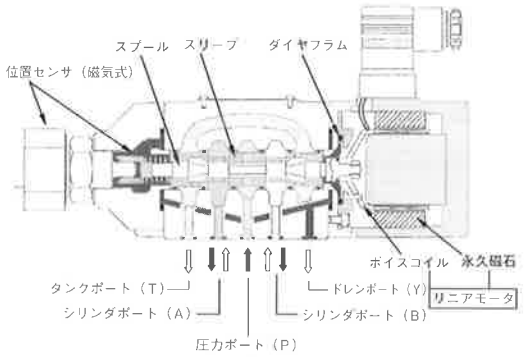


図 1　外観と構造

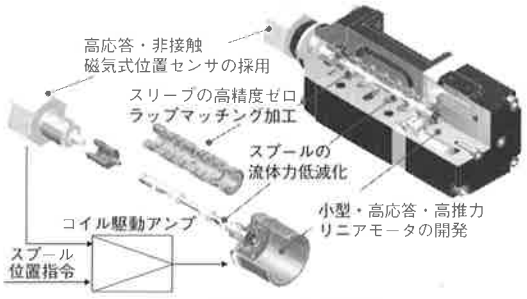


図 2　構成要素と着眼点

構造はボデー部・リニアモータ部・位置センサ部から構成される．永久磁石は高推力のネオジウム・鉄・ボロン（Nd-Fe-B）系で固定配置し，コイルは永久磁石やヨークと非接触で可動構造である．また，位置センサは非接触タイプの高応答磁気式センサを用いている．基本的に構造をシンプルに，可動部を軽量化することで高応答，作動油汚染に強く（NAS10 等級での使用可），使い易い製品となった．

3. 仕様と性能

最高使用圧力 35MPa，流量 4～3 800L/min までの販売実績があり，流量体格，性能，機能など多様に対応している．

基本的性能は，上記構造の 1 段形サーボ弁流量 4～40L/min シリーズで周波数応答特性 450Hz/－90°，100%ステップ応答 2msec である．これ以上の大流量では 2 段形とし，周波数応答特性約 100Hz/－90°，100%ステップ応答 8～12msec が代表性能となる．

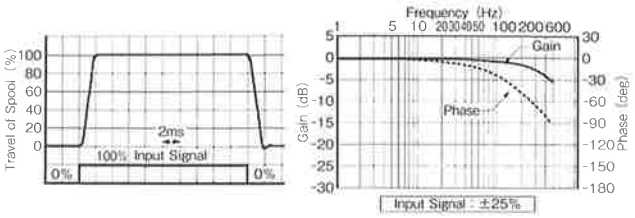


図 3　応答特性（代表例）

4. アプリケーションと販売実績

本製品は，高応答特性に優位性があり，射出成形機での樹脂充填速度 1 000～1 500mm/sec を 8～12msec で加速する例，ダイカストマシンではアルミ材充填速度 4m/sec，マグネシウム材では 8m/sec の実現，追従性の良さから各種試験機に，また鉄鋼設備などでは作動油汚染に強い特長が評価されている．販売実績としては 2001 年より累積で約 10 000 台である．

表 1　適用業種・装置と販売実績

		機種	発売時期 販売実績	適用業種・装置
アンプ別置形	直動式	最高使用圧力 35MPa 流量　4～60L/min	2001 年～ 4 100 台	・鉄鋼設備 圧延機 連続鋳造機 ・工作機械 ホーニングマシン 平面研削盤 ・射出成形機 プラスティック加工機 マグネシウム成形機 ・ダイカストマシン ・舶用装置 エンジンバルブ制御 操舵装置 ・鍛圧機械 パンチングプレス機 ・試験機 疲労・耐久試験機 シミュレータ装置　など
	2 段式	・最高使用圧力 35MPa 流量　～900L/min ・最高使用圧力 31.5MPa 流量　～3 800L/min	2001 年～ 1 700 台	
アンプ搭載形	2 段式	最高使用圧力 31.5/35MPa 流量　～1 300L/min	2007 年～ 4 200 台	
	直動式	最高使用圧力 35MPa 流量 4　～60L/min	新製品	
		販売実績合計　約　10 000 台		

5. まとめ

現在，流量サイズの品種の拡張，フェイルセーフなど使い易さの付加，また新たな領域の性能実現などの要望を頂いており，継続的に開発を行っている．本製品が産業界に寄与するとともに油圧機器の素晴らしさを伝えられれば幸いである．

＊1　特別員，〒252-1113　綾瀬市上土棚中 4-4-34