



# DYNAMICS



機械力学・計測制御部門ニュースNo.65

Mar 18, 2020

## 走り幅跳び用スポーツ義足の設計開発

首都大学東京 システムデザイン学部 長谷和徳

### 1. はじめに

東京オリンピック・パラリンピックの開催が近づいており、障害者スポーツが注目されつつある。障害者スポーツの場合、競技成績向上のためには身体的ハンディを専用の道具など工学技術で補うことが重要となる。スポーツ用義足においては、弾性エネルギーの蓄積・放出機能が競技成績に大きく影響すると考えられている。しかしながら、義足の運動性能は義足自体の機械的構造だけでなく、義足利用選手の身体能力や運動フォームにも関係するため、義足だけに閉じた設計や評価では性能向上を図るのは難しい。すなわち、利用義足に応じた最適な運動フォームがあるのと同時に、選手の身体特性や運動フォームに応じた最適な義足形状があるはずである。我々は、下肢切断者による走り幅跳び競技の踏切動作に特化し、義足形状と運動フォームの両者を同時に最適化するコンピュータシミュレーション技術の開発研究に取り組んでいる。本稿ではシミュレーションモデルの概要と、シミュレーションによって得られた設計パラメータから実際の義足試作品を製作した過程について紹介する（本原稿は文献[1][2]を加筆修正したものである）。

### 2. モデル化とシミュレーション

#### 2.1 身体力学モデル

身体力学モデルとして、特定の下肢切断選手を想定し、その選手に特化したモデルを構築した。具体的には身長1.67m、体重60kg（義足を含む）、年齢33歳（データ計測時）、左脚は大腿中央部で切断され、過去のパラリンピック出場経験を有する男子選手をモデル化対象とし、身体構造を右大腿、右下腿、右足部、左大腿、腰部、胸部（頭部を含む）、左右上腕、左右前腕（手部を含む）の合計10リンクの2次元剛体リンクモデルで表すようにした。各身体節の寸法、質量、慣性モーメントなどの力学パラメータは対象者の身体寸法と体質量に基づき、回帰的に求めた。関節部には受動抵抗として非線形の弾性特性と線形の粘性特性を考慮した。左脚は大腿部で切断されているため、左膝関節も義足（膝継手）となる。

筋活動に対応する駆動トルクを身体力学モデルの関節部に作用させることで身体運動を生成できるようにした。関節駆動トルクには筋の力学特性である筋長や

収縮速度に依存した力発揮特性や発揮筋力の上限值などを考慮した。上位中枢から筋への運動指令に相当する状態量はスプライン関数と制御工学におけるPD（proportional-differential）制御の考え方にに基づき、パラメトリックに変更・調整できるようにした。

#### 2.2 義足モデル

スポーツ義足は炭素繊維強化プラスチック（carbon fiber reinforced plastic, CFRP）でできており、プリプレグと呼ばれるシート状の強化プラスチック材を成型型の上に積層し、加熱硬化させることで成形する。スポーツ義足のような形状や、その弾性変形特性をモデル化するためには有限要素解析手法を用いるのが一般的であろう。しかし、義足の変形状態は運動の状況によって変わり、地面との接触問題や義足利用競技者の身体力学モデルとの連成を考慮する必要があり、さらに形状の最適化を行おうとすると有限要素解析モデルは計算コストが問題となる。そのため、本研究では薄板ばね設計理論[3]を用いた。この設計理論によれば、薄板状のばねを想定し、複雑な形状を直線や円弧などの単純な複数の形状要素の複合体として表現することで、簡便に弾性変形特性を表現できる。本研究ではスポーツ義足の基本形状を2次元平面内の6個の円弧要素の直列接続構造として表した[4]。図1にその概要を示す。この設計理論では、ばねとなる義足形状は厚さを無視した軸線形状として表され、板厚や板幅は断面二次モーメントに基づく曲げ剛性として考慮する。個々に分割した義足形状要素内では断面二次モーメントなどの材料特性は均一と仮定する。円弧要素間の接続は形状の連続性を仮定して定めた。また、直線形状は曲率ゼロの円弧として表現した。さらに、慣性モーメントなどの動特性は別途変形を仮定しない形状モデルにより求めた。義足全体の形状と断面形状特性は以下のパラメータにより定めることができるとし、これらを設計パラメータとした。

設計パラメータ

$$= (\text{円弧長}, \text{曲率半径}, \text{板厚}) \times 6\text{個} \\ + \text{取り付け位置}, \text{角度}$$

理論的には板幅もそれぞれの形状要素ごとに定めることができるが、ここでは全要素について同一とし、この値は固定とした。運動生成シミュレーションにおいては、さらに荷重負荷による義足の変形や地面側の弾性変形をも考慮した義足と地面との接触モデルを付加した。

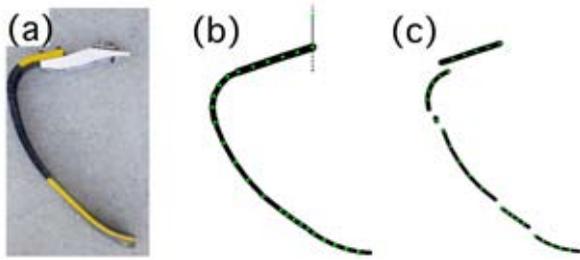


図1 薄板ばね理論によるスポーツ義足のモデリング。  
 (a)参照したスポーツ義足(Össur社, Cheetah Xtreme).  
 (b)モデル化義足形状.  
 (c)義足を構成する6個の円弧(直線)要素を分割して示した模式図.

### 2.3 最適化シミュレーション

本シミュレーションにおいて実現するのは、走り幅跳び競技における0.3秒間の踏切動作のみとした。義足形状と踏切動作を同時に最適化するために、義足形状の設計パラメータ(パラメータ数20)と身体の運動制御のパラメータ(パラメータ数89)の両者を最適化の探索パラメータとし、与えられた探索パラメータに基づいた跳躍運動を繰り返し生成し、その運動生成結果を評価する評価関数に従って最適化計算を行うようにした。最適化計算における評価関数としては、まず跳躍距離を定め、これを最大化するようにした。シミュレーションでは踏切前後の短時間の運動のみ再現するため、シミュレーション期間終了後の身体運動は身体重心に位置する質点の放物運動で表されると仮定し、その水平方向移動距離により跳躍距離を求めた。この跳躍距離の最大化が主たる最適化の評価関数となるが、補助的に筋負担の低減を表す関節駆動トルクの時間積分なども付加した。さらに身体ならびに義足の衝撃耐性を表すために義足の最大曲げモーメントや最大地面反力が所定の上限值を超えた場合、評価関数にペナルティを与えるようにした。最適化計算の初期条件として、義足の形状パラメータを図1に示した既存の義足を参照して定め、運動変化がほぼ収束するまで100,000回の繰り返し計算を行った。最適化の計算手法としては本研究では遺伝的アルゴリズムを用いた。

### 2.4 シミュレーション結果

図2にシミュレーションによって得られた最適化された跳躍動作(図2(a))と義足形状(図2(b))の概要を示す。最適化の初期段階においては妥当な跳躍動作を生成することはできなかったが、繰り返し計算を進めるにしたがって跳躍距離は伸び、最終的には現行の世界記録を上回る跳躍距離7メートル超の跳躍動作を実現することができた。最適化計算により、右腕を大きく振り上げるような運動フォームを獲得し、義足部分は図に示すように先端部分が直線的あるいは逆の曲率を持つ形状になった。このような先端形状の義足では、地面との接触により義足が変形しても地面反力の作用点は比較的前方に位置できるようになり、また義足離地時直前まで大きな地面反力が作用するようになっていた(図2(c))。

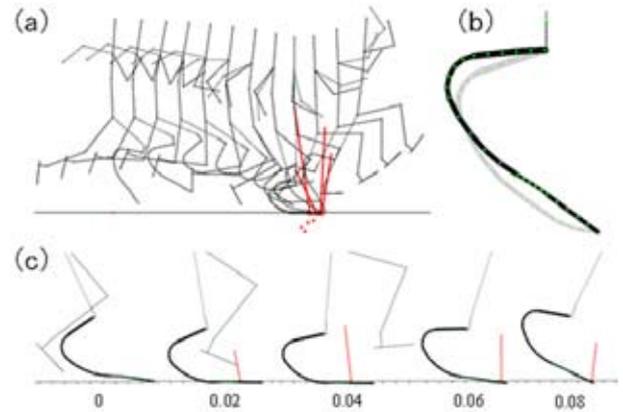


図2 シミュレーション結果。  
 (a)最適跳躍動作. 図中の赤線は地面反力ベクトルを表す。  
 (b)最適義足形状. 背景にある半透明の義足形状が最適化計算の初期条件の形状(既存義足の模擬).  
 (c)踏切動作時の義足の変形と地面反力の様子. 図中の数値は接地のタイミングからの経過時間(秒)を表す.

## 3. 提案スポーツ義足の試作

### 3.1 シミュレーション結果の検討

最適化シミュレーションによって得られた義足形状に基づき、実際の義足の製作を検討した。まず、シミュレーション結果の妥当性、あるいは実現可能性について、改めて検討した。

義足全体の形状について、先端部分が直線的な形状となっている提案義足形状では、踏切動作後半の蹴り出しの力が通常(最適化初期形状)の義足と比較して大きくなり、それが跳躍距離の増大に結び付くと考えられた。すなわち、走り幅跳び競技の踏切動作に特化した特性を持つ義足形状が得られたと判断した。一方で、先端部分が直線的になっているのは助走期間においては必ずしも走りやすい形状ではないと考えられた。我々は別途ランニング動作(助走)を加味した走り幅跳び用のスポーツ義足の最適化シミュレーション[5]にも取り組んでいるが、踏切動作だけでなく、助走を加味した最適化シミュレーションを実施すると現状では既存義足の形状と大きくは変わらないという結果が得られている。そのため、ここでは目的を絞り「尖った」設計仕様にするとの方針のもと、踏切動作に特化した本シミュレーションによって得られた義足の先端部分形状特性を基本的に忠実に再現した義足を製作することとした。

### 3.2 設計図

次いで、具体的な設計図面を作成することを検討した。実際の義足製作のためには義足の形状を表す成型型をまず製作し、その型にCFRPのプリプレグ材を積層していく。そのため、成型型が製作しやすいような設計寸法を導出する必要がある。シミュレーションからは義足の厚さの情報も得られるが、6個の形状要素ごとに段階的、不連続に厚さが変化しており、このままの形状だと応力集中が生じてしまう(ただし、モデルにおいては不連続に厚さが変化するところでの応力集中は生じない)。また、計算の概念として義足の基本形状は厚さを無視した梁状の材料の軸線として表しているのに対して、成型型は義足の厚さを考慮したうえで義足形状の内側の形状を基準にする必要がある。以上の点を考慮し、先端要素に向かうにつれて、厚さが一定の割合で減少す

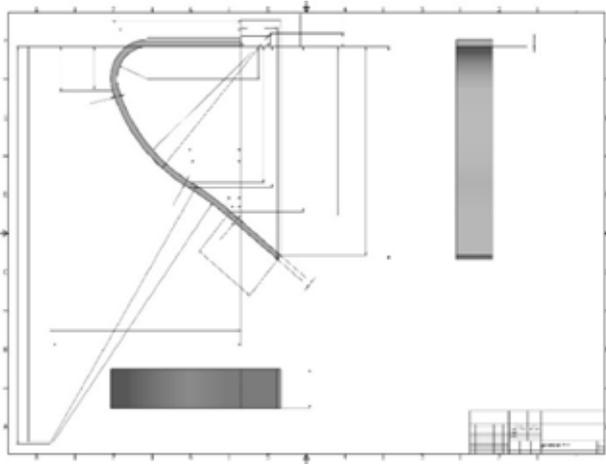


図3 提案スポーツ義足の設計図. 図面中の寸法の数値については削除して表示している.

るように義足の形状を人為的に定めた. 合わせてシミュレーション上では円弧になっているものの, 曲率半径が大きく, 事実上直線と見なせる義足要素部分については直線で表現するようにした. さらに設計図を描きやすく, また義足の成形型の設計のことも考慮した寸法取りを行った. これらの処理を行い, 作成した義足設計図面を図3に示す.

### 3.3 弾性特性と積層設計

CFRPによるスポーツ義足製作において, 所定の強度や弾性変形特性を実現するためには, どのようなプリプレグ材をどのように積層していくかという積層設計が重要となる. よって, 義足全体の弾性変形特性を把握するため, 最適化シミュレーションにより得られた義足形状モデルに対して, コンピュータ上での仮想的な弾性変形試験を実施した. すなわち, 義足モデルの根元を固定して, 先端部に水平方向と鉛直方向の外力(荷重)を与え, それぞれ場合の義足先端部の水平方向と鉛直方向の2次元的な変形量(たわみ)を求めた. その結果, 得られた変形には水平方向に力に対して垂直方向にも変位が生じるような干渉性が見られた. また, 力と変位量との関係は非線形性を有していた. このような弾性変形特性を実現するようなプリプレグ材の選定と積層設計を行った. 実際にはこれらの材料選定, 積層設計についてはCFRP製品製作の専門メーカー(株式会社UCHIDA)に依頼した.



図4 試作したスポーツ義足

### 3.4 試作

図面情報と前述の仮想弾性試験結果に基づき, 実際の義足製作についても同様に専門メーカーに依頼した. 製作したスポーツ義足を図4に示す. 製作した義足の形状は設計図ならびにシミュレーション結果に基づいたものと一致していた.

## 4. おわりに

本研究ではコンピュータシミュレーションにより走り幅跳び競技に特化したスポーツ義足形状を求めた. この形状情報に基づき設計図を作成し, 実際に提案義足の試作を行った. 肝心の試作した義足の性能評価については, 現在, モデル化対象競技者に依頼中の段階であり, 本原稿執筆の段階では残念ながら評価結果を確認できていない. 東京パラリンピックの場での利用の可能性については, 極めて厳しいと言わざるを得ないが, 最後まで諦めることなく, 取り組んでいきたい.

最後に本研究の波及効果的な観点について言及しておく. 跳躍動作と義足形状の最適化シミュレーションから実際の義足を製作する過程において, 設計図の詳細部分で人為的に寸法などを決めるところがあるが, 基本的形状についてはシミュレーションにより自動的に定めることができる. また, 本研究では特定の競技者を想定し, その個人の体格条件に応じた義足形状を求めたが, 身体モデルを他の競技者, あるいは標準的な体格条件のものにすれば, 同様にそれらに応じた義足形状を求められる. したがって, このようなシミュレーションモデル構築から義足製作の一連の流れをシミュレーションモデルによるスポーツ義足のオーダーメイド製作システムとして確立できると考えている. そのためには, できるだけ人為的なデータ処理の工程を減らし, シミュレーションモデル構築から設計図面作成までを自動的, あるいは半自動的に実現できるようにする必要がある. 今回のシミュレーションでは材料特性は均一・線形とし, プリプレグ材の積層設計や材料選定に関する直接的な情報提供はできず, 仮想的弾性変形試験の結果に基づき専門メーカーに積層設計を依頼した. このような積層設計過程についても何らかシステム化する必要がある.

さらに, 現状では走り幅跳びの踏切動作に特化しているが, 義足歩行や義足ランニング動作をシミュレーションにより実現すれば, それらの運動を高効率化する最適義足の設計案の提供が期待できる. また, 本研究の基本コンセプトである身体運動と関連用具との同時最適化問題の考え方は, シューズ設計などへの応用も期待できよう. これらの展開も今後検討していく予定である.

## 参考文献

- [1] 長谷和徳, JSSE MAGAZINE (日本ばね学会会報), 576, (2019), pp.4-5.
- [2] 長谷和徳, 外川博都, 小林訓史, 大日方五郎, 第40回バイオメカニズム学術講演会予稿集, (2019), pp.50-53.
- [3] 小口宗三郎, ばね論文集, 1976, 21, (1976), pp.29-32.
- [4] Hase, K., Togawa, H., Kobayashi, S., Obinata, G., Journal of Biomechanical Science and Engineering, (2019), DOI: 10.1299/jbse.19-00446 (早期公開).
- [5] Togawa, H. Hase, K., Obinata, G., Proc. XXVII Congress of the International Society of Biomechanics, (2019), p.1098

# 機械力学・計測制御＝明日のために役立つ学問



金子成彦  
(早稲田大学教授, 東京大学名誉教授)

この度は、「後輩へのメッセージ」というコラムへの執筆の機会を与えて頂き、有り難うございました。機械力学・計測制御部門での活動を中心に学生時代から今日までを振り返ってみました。ご参考になれば幸いです。

## □思い出のブロンズ像

日本機械学会ではかつては、通常総会講演会と全国大会が別々に企画されていましたが、年次大会での講演会に一本化された経緯をシニアの方はご存知かと思えます。全国大会が秋に開催されていた時代に、富山大学での第56回全国大会で修士論文の研究を発表したのが小生の日本機械学会デビューでした。講演会場の教室は意外に広く、聴衆も多く、完成度が高くはない修士論文を、大先生や企業の振動のプロの方々の前で発表するのは恐怖以外の何物でもなく、逃げ帰りた思いに駆られたことを思い出します。当時は、趣向を凝らした参加記念品が用意されていて、いまでも大切に残しています。



第56回全国大会(富山大学)記念ブロンズ像

学会での講演を終えた後で黒部立山アルペンルートを抜けて長野県の大町から帰京したことが昨日の様に思い出されます。学生時代に東大ワングルに所属した小生は、色々な山に登りましたが、あの時の紅葉の美しさは苦行を終えた後のご褒美のようでした。

あれから42年、長かったようですが、あっという間でした。あれもやりたかった、これもやり残したということだらけで、いまだに宿題が残っている感じがします。

## □駆け出しの頃

小生が学生だった頃、振動分野には沢山の専門家がいらっしゃいました。東大内を見渡しても、機械工学科だけでなく、船舶工学科、航空工学科、原子力工学科、土木工学科、建築学科、精密機械工学科、計数工学科、生産技術研究所には振動、音響を専門とされている先生方がおられました。もちろん日本機械学会には、大学、企

業の専門家がたくさんおられ、多士済々で、小生の出る幕はないのではないかと思います。

大学院時代の指導教員は葉山眞治先生で、指導方針は、「成果を急いでではない」。自分で考えることを習慣づけることと基礎基盤、原理原則を重視した正統派の指導をして頂きました。伊豆の熱川温泉で非線形振動研究会が開催されたときに先生が詠まれた川柳が耳に残っています。

「非線形 シンボは幾たび重ねども なお余りあるトラブルの元」

先生はこのころ、基礎理論の産業応用を強く意識されていたものと拝察します。

小生は、全国の高等学校に理数科が設置された昭和44年に山口高校に入学した理数科第1期生で、天文部で活動して高校時代を過ごしました。もともと数理的な取り扱いに興味がありましたが、クラス担任の岡崎壽徳先生が九州大学数学科出身で厳密な数学を授けてくださったこともあり、自然現象を観察し、そこから一般的な原理を抽出すること(ある種のロマン)に関心がありました。当時の葉山研究室では、配管内の流体振動の研究がメインテーマで、様々な数理的な手法を応用して、往復動圧縮機によって供給される流体が共振した時の配管内圧力脈動振幅を精度よく評価するための研究が行われていました。

大学院時代に出会ったテーマが、液体内蔵回転体の自励振動です。この問題は、当時、斎藤忍さん(IHI, 元日本機械学会会長)や加藤稔さん(当時神戸製鋼所, 現在コベルコ科研)が取り組んでおられましたが、回転体内部の流体の動きや波動の可視化に成功し、液体の粘性の影響を考慮した理論によって発振限界を求めることができました。(日本機械学会 奨励賞[1])

ここから、流体関連振動との長い付き合いが始まります。葉山研究室では、配管内の流体振動の他にも、震災時に大型石油タンクからの溢流のリスクを避けるためのスロッシングの研究とスロッシングの防振技術の研究が行われていました。

## □留学時代

鹿島学術振興財団の支援を受けて、31歳の時にカナダのモントリオールにあるマギル大学に留学する機会を与えて頂きました。幸いにも、当時の受け入れ教員のパイドウシス教授は、筆者をマギル大学機械工学科客員助教授として受け入れて下さいました。これによって、学科内の他の先生方や北米やヨーロッパの著名な先生方との交流を加速させることができました。学科主任をされて

いたパイドウシス先生は、お忙しい中、文献でしか名前を知らない著名な先生に紹介状を書いて下さいました。訪問を受け入れてくださった研究機関に押しかけてセミナーを企画して頂き、当方と訪問先の研究成果についての議論をさせて頂く機会を得ました。道場破りのような気持ちでした。一連の訪問を通じて、海外では日本と比べて実験設備だけでなくテクニシャンも充実していることに感心し、実験だけでは勝てないことを悟りました。

有意義な体験を積むことができた留学でしたが、とりわけ、パイドウシス研究室の学生さんと過ごした時間は貴重なものでした。当時卒業生だったのが、ジュキムレイティ先生（現在、エコールポリテクニクモントリオール大学教授）で、博士課程修了後に来日され、三菱重工業高砂研究所に勤務、その後、東京大学助手、神戸大学講師をされました。母国語のスイヒリ語はもちろん、英語、フランス語、日本語、大阪弁まで操ることができる語学の達人です。ずっと後になって、和文で書かれた流体関連振動の教科書[2]を英語に翻訳し出版[3]する際に、大活躍してくださいました。このような、終生にわたる知己を得る切っ掛けとなったカナダ留学は、研究者人生の序盤を彩るエポックです。

#### □総合試験所時代

カナダ留学から戻ると、本郷キャンパスの隣の弥生キャンパス内にあった東京大学工学部附属総合試験所で3年間を過ごすことになりました。ここでは、原島博先生（電気）、安藤繁先生（計数）、大野秀敏先生（建築）、関村直人先生（原子力）、鈴木俊夫先生（材料）、幸田清一郎先生（化学）等の先生方と一緒に時を過ごしました。とりわけ、機械工学分野の振動制御の手法を橋梁に関係した振動の制御に適用されようとしていた藤野陽三先生（土木）との出会いは、基礎重視だった筆者を応用に向けた切っ掛けとなりました。ここで行った、スロッシングダンパー、斜張橋ケーブルの制振の研究（日本機械学会 論文賞[4]）は設計に役立つ形で成果となりました。

総合試験所の時代には、所主任も経験させて頂き、工学部の運営、概算要求など、マネジメント経験もしました。ただし、そのあとで、工学部2号館再開発、法人化が待っていようとは想像できませんでした。研究者として過ごした中盤の時間帯では、工学全般に対する俯瞰的な見方を与えてくれる貴重な体験を積むことができました。

#### □研究スタイルの転換点を迎えた時代

40歳台になって、研究以外の業務で忙しくなり、研究、教育、マネジメントのバランスに悩みました。科研費中心だった基礎研究は、大型研究プロジェクトにけん引される形の研究スタイルに変わって行きました。それでも基礎研究に対するこだわりは持ち続けていました。

基礎研究では、先人のやり残したテーマに改良を加えることが中心でしたが、新たな発見をし、有益な知見を加えた時には、山頂のケルンに石を載せた時のような感動が残りました。また、少ない予算で工夫に工夫を重ね、手作りの実験装置が完成し、目論見通り動いた時の喜びは、今でも忘れられません。

#### □学科や部門の中心となって活動した時代

40代後半は、学科の運営に関係する大きな仕事、工学

部2号館再開発、学科主任、21世紀COE、GCOE、寄付講座（東京ガス ホロニックエネルギー講座）で忙しい日々を送りました。このころから、機械と空調などの建築設備やエネルギーマネジメントとの接点に興味を沸かしました。また、日本機械学会では、機械力学・計測制御部門の部門長、アジア太平洋振動会議議長、D&D実行委員長を拝命し、将来に向けた部門の研究活動のフィールドとして福祉工学シンポジウムを立ち上げました。なお、機械力学・計測制御部門での活動については、部門史に記述しましたので、そちらをご覧ください。

#### □工学教育に熱を上げた時代

50歳になるころに力を入れたのが工学教育です。今では当たり前のように取り入れられているPBLを導入しました。最初は学部レベル、その後は21世紀COE、GCOE、GMSIで博士課程学生を対象に実施しました。

（日本機械学会 教育賞[5]、設計工学会 The Most Interesting Reading賞[6]）

当時PBL教育の導入が進んでいた、アメリカのスタンフォード大学、ハーベイマッド大学、メリーランド大学、スウェーデンのKTH、デンマークのオールボー大学に視察旅行をして、クラスルームデザインを始め、実施にあたってのポイントを学びました[7]。

#### □学会の中心となって活動した時代

50代後半には、伝統ある日本機械学会の会長に選出させて頂きました。筆頭副会長に決まってから1か月も経たない内に東日本大震災が発生し、当時の松本会長、佐藤副会長と相談し、震災の教訓を生かすべく調査提言委員会[8]を立ち上げることを決めて、活動を開始しました。活動方針を立てるにあたり、機械力学・計測制御部門の耐震委員会の皆様が、大地震発生時に被害調査をされていたスキームを参考にさせて頂きました。ここでも、部門の皆様に支えられています。

#### □再び研究が中心となった時代

60代になり、ようやく研究中心に戻る事ができました。大勢の研究者の皆様に支えられて、次の3つの研究プロジェクトを推進することが出来ました。

- ① SIP、革新的燃焼技術（日本燃焼学会 技術賞[9]）
- ② JST、レジリエンスを考慮した分散エネルギー機器導入計画（エネルギー・資源学会 論文賞[10]）
- ③ 国土交通省、ドライバー体調モニタリング

プロジェクトの目標が達成されたことを喜んでいる裏側では、産学連携の難しさ、プロジェクトの開始から軌道に乗るまでの生みの苦しみ、プロジェクト終了後の継続や関係者の将来など、悩むことも多い日々でした。

#### □教育中心の日々

さて、65歳となり昨年3月末に東京大学を停年退職しました。3月15日には、「流体関連振動から広がる、社会に役立つもの・こと・しくみ作り」と題して最終講義を行い、これまで歩んだ道を振り返りました[11]。昨年4月からは、これまでの経験を教育に生かしたいと考え、早稲田大学理工学術院の国際理工学センターで英語での講義とドライバー体調モニタリングの研究を中心に活動しております。

また、昨年11月には工学基盤に関する調査のためオーストラリアの大学を訪問しました。この時の訪問で最も

印象に残った言葉は、シドニー大学法学部入口周辺の看板に書かれていた下記の言葉です。

The law, like the traveler, must be ready for the tomorrow.

(法律は、旅行者と同様に、明日の準備ができていなければなりません。)

法律は、目下のもめ事を収めるために使われるものと思っていましたが、違いました。次の時代に備えた法整備の研究を怠りなく進めようという姿勢を感じました。機械力学・計測制御分野も、先人がとり組まれたテーマの残された課題に取り組むのではなく、明日のために役立つ学問となるべく、新しい要素を求める学問に脱皮して頂きたいと思います。

世の中に役立つという視点で小生が気になっているのは、後付け技術の開発と普及促進です。最近、利便性や安全性を増した自動車や住宅が世に出るようになってきました。法整備の議論も進んでいます。しかし、スマート化を促進するには、新車や新築の住宅を対象とするだけでは不十分で、既存の自動車や住み慣れた住宅をより便利にできないものかという声に応えることにももっと力を入れるべきと考えます。特に、機械分野におけるレトロフィットは建築分野と比較して法整備やインセンティブの導入が遅れており、加速すべきテーマがたくさんあると感じています。

日本機械学会会長時代に米国機械学会 (ASME) 事務局を訪問しました。ASMEでは、新興国での問題解決に必要とされる道具や技術を海外から持ち込むのではなく、与えられた環境や条件のもとで道具や技術を使い続けることができるような適正技術 (Appropriate Technology) で問題解決するプロジェクトに力を入れていると伺いました。とりわけ、少子高齢化のスピードがものすごく速い日本に目下必要な適正技術は、高齢者が購入可能で、使い続けることが可能な後付け製品をマーケットに送り出すことに役立つ技術のことであると思います。

最近、教育に関して感じていることを以下に纏めます。

- (1) 基礎基盤は大切だが、現実求められている問題を直視して問題設定し、問題解決に生かしてこそ意味がある。
- (2) ソフトの重要性に気づき、ソフトの進化に気を配り、知識のメンテナンスを怠るな。ソフトは計算ツールではなく、プレゼンを含めたコミュニケーションツールとなっている。
- (3) データの管理方法と活用方法を常に考えよ。使える形でデータベースを整備することが前提で、これがあって初めてデータ社会が成り立つ。
- (4) デジタルトランスフォーメーションに資する工学の学問体系を構築せよ。これができない分野は技術伝承がうまくゆかなくなる。

機械工学は、力学と熱学を基盤とした設計のための学問です。ただし、流体と固体との境界での取り扱いなどに代表されるように、現実には発生する複雑な問題に適用する時には、信頼される精度で予測できるまでには至っていない技術領域が大半です。今後は、実験データや詳細解析を活用することで課題を解決し、精度保証付きで解析結果を提供し、コンセンサスの形成に寄与できるようにしなければなりません。また、リアルタイム制御に貢献できるような計算法の改善も大切です。IoTやサイバーフィジカルといっても、モノの設計に関係する考え方の基盤がしっかりできていないと技術者以外のステークホルダーからの信頼を得ることは困難です。

拙文でしたが、日本機械学会機械力学・計測制御部門をホームグラウンドとして活躍した一教員の経験談を綴りました。後輩諸君の参考になれば幸いです。

最後になりましたが、日本機械学会で学生時代からお世話になった多くの先生方、広い視野と高い見識を持つように指導して下さった多くの企業のエンジニアの皆様、活動を支えて下さった事務局の皆様、研究室で支援していただいた教職員の皆様、そして研究成果を上げてくれた学生諸君に感謝いたします。

## 参考文献

- [1]日本機械学会 奨励賞、「液体で部分的に満たされた中空回転軸系の自励振動に関する研究」(昭和61年4月2日)
- [2]事例に学ぶ流体関連振動(第3版), 技報堂出版(平成30年11月1日)
- [3]Flow-Induced Vibrations: Classifications and Lessons from Practical Experiences (2nd version), Elsevier, 2013
- [4]日本機械学会 論文賞,  
「振動モードの切替えによる斜張橋斜材ケーブルの制振方法に関する研究」(平成14年4月8日)
- [5]日本機械学会 教育賞,  
「小型バイオマスエネルギー変換システムを題材としたPBL方式による計測制御教育」(平成20年4月17日)
- [6]設計工学会 The Most Interesting Reading賞、「東京大学におけるPBL教育の一事例」(平成15年5月23日)
- [7]PBL(問題設定解決型プログラム)による先導的起業家育成システムに関するモデル的実証研究報告書  
(平成11年度)NEDO委託事業
- [8]日本機械学会東日本大震災対応記録 <https://www.jsme.or.jp/shinsai3.11/>
- [9]日本燃焼学会 技術賞「SIP革新的燃焼技術への貢献」(令和1年11月21日)
- [10]エネルギー・資源学会 第15回論文賞(令和1年8月5日)  
経済性・環境性・レジリエンス性を考慮した分散型電源機器導入量決定のための多目的最適化ツールの開発  
エネルギー・資源学会論文誌, Vol.39, No.6, pp.6-18, 2018 [https://doi.org/10.24778/jjser.39.6\\_6](https://doi.org/10.24778/jjser.39.6_6)
- [11]金子成彦 東京大学最終講義資料,(平成31年3月15日) <http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/knock/ob/>

# ローマ第三大学 在外研究報告

埼玉工業大学 皆川佳祐

## 1. はじめに

このたび、筆者の在籍する埼玉工業大学の制度を利用して、2019年4月から2020年3月までの1年間、イタリアのローマ第三大学にて在外研究の機会をいただいた。ご存知の通り、ローマはイタリアの首都であり、南北に伸びるイタリアの中央西側に位置する。ローマ第三大学はローマに複数のキャンパスを持つ、1992年に設立した比較的新しい大学であるが、12の学部で3万3千人以上の学生が通う大きな大学である。工学部はローマのターミナル駅であるテルミニ駅から地下鉄で15分ほど南下したエリアにあり、図1のように広々としたキャンパスに充実した設備が備わっている。

筆者の専門分野は機械構造物の耐震、免震・制振装置の研究開発であり、アメリカ機械学会のPressure Vessels and Piping Conferenceで地震工学関連のセッションを一緒に企画しているローマ第三大学工学部土木工学科のFabrizio Paolacci教授に受け入れて頂いた。土木工学科の教員ではあるが、化学プラントの耐震などを研究されている。1997年にアッシジ地震、2009年にラクイラ地震、2016年にイタリア中部（アマトリーチェ）地震が発生しているように、イタリアはヨーロッパでも有数の地震国であり、イタリアでの研究が今後の自分自身の研究を発展させる上で重要であることから、イタリアでの在外研究を希望した。図2は現在のアッシジの様子である。

本原稿執筆時、まだローマに滞在中ではあるが、これまでの活動等を報告したい。

## 2. 大学での活動

在外期間中は、産業施設の地震リスク評価や日本と欧州との耐震基準の比較などの研究を実施している。日本では個別の機械構造物の耐震性を評価するのが一般的だが、イタリアでの研究ではさらに産業施設全

体を対象として、地震時に各機械構造物の破損が施設全体にどのような影響を与えるかを検討している。日本でも原子力分野では同様の取り組みがなされているが、イタリアでは民間の既存産業施設を対象に地震リスク評価が実施され、それを元にどの程度まで耐震補強を実施するかなどの意思決定に利用されていることは非常に興味深い点である。

研究以外では、セミナーでの講演、博士課程の学生を対象とした講義などの機会を頂いた。また、イタリア北部にあるトレント大学のOreste S. Brusi教授に招待いただき、トレント大学でも大学院生を対象として講義を実施した（図3）。いずれの大学でも日本の地震被害や耐震技術などを紹介したが、学生たちは熱心に耳を傾けくれて、発生頻度は低いが大規模な被害が生じる大地震の経験を国際的に共有することの重要性を改めて認識した。

8月に約2週間、年末年始に約2週間大学が閉まった。特に夏場は多くの人が長期休暇を楽しむが、一方で祝祭日は日本より少なく、長期休暇以外は週5日学問、勉強に励んでいる。



図2 現在のアッシジの様子



図1 ローマ第三大学 工学部キャンパス



図3 トレント大学からみた市街の様子

### 3. イタリアの大学事情

海外の大学に長期滞在し、海外の大学事情について知ることができたことは、日本の大学の一教員として非常に有益な経験であった。イタリアの教育制度では、高校卒業まで13年、大学3年、大学院修士課程2年、博士課程3年が一般的な期間である。中学校などでも口頭試問（プレゼンテーション）による試験が課されており、日本の教育とはゴールが違っているように感じた。大学にもよるが、大学入学には試験がなく、自分の学びたい専門分野に合わせて大学を選択するが、大学入試がない分、入学後の成績評価はシビアである。博士課程の学生には奨学金が支給され、優秀な学生が多い。

公的研究費については、イタリア国内だけでなくEUが募集するものもあり、EU圏内の他大学等と連携し、大規模なプロジェクトが実施可能である。博士課程の学生もプロジェクトに積極的に参画し、プロジェクトを実施する上で非常に重要な役割を担っている。また、大学は材料などの認証機関としての位置付けもあり、身近なところでは市販のペットボトルの水の成分表の下には、分析をした大学の名前を見つけることができる。

### 4. 日常生活

大学での生活はもちろんのことであるが、日常生活からも非常に多くのことを学んだ。ビザや滞在許可証などの取得は想像以上に時間がかかり、事前に手に入る情報も少なく、何度も警察に出向いた。今後、イタリアで長期の在外研究を考えている人には、何事も早めに行動することをアドバイスしたい。

言葉に関しては、ローマ中心部の店やレストラン、駅などは英語が比較的通じるので困ることは少ない

が、ローカルな店やレストランなどでは通じないこともあった。イタリアに来てすぐの頃はイタリア語もわからず、どれが洗濯洗剤でどのように使うかなどの理解にも多くの時間を要し、海外での滞在の苦勞を味わった。せつかなので現地の人とはイタリア語で会話がしたいと思い、週二回、イタリア語の学校にも通っている。夜間のコースだったため、社会人のクラスメートも多く、大学以外で様々な国の様々な職業の人たちと知り合う良い機会となった。また、日本では教える立場だが、イタリア語学校では教わる立場になり、試験勉強をして試験を受けるなど、久しぶりに学生の苦勞を味わった。

日本ではエレベーターなどに関する研究も行っているため、普段の生活の中でエレベーターなどに出会うと興味を持って観察した。イタリア中部では、シエナやペルージャなど丘の上に旧市街がある都市が多い。そのため、エレベーターやエスカレーターが丘の下と上を結ぶ重要な移動手段となっている（図4）。イタリア北部の港町ジェノバには、港と丘を結ぶ有料のエレベーターある（図5）。このエレベーターは、約230m水平に移動したのち約70m鉛直に移動する珍しいエレベーターである。

### 5. おわりに

ローマでの在外研究も残すところ僅かとなったが、本稿で報告した通り日々勉強になることが多く、日本へ帰国後にはこの経験が必ず役立つだろうと思う。このような経験ができていたのも、早く送り出してくれた埼玉工業大学の同僚や学生、温かく迎え入れてくれたFabrizio Paolacci教授および研究室メンバー、在外研究にあたり様々なアドバイスをくれた諸先輩方のおかげである。この場をお借りし、感謝申し上げたい。



図4 ペルージャの斜行エレベーターからの眺め



図5 ジェノバの公共エレベーター

No. 20-11  
Dynamics and Design Conference 2020  
総合テーマ：「交わり，繋がり，さらなる発展へ」

URL <http://www.jsme.or.jp/conference/dmconf20/>

企画 機械力学・計測制御部門  
開催日 2020年9月1日（火）～4日（金）  
会場 大阪府立大学 中百舌鳥キャンパス  
（大阪府堺市中区学園町1番1号）  
要旨 Dynamics and Design Conference 2020  
（D&D2020）は，機械力学・計測制御分野に関連した  
研究とオーガナイズド・セッション・テーマについての講  
演発表を募集いたします。また，特別講演，懇親会，機器  
展示，フォーラム，特別企画などの付随行事も予定してお  
ります。なお，優秀な講演発表者は，学会（若手優秀講演  
フェロー賞）および当部門（オーディエンス表彰）の規定  
に従って表彰されます。

講演申込締切 2020年3月9日（月）  
申込方法・募集分野  
上記のホームページにてご確認ください。  
発表採択通知 2020年3月下旬  
論文提出締切 2020年6月30日（火）（予定）  
問合せ先 D&D2020実行委員会  
dd2020@jsme.or.jp  
実行委員長 神谷 恵輔（愛知工業大学）  
副委員長 中野 公彦（東京大学）  
幹事 高木 賢太郎（名古屋大学）

## 年間カレンダー

機械力学・計測制御部門講演会等行事予定一覧

開催日	名称	開催地
2020年 4月20日～21日	講習会 振動モード解析実用入門 -実習付き-	日本機械学会 会議室
2020年 6月18日	講習会 マルチボディシステム運動学の基礎	東京大学 生産技術研究所
2020年 6月19日	講習会 マルチボディシステム動力学の基礎	東京大学 生産技術研究所
2020年 9月 1日～ 4日	Dynamics and Design Conference 2020	大阪府立大学 中百舌鳥キャンパス
2020年 9月 8日～11日	第 15 回「運動と振動の制御」国際会議（MoViC2020）	朱鷺メッセ
2020年 9月13日～16日	2020 年度年次大会	名古屋大学
2020年 11月26日～27日	第 19 回評価・診断に関するシンポジウム	三菱ケミカル株式会社 CSセンター
2020年 12月18日	講習会 納得のロータ振動解析：講義 + HIL 実験	日本機械学会 会議室

## 部門主催講習会情報

総務委員会 委員長 高木賢太郎 (名古屋大)  
企画委員会 委員長 中野公彦 (東京大)

今年度は、本部門の主催講習会を以下のとおり開催してまいりました。

- 「振動モード解析実用入門 -実習付き-」  
(2019年5月27-28日, 於 日本機械学会 会議室, 受講51名)
- 「マルチボディシステム運動学の基礎」  
(2019年7月4日, 於 東京大学 生産技術研究所, 受講16名)
- 「マルチボディシステム動力学の基礎」  
(2019年7月5日, 於 東京大学 生産技術研究所, 受講14名)
- 「振動分野の有限要素解析講習会 (計算力学技術者2級認定試験対策講習会) (関東地区会場)」  
(2019年10月19日, 於 工学院大学新宿キャンパス, 受講18名)
- 「納得のロータ振動解析:講義 + HIL実験」  
(2019年12月20日, 於日本機械学会会議室, 受講17名, )

なお、「振動分野の有限要素解析講習会 (計算力学技術者2級認定試験対策講習会) (関西地区会場)」(2019年10月12日, 受講予定11名)は、残念ながら台風19号の影響により中止となりました。今年度の行事として、「回転機械の振動」(2020年1月21日, 22日, 於日本機械学会会議室)が予定されております。

来年度前半には、「講習会 振動モード解析実用入門 -実習付き-」(2020年4月20, 21日, 於 日本機械学会 会議室), 「講習会 マルチボディシステム運動学の基礎」, 「講習会 マルチボディシステム動力学の基礎」(ともに2020年6月中旬予定, 於 東京大学生産技術研究所)をはじめ、各講習会の開催が企画中であり、詳細決定の後にご案内いたします。各講習会への積極的なご参加をお願い申し上げます。

ご希望の講習会テーマや、講習を聞きたい講師の方などがございましたら、企画委員会または総務委員会までお知らせ下さい。

## 広報委員会からのお知らせ

委員長 安藝雅彦 (日本大)  
副委員長 松岡太一 (明治大)  
委員 (v\_BASE担当) 矢部一明 (東洋エンジニアリング)

広報委員会では、本部門の英語版HP (<https://www.jsme.or.jp/dmc/index-e.shtml>) の充実化のため、年二回発行している部門ニューズレターの巻頭記事の英語化とHPへの掲載を継続してすすめております。また、同ページにはv\_BASEの英語版も掲載しており、今後掲載件数も増やしていく予定です。

是非、この機会に部門英語版HPをご覧くださいととも

に、海外研究者への宣伝にご協力いただけますようよろしくお願い致します。

また、巻頭記事にかぎらず、英語版HPの充実化に向けて、英文記事の執筆にご協力いただける方もいらっしゃいましたら、お気軽に広報委員会までご連絡いただけますと幸いです。今後とも広報委員会の活動にご協力いただけますようよろしくお願い申し上げます。

## 表彰委員会からのお知らせ -2019年度部門表彰式の報告-

委員長 射場大輔 (京都工芸繊維大)  
副委員長 新谷篤彦 (大阪府立大)

2018年度の部門賞と一般表彰の表彰式が、2019年8月29日、九州大学伊都キャンパス (福岡県福岡市) で開催されたD&D Conference 2019にて執り行われました。雉本 信哉2018年度部門長兼D&D Conference 2019実行委員長により、4名の部門賞受賞者と4名の部門一般表彰受賞者に表彰状が贈呈されました。受賞者は下記の通りですが、受賞者の紹介と業績等の詳細は、日本機械学会の当部門のWEBページの部門賞、今期の受賞者に掲載されておりますのでご参照ください。

受賞者の栄誉をたたえるとともに今後のますますのご活躍を祈念いたします。

(所属は受賞決定当時のもの)

1. 部門賞受賞者  
部門功績賞 梶原 逸朗 (北海道大学 教授)  
部門国際賞 藤原 浩幸 (防衛大学校 准教授)  
学術業績賞 藤田 聡 (東京電機大学 教授)  
パイオニア賞 原 進 (名古屋大学 教授)
2. 部門一般表彰受賞者  
部門貢献表彰 成川 輝真 (埼玉大学 准教授)  
オーディエンス表彰 (D&D Conference 2018 優秀発表者)  
大塚 啓介 (東北大学大学院)  
廣明 慶一 (青山学院大学)  
森野 佐芳梨 (大阪府立大学)

## 国際交流委員会からのお知らせ

委員長 伊勢智彦 (近畿大)

副委員長 菅原佳城 (青山学院大)

前回のニュースレターでご報告をさせていただきましたが、2019年5月16日～17日に、韓国・ソウルのインペリアルホテルにおいて第6回KSME-JSME ダイナミクス&コントロールに関するジョイントシンポジウム (The 6th Korea-Japan Joint Symposium on Dynamics & Control) を開催し、JSMEからは神谷部門長によるKeynote speechのほか、20件の発表を行いました。韓国機械学会の機械力学制御部門との部門間交流協定に基づく国際交流に関しては、今後

2020年のD&D (大阪府立大学) で韓国機械学会の機械力学・制御部門の主要メンバーを招聘し、特別講演を実施する予定です。またこの際に、2021年に日本で開催される予定となっているJapan-Korea Joint Symposium についても内容の検討を行うことになっております。詳細が決まりましたらご案内をさせていただきますが、韓国機械学会との交流協定など、国際交流に関しまして、引き続き皆様のご理解とご協力をいただきますよう宜しくお願い申し上げます。

## 資格認定委員からのお知らせ

委員長 松村雄一 (岐阜大)

2019年度の計算力学技術者資格1級および2級の認定試験が去る12月7日(土)に行われました。振動分野については2級受験者182名で合格者121名、1級受験者89名で合格者39名でした。詳細については機械学会ホームページにて後日正式公表されます。また上級アナリスト認定試験は9月に行われ、受験者5名で合格者1名でした。計算力学業務に携わっておられる方におかれましては、是非、受験をご検討くださいますようお願いいたします。試験の概要および認定レベルにつきましてはホームページ<http://www.jsme.or.jp/cee/>をご覧ください。

機械力学・計測制御部門では受験をサポートするために振動分野2級試験向けの講習会を毎年10月頃に開催しております。講習は知識編と例題編という構成で、受講者の方からは好評をいただいております。2019年度は、直前の台風の影響で関西地区の講習会が中止となりましたので、関東地区でのみの開催となりました。そのため、2020年度も同様の内容にて、関東地区と関西地区で開催することを計画しています。詳細が決まりましたら、ホームページなどのご案内いたします。2級認定試験を受験予定の方におかれましては、対策講習会への参加も是非ご検討ください。



編集室

日本機械学会機械力学・計測制御部門  
〒160-0016 東京都新宿区信濃町35番地  
信濃町煉瓦館5階

電話 03-5360-3500  
FAX 03-5360-3508

編集責任者 安藝 雅彦 (日本大学)  
編集委員 松岡 太一 (明治大学)

部門ホームページ: <https://www.jsme.or.jp/dmc/>  
発行日 2020年3月18日