

2. バイオエンジニアリング部門

2.1 バイオエンジニアリング部門活動と今後の動向

2.1.1 部門の活動状況

バイオエンジニアリング部門は、機械工学を基盤としたバイオエンジニアリングの研究分野において、学術研究の発展・普及や産学官における情報交流の場として活動することを目的としている。バイオエンジニアリング部門は2017年で発足後30年を迎える。発足当時、新しい分野を切り開かんとする意欲に打ち満ちた先達により、機械学会の中でも小数ながら若くて勢いのある部門としてスタートし、その後、年2回の部門主催の講演会に加え、年次大会での数多くのOS・ワークショップ・特別企画の実施や、アジア太平洋バイオメカニクス会議を初めとする国際会議で主導的な役割を果たし、さらにはいち早く部門独自の英文ジャーナルを発刊し国際的な発信力を高めるなど、高い活動度を維持しながら現在に至っている。また、部門の独立性が高い機械学会の中でも、年次大会を中心に他部門と共同での企画を積極的に行い、部門交流を活性化するだけでなく、LIFE（日本機械学会、日本生活支援工学会、ライフサポート学会で合同開催する学術講演会）に代表されるように他学会との交流においても大きく貢献している。10年前頃から当部門の弱点として挙げられていた産業界とのつながりやバイオエンジニアリング技術の社会実装に関しては、医工学テクノロジー推進会議への参画や日本医工ものづくりコモンズ⁽¹⁾との連携、産総研コンソーシアム医療機器レギュラトリーサイエンス研究会⁽²⁾との連携によって強化され、技術の普及活動については部門主催の講習会で実績を上げつつある。少子高齢化社会の中で機械工学が果たすべき役割の大きな一翼を担う部門として、その期待に応えるべく活動を展開している。

(1) 国内における主な活動

国内での主な活動としては、バイオエンジニアリングの広い範囲における最新の研究成果を集めたバイオエンジニアリング講演会、大学院生や若手研究者を対象としたバイオフィロントピア講演会と国際活動への展開を目指したBiofrontier Symposiumを毎年開催し、バイオエンジニアリングに関連する先進的な話題を取り上げた講演と討論を行うバイオサロンを年2回実施している。図1は、2007年から2016年度までのバイオエンジニアリング講演会とバイオフィロントピア講演会における講演件数及び参加者数の推移を示したものである。バイオエンジニアリング講演会は年度により多少の増減はあるものの、最近では講演件数が約300件、参加者数が約450人で定常に移している。これを2006年と比較すると講演件数では約80件、参加者数では約100人増加しており、機械学会におけるバイオエンジニアリング研究の広がりや活性化の状況を反映している。一方、バイオフィロントピア講演会は、最近では講演件数が約80件、参加者数が約120人でほぼ定常に移している。こちらは10年間での大きな変化は見られないが、講演会の目的である分野や年代を越えた研究者の交流を促進するには丁度良い規模の講演会として定着したと言える。2009年度からは大学院生や若手研究者の国際性を高めることを目的として、バイオフィロントピア講演会に加えBiofrontier Symposiumという国際シンポジウムを新設し、活動内容についても充実を図っている。これら部門単独事業のみならず、他部門との合同事業、協力協賛事業についても数多く行われており、特に年次大会においては、この10年の累計で、部門横断のオーガナイズドセッション102件、ワークショップ19件、基調講演11件、市民フォーラム13件が実施され、年次大会の活性化にも大きく貢献している。

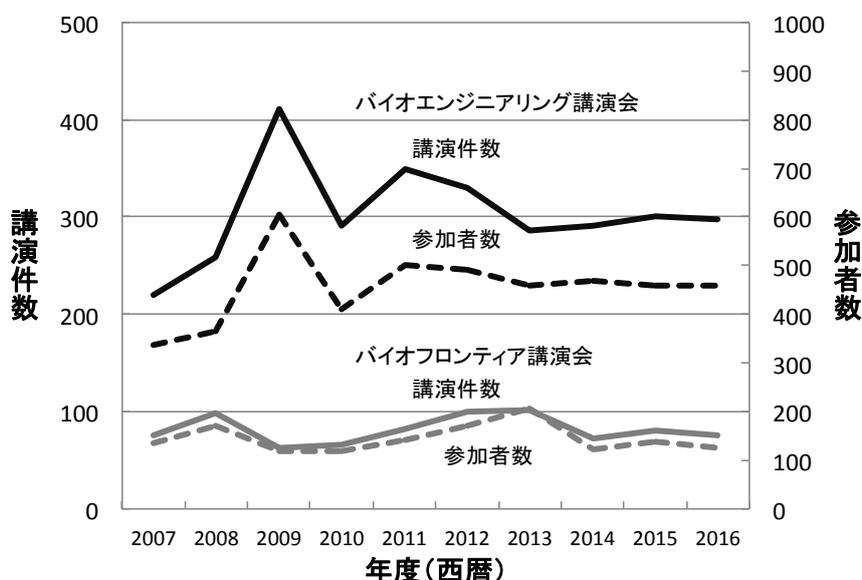


図1 部門主催の講演会の講演件数と参加者数の推移

(2) 国際的な活動

この10年間で最も特筆すべき活動としては、部門ジャーナルであるJournal of Biomechanical Science and Engineering (JBSE)に関連した活動が挙げられるが、これについては後述する。表1に最近10年間における当部門が携わった国際会議等の国際的活動を示す。主な活動としては、本部門が中心となり2003年に立ち上げたAsian Pacific Association for Biomechanics (APAB)⁽³⁾での活動があり、この活動を通じてアジア太平洋地域におけるバイオメカニクス研究の主導的な役割を果たしている。APABでは、おおよそ2年ごとにアジア太平洋バイオメカニクス会議 (Asian Pacific Conference on Biomechanics, APCB) を開催しており、2004年に第1回を大阪で開催したのを初め、この10年間では2007年に第3回を東京で、2015年に第8回を札幌で開催している。第3回のAPCBでは講演数が229件、参加者数が265人であったが、第8回では講演数が318件、参加者数が381人に増加し、アジア太平洋地域のバイオメカニクス研究者が集う国際会議としての重要性を増している。企画・運営・交流に直接参加し重要な役割を果たしている国際会議としては、APCBの他にも世界バイオメカニクス会議 (World Congress of Biomechanics, WCB) や、日本-スイスバイオメカニクスワークショップ (Japan-Switzerland Workshop on Biomechanics, JSB)、米国機械学会バイオエンジニアリング部門を母体とする組織委員会が主催するサマーバイオメカニクス・バイオエンジニアリング・バイオトランスポート会議 (Summer Biomechanics, Bioengineering & Biotransport Conference, SB3C) が挙げられる。また、2013年に韓国機械学会バイオエンジニアリング部門と交流協定を結び、ジョイントシンポジウムを毎年いずれかの国において開催することとなり、2016年度までに4回のジョイントシンポジウムを行って交流を深めている。以上の様に、当部門が早くから進めてきた世界バイオメカニクス会議や日本-スイスバイオメカニクスワークショップ等での活動を継続しながら、アジア太平洋での交流を活発化させ、より多様な国際活動を展開してきたのが最近の10年と言えるであろう。

表1 部門が企画・運営・交流に重要な役割を果たした国際会議等の活動 (2007~2016年度)

年	月	国際会議等	開催地	参加者数等
2007	11	第3回アジア太平洋バイオメカニクス会議 (APCB 2007)	東京(日本)	265人
2009	4	第4回アジア太平洋バイオメカニクス会議 (APCB 2009)	クライストチャーチ (ニュージーランド)	130人
	9	第9回スイス-日本バイオメカニクスワークショップ	エンゲルベルグ(スイス)	約80人
2010	8	第6回世界バイオメカニクス会議 (WCB 2010), 第5回 APCB と共催	シンガポール	約2000人
2013	5	日韓機械学会(バイオ部門)ジョイントシンポジウム	麗水(韓国)	講演7件
	8	第7回アジア太平洋バイオメカニクス会議 (APCB 2013)	ソウル(韓国)	341人

2014	1	日韓機械学会(バイオ部門)ジョイントシンポジウム	仙台(日本)	講演 6 件
	7	第 7 回世界バイオメカニクス会議(WCB 2014)	ボストン(米国)	約 4000 人
	9	第 9 回日本-スイスバイオメカニクスワークショップ	志摩(日本)	61 人
2015	5	日韓機械学会(バイオ部門)ジョイントシンポジウム	釜山(韓国)	講演 3 件
	6	サマーバイオメカニクス・バイオエンジニアリング・パイオトランスポート会議(SB3C 2015)	ユタ(米国)	約 750 人
	9	第 8 回アジア太平洋バイオメカニクス会議(APCB 2015)	札幌(日本)	381 人
2016	1	日韓機械学会(バイオ部門)ジョイントシンポジウム	東京(日本)	講演 6 件
	6	サマーバイオメカニクス・バイオエンジニアリング・パイオトランスポート会議(SB3C 2016)	メリーランド(米国)	約 700 人

※2009年度よりバイオフロンティアシンポジウムを年1回開催(バイオフロンティア講演会と同時開催)

(3) 技術の普及活動

当部門では、研究成果を研究者間で交換し合う講演会や研究会の開催については部門設立時から活発に行ってきたが、その一方、研究で得られた成果や技術をより広く普及するための講習会については、部門設立から四半世紀を迎えた2012年度の時点でも実施されておらず、長年の懸案事項となっていた。ようやく2014年1月に当部門主催での講習会「有限要素法による骨のバイオメカニクス解析入門～理論から応用まで～」が実施され、好評につき年1回の定例講習会として、2016年度末までに4回の開催を行った。バイオメカニクス研究に携わる工学系の研究者や学生だけでなく、骨のバイオメカニクスに興味を持つ医師・医療関係者からも申込みがあり、4回とも定員の30名を越える参加者を得ている。さらに、2016年11月には講習会「次世代診断治療支援のための血流シミュレーション～基礎から実践まで～」が、医師・医療関係者を含む定員30名を越える参加者を得て実施され、好評につき2017年度以降の開催も予定されている。これらの講習会を通じて、多くの医師や医療関係者が計算バイオメカニクスのシミュレーション技術に興味を抱いており、臨床研究にその技術を導入したいとの希望を持っていることがわかった。また、バイオエンジニアリング技術の医療分野への普及には、学会を跨いだ医工連携の強化が必要なことを改めて認識した。

(4) 連携活動の推進

バイオエンジニアリングの研究や技術開発を推進するためには、さまざまな専門分野の研究者や技術者が集う場を提供することが重要である。当部門では、機械工学に立脚した部門のアイデンティティを堅持しながら、他部門や学協会等との連携を強化している。2012年には、学会内の4部門の合同企画であった福祉工学シンポジウムが、当学会とライフサポート学会および日本生活支援工学会の3学会合同主催によるLIFE2012大会へと拡大され、その後もLIFE20xx大会として継続されている。また、医工学と関連する部門間の連携を目指した医工学テクノロジー分科会は、2011年に医療機器や健康機器、医療・福祉技術の産業化におけるさまざまな問題を扱う医工学テクノロジー推進会議へと発展し、現在(一社)日本医工ものづくりコモンズ⁽¹⁾における17学協会との医工連携活動の窓口となっている。他学会との医工連携の強化としては、2016年度に日本循環器学会と交流協定を締結し、互いが主催する講演会での連携シンポジウムや連携セッションを開催し、産学連携を含めた医工連携の可能性を探っている。日本脳神経血管内治療学会とは、部門所属研究会「脳神経血管内治療に関する医工学連携研究会」を設置し、この研究会を中心に連携活動を進めている。また、産総研コンソーシアム医療機器レギュラトリーサイエンス研究会⁽²⁾と連携し、部門講演会でシンポジウム等を開催している。このような連携活動の推進により、新たな研究成果や技術の創出が促され、バイオエンジニアリング分野の発展に繋がることが期待されている。

(5) その他

当部門の活動としては上記で述べた以外にも、後述する部門ジャーナルの発行や、分科会・研究会の活動、部門賞表彰、広報活動等々、多岐にわたるが、誌面の都合上ここでは部門ニューズレターを取り上げ、その一部を紹介する。ニューズレターであるバイオエンジニアリング部門報は部門登録会員への情報提供を目的として、年1回、9月初旬に発行される。内容は、部門活動に関する情報が大半であるが、それ以外にも特集記事や、研究室紹介、海外だよりといった記事が掲載されている。中でも「バイオエンジニアリングの歴史」

は、2004年発行のNo. 33から2016年発行の最新刊No. 45まで、著者と内容を変えながら毎回欠かすことなく掲載されている。毎回、一つもしくは二つのトピックスが取り上げられるが、その中の幾つかを紹介すると、例えば、再生医療の歴史、人工心肺装置の歴史、光学顕微鏡の歴史、ステントの歴史、生体材料の歴史、人工心臓の歴史、腱・靭帯のリモデリングに関する研究の歴史、脳動脈瘤塞栓コイル誕生の歴史……といった記事が掲載されている。いずれの記事も専門の著名な研究者・技術者が、現状に至るまでの経緯を比較的コンパクトにまとめて執筆しているため、その研究・技術の背景を理解するには、とても役に立つ記事となっている。バイオエンジニアリング分野は、学術的にも技術的にも内容が多種多様で、専門が異なると理解が及ばないことも多く、専門横断的な知識を得ることが難しい傾向がある。このような中、バイオエンジニアリング分野における知識を広げ教養を高める上で効果的な記事となっており、部門登録会員以外でも興味のある方には読むことをお勧めしたい。

2.1.2 部門活動の今後の動向

2017年度で発足30年となる活動を経て、バイオエンジニアリングは機械工学における一つの基幹分野としての地位を確立したと言える。現状では順風満帆とも言える部門の活動状況ではあるが、しかし、充分解決できていない課題や将来の不安材料も少なからず存在する。機械学会では会員数の減少と構成員の高年齢化が進んでおり、当部門は登録者数（第1～3位）が過去10年間で増加している部門であるとは言え、その傾向と無縁ではない。バイオエンジニアリング研究も成長期から成熟期を迎え、研究がより高度化・専門化し、多様性が失われつつあるとの指摘もある。一方で、他部門においても、生物、医療、福祉、健康に関する研究発表や企画が年々増えてきており、その中でバイオエンジニアリング部門のアイデンティティをどのように位置づけるかといった問題も浮上しつつある。

しかし、最も大きな課題としては、バイオエンジニアリング研究で培われた技術や成果を、どのようにして産業界や医療・福祉・健康分野に普及し社会貢献につなげるかという事が挙げられる。国内のバイオエンジニアリング研究において、活発でレベルの高い研究が行われている割には、その成果が医療分野等の現場まで届いていない状況は古くから指摘されているものの、その解消には至っていない。この要因としては、規制審査のあり方、ものづくり分野と医療との接点、並びに医工連携の人材育成等が挙げられている。⁽⁴⁾ いずれも研究者・技術者を取り巻く環境の問題であり、個々の研究力や技術力だけでは乗り越えられないことから、研究成果を得ても時期尚早と実用化を諦める研究者・技術者も少なくない。このような状況に対し、変革を進めようとする機械学会としての組織的な取り組みが、最近10年の中で始められたことは特筆すべきである。一つは、日本医工ものづくりコモンズとその窓口である医工学テクノロジー推進会議を通じた、新たな臨床的価値を有する医療機器の創生につながる活動である。もう一つは、医療機器の承認に向けた評価科学としての医療機器レギュラトリーサイエンスの確立を目指す活動である。例えば、機械学会誌において「健康・医療における基盤工学研究の産業化」講座が2015年8月より連載され、当該分野の現状と今後の課題を学会員に発信している。当部門においては、今後も機械学会におけるこのような活動の中核を担い、バイオエンジニアリング研究で得られた研究成果と技術の社会実装を推進する活動を継続していきたい。

近年は関連学協会・他部門との連携を活発に行い、バイオエンジニアリング分野での新領域を開拓している。特に、目覚しく発展しつつある細胞・分子を対象としたバイオメカニクスや社会的期待の高い再生医工学に対して積極的に取り組んでおり、この分野のさらなる発展に寄与する活動が行われている。生体組織工学の分野においては、三次元組織再生技術の開発が次の重要な課題となっており、機械工学がこの発展に重要な役割を果たすことも期待されている。当部門では、このような方向へと領域を広げながら、器官や系を対象とするよりマクロレベルの研究においても、細胞・分子、再生医工学等で得られた成果を取り入れつつ、個別別や患者別の対応など、より臨床応用に優れた取り組みにより、多様かつ実用的な研究活動の展開が期待される。国際的な活動においては、早くからアジア太平洋地域の連携活動に取り組んで来たことにより、バイオメカニクスの分野では、ヨーロッパとアメリカに対する第三の勢力として定着しつつある。当部門としては、今後も重要性を増すであろうアジア太平洋バイオメカニクス連合（APAB）において、その中核としての地位を確かなものにすべく活動していきたい。

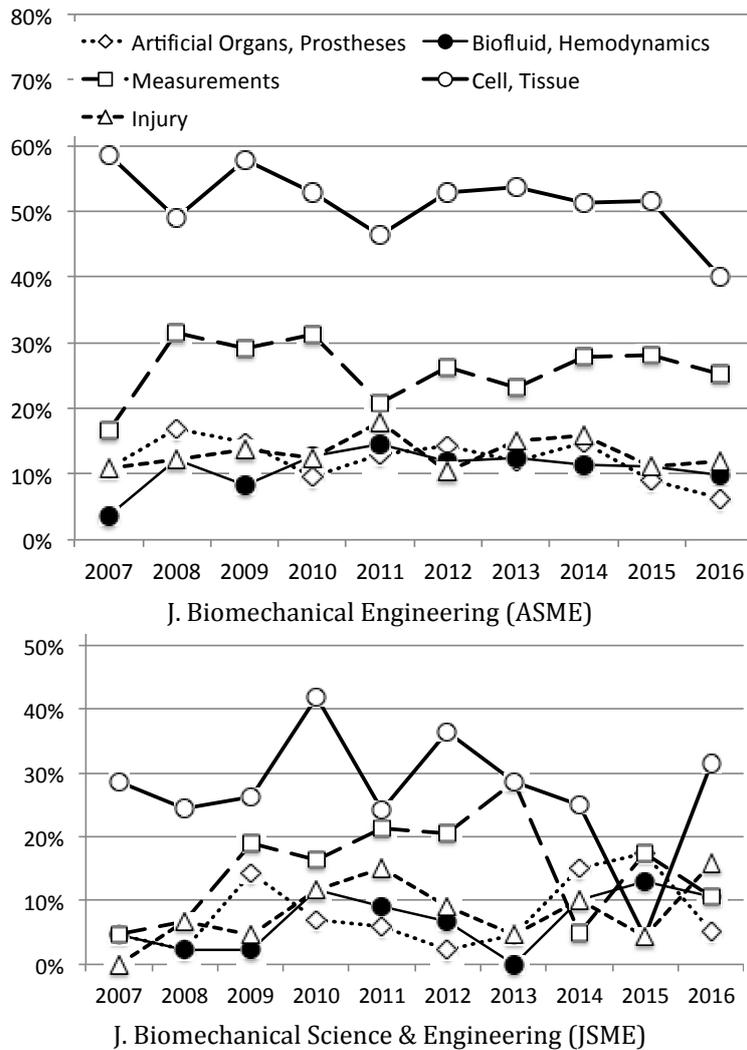


図2 ASME と JSME の部門ジャーナルにおける特定キーワード群を含む論文が占める割合の推移

2.2 ジャーナルに見る研究動向とトピックス

2.2.1 JSME と ASME のバイオエンジニアリング関連ジャーナルにおける研究動向

部門ジャーナルである Journal of Biomechanical Science and Engineering (JBSE) は 2006 年秋に創刊され、2007 年からは毎年 1 巻 4 号が発刊されて、2016 年の第 11 巻までに約 500 編の論文、レビュー等が電子ジャーナルとして公表されている。国内の優れたバイオエンジニアリング研究を論文として国際的に発信するだけでなく、各国の著名な研究者からのレビュー論文の掲載や、アジア太平洋バイオメカニクス会議 (APCB) 等の国際会議に合わせた特集号の発刊、海外から Guest Editor を招いて国際的に開かれた編集体制を構築する等、国際的な学術雑誌への発展を目指した活動が活発に行われている。また、2010 年には日本機械学会と Korean Society of Biomechanics (KSB) との間で、2013 年には日本機械学会と Taiwanese Society of Biomechanics (TSB) との間で覚え書きが交わされ、JBSE が KSB 及び TSB のオフィシャルジャーナルとなっている。このような最近 10 年間の JBSE に関する活動によって国際的な学術雑誌としての認知度も高まり、現在ではアジア太平洋バイオメカニクス連合 (APAB) のオフィシャルジャーナルとしての位置付けも固まりつつある。

学術雑誌に掲載される論文の傾向は、その分野の研究動向を強く反映していると言える。そこで、最近 10 年間の機械工学分野におけるバイオエンジニアリング研究の動向を明らかにするため、日本機械学会 (JSME) のバイオエンジニアリング部門ジャーナル JBSE と米国機械学会 (ASME) のバイオエンジニアリング関連ジャーナルである Journal of Biomechanical Engineering (JBE) について、キーワード検索による最近 10 年の

論文件数の動向調査を行った。JBEはASMEの論文集の一つで1977年に創刊され、毎年1巻4号から始まり1988年からは年1巻6号、2009年からは年1巻12号を発売し2016年には40巻に達する、この分野では世界の中でも最も前駆的でかつレベルの高いジャーナルの一つである。JBEが指定している11分野⁽⁵⁾に対応したキーワード群を用いて、各年の論文を検索し、ヒットした論文数をその年の論文数で除した値をJBEとJBSEとで調べた。検索にはScopusのデータベースを用い、2007～2016年の間の論文としてJBEでは1656編が、JBSEでは311編が調査対象となった（JBSEはScopus登録が2009年以降であったため、2007～2008年の論文についてはCiNiiで検索した）。過去10年間で出現比率の高い上位5位までのキーワード群はJBEとJBSEとで同じで「Cell, Tissue」、「Measurements」、「Artificial Organs, Prostheses」、「Injury」、「Biofluid, Hemodynamics」の順であった。このキーワード群の論文出現率の過去10年間の推移を図2に示す。これらの論文出現率順位がJBEとJBSEで同じであったということは、機械工学系のバイオエンジニアリング研究の分野別動向が日米で似た傾向であることを示唆している。特に細胞・組織に関連する論文は、JBSEで30%前後と高い割合を示しているが、JBEでは50%前後とさらに高い割合を示し、日米で非常に活発に研究されていることがわかる。また、計測や人工臓器・人工補綴、損傷（傷害）といった臨床応用に関係する論文の出現率が高いことも、両者の特徴として挙げられる。特に計測関連の論文が多いのは、医療診断や医療機器評価に関連した研究が多いことを示唆している。以上の傾向からは、細胞・組織や再生医工学の問題を学術的な最前線としつつ、その一方で臨床応用を目指す生体計測や医療機器・デバイス開発の研究が活発に行われている状況が見て取れる。今回は、「機械学会」におけるバイオエンジニアリング学術誌ということでJBEとJBSEのみを取り上げたが、そこに見られた傾向は国際的な傾向とも一致するものと考えられる。JBEとJBSEの違いとしては、JBEが上位5位までの分野の占める割合が高くそれらへの偏りが大きいのに対し、JBSEではその偏りが比較的少ないことが挙げられる。このことは、日本を中心としたアジア太平洋地域でのバイオエンジニアリング研究に、より多様性があることを示唆している。また、JBSEでは年ごとに分野の割合が大きく変動する傾向が見られるが、これは特定分野の特集号の発行による影響と考えられる。JBSEには特集号の有無に関わらず一定数の論文投稿を得ることができるジャーナルとなることを今後期待したい。

2.2.2 JBSEに見られる研究トピックス

JBSEでは2010年から、その年に公表された論文の中から優秀な論文を選び、Paper of the Yearとして表彰している。これらの論文を最近のバイオエンジニアリング研究を代表するものとして紹介したい。表2に2010～2015年までのPaper of the Yearとなった16編の論文を示す。16編の内9編が細胞・組織工学に関する論文であり、ここでも当該分野の活動度とレベルの高さが良くわかる。この他では2編が生物流体、2編が計測、2編が整形外科、1編が運動学に関連した論文となっており、多様な分野の優れた研究がPaper of the Yearに選ばれている。

表2 JBSE Papers of the Year (2010～2015)

年	題目	著者	ジャーナル・巻号・年
2010	Mechanical Regulation of Actin Network Dynamics in Migrating Cells ⁽⁶⁾	Kennedy Omondi OKEYO 他 2名	JBSE, 5-3, 2010
	Biomechanical contribution of cytoskeletal structures to traction forces in cultured smooth muscle cells ⁽⁷⁾	Toshiro OHASHI 他 3名	JBSE, 5-3, 2010
	Patient-specific morphological and blood flow analysis of pulmonary artery in the case of severe deformations of the lung due to pneumothorax ⁽⁸⁾	Jean-Joseph CHRISTOPHE 他 6名	JBSE, 5-5, 2010
	Passive dynamic stability of a hovering fruit fly: a comparison between linear and nonlinear methods ⁽⁹⁾	Na GAO 他 1名	JBSE, 5-5, 2010
2011	Surface morphology and stiffness of cartilage-like tissue repaired with a scaffold-free tissue engineered construct ⁽¹¹⁾	Ryosuke NANSAI 他 5名	JBSE, 6-1, 2011
	Residual stress distribution in the bovine femoral diaphysis measured by synchrotron ⁽¹¹⁾	Satoshi YAMADA 他 3名	JBSE, 6-2, 2011
	Numerical study on the morphology and mechanical role of healthy and osteoporotic vertebral trabecular bone ⁽¹²⁾	Yuto YOSHIWARA 他 4名	JBSE, 6-4, 2011
2012	Dynamic changes of traction force at focal adhesions during macroscopic cell stretching using an elastic micropillar substrate: tensional homeostasis of aortic smooth muscle cells ⁽¹³⁾	Kazuaki NAGAYAMA 他 2名	JBSE, 7-2, 2012
	High time resolution time-lapse imaging reveals continuous existence and rotation of stress fibers under cyclic stretch in HUVEC ⁽¹⁴⁾	Yusuke MITSUOKA 他 4名	JBSE, 7-2, 2012

2013	The stabilization effect of mesenchymal stem cells on the formation of microvascular networks in a microfluidic device ⁽¹⁵⁾	Kyoko YAMAMOTO 他 8 名	JBSE, 8-2, 2013
	Experimental and analytical studies on contact irreversible electroporation for superficial tumor treatment ⁽¹⁶⁾	Kosaku KURATA 他 4 名	JBSE, 8-4, 2013
2014	Nonlinear mechanical analysis of posterior spinal instrumentation for osteoporotic vertebra: Effects of mechanical properties of the rod on the failure risks around the screw ⁽¹⁷⁾	Daisuke TAWARA 他 4 名	JBSE, 9-2, 2014
	Numerical analysis of arterial contraction regulated by smooth muscle stretch and intracellular calcium ion concentration ⁽¹⁸⁾	Naoki KIDA 他 1 名	JBSE, 9-1, 2014
2015	Strain magnitude dependent intracellular calcium signaling response to uniaxial stretch in osteoblastic cells ⁽¹⁹⁾	Katsuya SATO 他 4 名	JBSE, 10-3, 2015
	Effect of knee joint motion for the transfemoral prosthesis in swimming ⁽²⁰⁾	Motomu NAKASHIMA 他 2 名	JBSE, 10-3, 2015
	Muscle stress generated in the forearm during hand gripping ⁽²¹⁾	Saran KEERATHIATTAYA-KORN 他 2 名	JBSE, 10-3, 2015

Paper of the Yearに選ばれた細胞・組織工学に関する論文では、細胞内のストレスファイバーやそのネットワークである細胞骨格に作用する力とそれへの反応を扱った研究^{(6) (7) (14)}や、動脈の平滑筋細胞や骨芽細胞に働く力とその反応を扱った研究^{(13) (18) (19)}、軟骨組織や微小血管ネットワークの再生に関する研究^{(10) (15)}、及び腫瘍細胞を不可逆的電気穿孔法により壊死させるための治療法に関する研究⁽¹⁶⁾が報告されており、対象はさまざま方法も実験から数値解析まで多岐にわたる。生物流体の論文では、気胸における肺動脈での患者別血流解析といった臨床的価値の高い研究⁽⁸⁾の一方で、ショウジョウバエのホバリングの動的安定性を扱ったマイクロエアビークルの開発につながる工学的意義の大きい研究⁽⁹⁾が選ばれていることが興味深い。計測関連では、骨組織内部の残留応力分布をシンクロトロンにより明らかにした研究⁽¹¹⁾と、複数の表面筋電シグナルを使って前腕の筋活動分布を測定する筋電図CT法の開発研究⁽²¹⁾が選ばれており、いずれも生体組織内における複雑な力学場を同定する研究となっている。整形外科関連では、健常と骨粗鬆症での脊椎における骨梁構造形態の違いを明らかにした研究⁽¹²⁾、骨粗鬆症脊椎を固定するスクリューの破損リスク評価に関する研究⁽¹⁷⁾と、いずれも計算力学技術を駆使して骨粗鬆症の診断や治療に資する研究となっている。運動学関連では、水泳用大腿義足に対する膝関節運動の効果を明らかにするといった障害者スポーツに貢献する研究⁽²⁰⁾が選ばれている。

Paper of the Yearと合わせて、優れたグラフィックスを含む論文がGraphics of the Yearとして年1~2件選ばれ表彰されている。優れた図表や写真は論文の成果をわかり易く表現するだけでなく、読者の感性に響いて大きな興味を喚起し、研究者や学生を当該分野へ誘うことも少なくはない。研究成果を専門家ではない一般の人々に説明する際にも優れた図表や写真は効果的であり、研究成果がインターネットを通じて公表される昨今、その重要性は増している。また、優れた論文は魅力のあるグラフィックスを含むことが多く、トップ論文のグラフィックスが著名な学術雑誌の表紙を飾ることも多い。実際、JBSEではPaper of the YearとGraphics of the Yearが別々の基準で審査されているが、両方を受賞する論文も少なくない。Graphics of the Yearの中から幾つかを図3に紹介する。

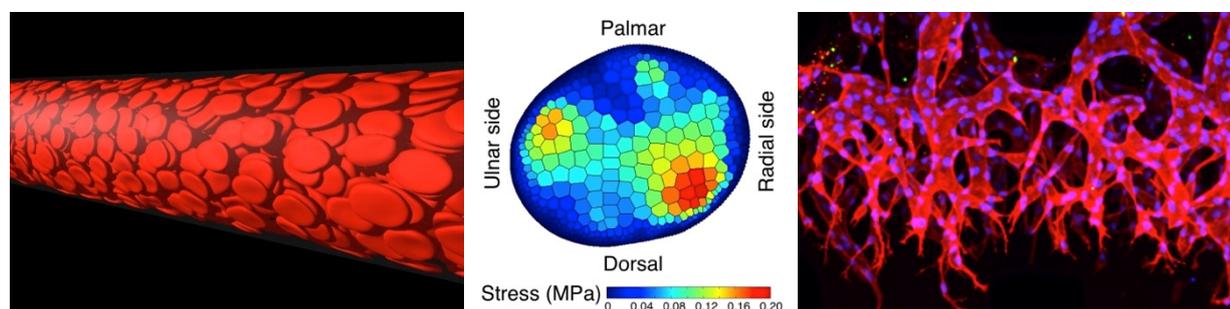


図3 JBSE Graphics of the Year 論文における代表的なグラフィックスの例：(左)粒子法を用いた微小血管内における赤血球の流れのシミュレーション⁽²²⁾、(中央)筋電図CT法により得られたグリップ時の前腕断面における応力分布図⁽²¹⁾、(右)微小流れデバイス内に形成された微小血管ネットワークとそれに関連する細胞の蛍光顕微鏡画像⁽¹⁵⁾

図3左は、微小血管内における赤血球流れのシミュレーションの一コマである⁽²²⁾。直径50 μ mの微小血管内にヘマトクリット値45%で約1000個の赤血球が流れる大規模シミュレーションが約600万個の粒子による粒子法で解かれており、赤血球が変形しながら滑らかに流れていく現象が再現されている。大規模計算により可能になった精密な映像表現は大きなインパクトを与えた。図3中央は筋電図CT法により得られたグリップ時の前腕断面における応力分布を色表示したものである⁽²¹⁾。従来の筋電図では得られなかった深部の筋応力が、新たに提案された筋電図CT法によりグラフィカルに表示される点が画期的で、画像表現も分かり易い。図3右は微小流れデバイス内に形成された微小血管ネットワークとそれに関連する細胞の蛍光顕微鏡画像である⁽¹⁵⁾。内皮細胞や間葉系幹細胞等の細胞がどのように微小血管網の形成に影響したかがこれらの蛍光画像により明らかにされており、見事に形成された微小血管網の形態が実験技術の高さを示している。

部門ジャーナルであるJBSEの10年を中心に、Paper of the Year や Graphics of the Year の論文について、その一部を紹介した。これらの優れた研究に共通して見られる点の一つは、複雑な生体にはたらく力学場を明らかにするだけでなく、力学場に反応して生体がどのように変化（変形、形態変化、再構築、成長、運動等）するかを調べ、力学場と生体の変化との相互作用を明らかにしようとしていることである。さまざまな力学現象を扱う機械工学の中にあって、バイオエンジニアリング研究のアイデンティティは力学場に対する生物の能動的な反応現象を扱う点にあり、それを追求することが再生医学における課題解決や、革新的な医療機器の開発にもつながっていくに違いない。

[坂本 二郎 金沢大学]

参考文献

- (1) 一般社団法人 日本医工ものづくりコモンズ
<http://www.ikou-commons.com/> (参照日2017年4月18日)
- (2) 産総研コンソーシアム 医療機器レギュラトリーサイエンス研究会
<http://rs-seminar.cons.aist.go.jp> (参照日2017年4月18日)
- (3) Asian-Pacific Association for Biomechanics
<https://www.jsme.or.jp/bio/apbiomech/> (参照日2017年4月18日)
- (4) 谷下一夫, 日本のものつくりを医療に生かす時代に, バイオエンジニアリング部門報, No. 39(2010), pp. 7-9.
- (5) Journal of Biomechanical Engineering, The American Society of Mechanical Engineers
<http://biomechanical.asmedigitalcollection.asme.org/journal.aspx> (参照日2017年4月18日)
- (6) Okeyo, D. O., et al., Mechanical regulation of actin network dynamics in migrating cells, Journal of Biomechanical Science and Engineering, Vol.5, No.3(2010), pp.186-207.
- (7) Ohashi, T., et al., Biomechanical contribution of cytoskeletal structures to traction forces in cultured smooth muscle cells, Journal of Biomechanical Science and Engineering, Vol.5, No.3(2010), pp.262-271.
- (8) Christophe, J., et al., Patient-specific morphological and blood flow analysis of pulmonary artery in the case of severe deformations of the lung due to pneumothorax, Journal of Biomechanical Science and Engineering, Vol.5, No.5(2010), pp.485-498.
- (9) Gao, N. and Liu, H., Passive dynamic stability of a hovering fruit fly: a comparison between linear and nonlinear methods, Journal of Biomechanical Science and Engineering, Vol.5, No.5(2010), pp.591-602.
- (10) Nansai, R., et al., Surface morphology and stiffness of cartilage-like tissue repaired with a scaffold-free tissue engineered construct, Journal of Biomechanical Science and Engineering, Vol.6, No.1(2011), pp.40-48.
- (11) Yamada, S., et al., Residual stress distribution in the bovine femoral diaphysis measured by synchrotron, Journal of Biomechanical Science and Engineering, Vol.6, No.2(2011), pp.114-124.
- (12) Yoshiwara, Y., et al., Numerical study on the morphology and mechanical role of healthy and osteoporotic vertebral trabecular bone, Journal of Biomechanical Science and Engineering, Vol.6, No.4(2011), pp.270-285.
- (13) Nagayama, K., et al., Dynamic changes of traction force at focal adhesions during macroscopic cell stretching using an elastic micropillar substrate: tensional homeostasis of aortic smooth muscle cells, Journal of Biomechanical Science and Engineering, Vol.7, No.2(2012), pp.130-140.
- (14) Mitsuoka, Y., et al., High time resolution time-lapse imaging reveals continuous existence and rotation of stress fibers under cyclic stretch in HUVEC, Journal of Biomechanical Science and Engineering, Vol.7, No.2(2012), pp.188-198.
- (15) Yamamoto, K., et al., The stabilization effect of mesenchymal stem cells on the formation of microvascular networks in a microfluidic device, Journal of Biomechanical Science and Engineering, Vol.8, No.2(2013), pp.114-128.
- (16) Kurata, K., et al., Experimental and analytical studies on contact irreversible electroporation for

- superficial tumor treatment, *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, Vol.8, No.4(2013), pp.306-318.
- (17) Tawara, D., et al., Nonlinear mechanical analysis of posterior spinal instrumentation for osteoporotic vertebra: effects of mechanical properties of the rod on the failure risks around the screw, *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, Vol.9, No.2(2014), pp.13-00163.
- (18) Kida, N. and Adachi, T., Numerical analysis of arterial contraction regulated by smooth muscle stretch and intracellular calcium ion concentration, *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, Vol.9, No.1(2014), pp.13-00262.
- (19) Sato, K., et al., Strain magnitude dependent intracellular calcium signaling response to uniaxial stretch in osteoblastic cells, *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, Vol.10, No.3(2015), pp.15-00242.
- (20) Nakashima, M., et al., Effect of knee joint motion for the transfemoral prosthesis in swimming, *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, Vol.10, No.3(2015), pp.15-00375.
- (21) Keeratihattayakorn, S., et al., Muscle stress generated in the forearm during hand gripping, *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, Vol.10, No.3(2015), pp.15-00423.
- (22) Alizadehard, D., et al., Parallel simulation of cellular flow in microvessels using a particle method, *Journal of Biomechanical Science and Engineering*, Vol.7, No.1(2012), pp.57-71.