



DYNAMICS



機械力学・計測制御部門ニュースNo.63

Mar 12, 2019

部分構造合成法および部分構造除去法・変更法を用いた 連続体のメッシュレスな振動解析

関西大学 システム理工学部 山田啓介

1. はじめに

いつの時代も機械はさらなる軽量化が求められるが、同時に振動や騒音に対する要求の水準も高まり続けている。これらの両立が本質的に容易ではないことは明らかであるが、企業では開発期間の短縮まで求められている。この状況を数値シミュレーションによる振動解析が支えており、数値シミュレーションの重要性はこの先も高まる一方であろうと想像される。しかし、今や振動の数値解析のための理論構築の黎明期はとうに過ぎ、著者のような黎明期に生まれてきたかどうかの世代が中堅と呼ばれる時期に差しかかっている。黎明期を経験した先人達のように本質を理解しながら振動の解析に取り組んでいるだろうか、と自問しながら著者がこの5年間取り組んだ連続体の振動解析の研究を本稿でご紹介させていただく。

機械の軽量化が進むと、連続体としての振動がより顕著になる。また、大抵の場合、それらの構造は曲線や曲面を伴った複雑な形状を持つ。複雑な形状を含む連続体の振動を解析的に解くことはできないため、一般には有限要素法を用いて構造物を空間的に離散化して運動方程式を得る⁽¹⁾。つぎに、運動方程式に固有値解析を適用して固有モードを求め、さらにモード解析を適用して運動方程式を非連成化する⁽²⁾。非連成の独立した微分方程式が得られれば、その先の一つひとつの計算は大学の講義レベルである。モード解析には固有モードのイメージを人に与える利点もあり、振動対策の考案に役立つ。それほど大きくない構造物の振動解析であればここまでの方法で完結するが、解析対象が大きくなると自由度が増し、固有値解析が現実的な時間内に終わらない問題が新たに生じる。そこで、構造を部分構造に分け、部分構造ごとにモード解析を適用した上で不要な高次モードを除去し、その上で部分構造を結合する方法が提案された。この方法が部分構造合成法であり、各部分構造の振動を各部分構造の固有モードの重ねあわせで表す方法は特にモード合成法と呼ばれている⁽³⁾。

このように、複雑な形状かつ大きな構造物の振動解析を可能にするために、有限要素法、モード解析、部分構造合成法の研究が行われてきたが、著者自身はこれとは別の個人的な経緯とこだわりによって2014年より部分構

造合成法に分類される研究を行ってきた⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾。従来の研究と著者の研究では目指しているところが少し異なるので、著者の経緯も説明する。

著者らは2012年頃に音響管内の共鳴音を平板の共振を用いて抑える研究に取り組んだ⁽⁷⁾。なお、その平板には圧電素子を貼付し、圧電素子にはLR回路を接続して、平板に対して電氣的に減衰を付加した。音場の一つの共鳴を平板の基本振動モードの共振と電気系の電気共振を用いて抑える方法であるので、三自由度振動系で考えることができると目論んだが、当時は音場の固有モードを取り出すことができず、三つの方程式に落としこむことができなかった。この原因は、音場の境界にピストンや平板のように動く物体がある場合のモード解析の方法が分からなかったことにある。数年後、変位加振は等価な力加振と固定の境界に置換できることに気づき、当初の問題は解決した⁽⁴⁾。それと同時に、この考え方を用いれば、連続体の振動を連続系のみで解くことができる範囲が広がると考え、それ以降は連続体を空間的に離散化せずに連続体のみで解析することをテーマとして研究に取り組んできた。まず、変位加振の等価な力加振と固定の境界への置換を用いると、モード解析で厳密に解ける単純な形状の連続体の組合せで表現できる連続体の振動は、有限要素法に頼らず理論的に解析できることを示した⁽⁴⁾⁻⁽⁶⁾。この研究は部分構造合成法のモード合成法に分類される。モード合成法では、有限個の、境界に自由度の無い固有モードで振動を表現しようとする境界近傍でギブスの現象が生じる問題があるが、本研究を通して級数の知識で数学的に解消する方法も提案した^{(5), (6)}。しかし、たとえば、解析対象の形状が台形や三角形となると構造をどのように部分構造に分けても解析できない形状が残る問題があった。そこで、この問題を解決する方法として2017年に新たに発表した方法が部分構造除去法である⁽⁸⁾。部分構造合成法では解析対象を部分構造に分けて、いわば部分構造の加算で目的の構造を得るが、部分構造除去法では全体構造から部分構造を除去するという減算的な発想で目的の構造を得る。部分構造除去法は元の全体構造の固有モードの重ねあわせだけで目的の構造の振動の状態を表すため、形状が複雑になっても必要な自由度が増えにくい利点と、台形や三角形のような形状も解析できる利点がある。また、部分構造の除去だ



図1 変位加振を受ける1自由度振動系

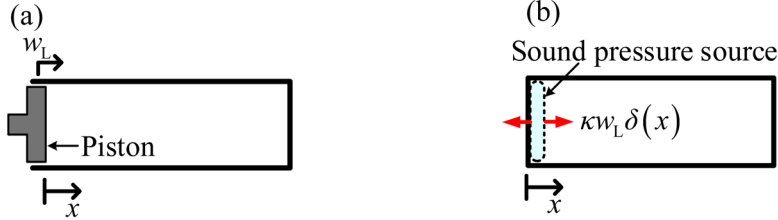


図2 変位加振を受ける一次元音場

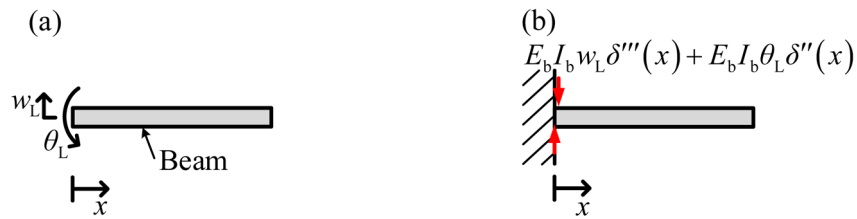


図3 変位加振と角変位加振を受けるはり

けでなく、部分構造を変更する場合も解析可能であるため、そちらも部分構造変更法として提案した⁽⁸⁾。

このように、本研究では大きな構造物の振動解析を目指すわけではなく、連続体の振動を連続系のままメッシュレスで解析することを目的としている。そのため、本研究では有限要素法は用いない。また、目的を達成するために部分構造合成法とは異なる発想の部分構造除去法・変更法を提案した。従来の研究と比べると、モード解析を用いる点は共通である。2章では部分構造合成法に分類される研究を紹介するが、本流とは異なる目的で取組んだ内容であることをあらかじめ断らせていただいた上で、これらの研究の基本的な考え方を順に紹介させていただく。

2. 変位加振を等価な力加振と固定の境界に置換する方法を用いた連成振動の理論解析

本章では変位加振を等価な力加振と固定の境界に置換する方法と、それを用いて境界で変位加振を受ける連続体にモード解析を適用する方法を説明する⁽⁴⁾。その上で、一例としてこの方法を用いて構造と音場の連成振動系の支配方程式を導出する方法を説明する⁽⁴⁾⁽⁶⁾。

2.1 変位加振を等価な力加振と固定の境界に置換する方法

図1(a)に示すように、質量 m の質点とばね定数 k のばねからなる1自由度振動系が強制変位 x_0 で加振される場合を考える。この場合、図1(b)に示すように、強制変位を与えていた基礎を固定し、代わりに加振力 kx_0 を質点に与えて考えても、完全に等しい運動方程式が得られる。質点のつり合いの位置からの変位を x_1 とすると、図1(a)のばねは質点に対して上向きに $k(x_0 - x_1)$ の力を与えるが、第一項の強制変位による力 kx_0 の部分が等価な力として取出される。図1(b)に示すように、厳密には質点

に加えらるる加振力 kx_0 の反力が存在し、これが固定した基礎に加わる。

離散系では、変位加振を等価な力加振と固定の境界に置換できるが、この考え方を連続体にも適用する。図2(a)に示すように、一次元音場と見なせる音響管の左端においてピストンで強制変位 w_L が与えられている場合を考える。音響管の左端を原点として右向きに x 軸を取り、空気の密度と体積弾性率をそれぞれ ρ , κ 、音響管の長さと同断面積をそれぞれ l , S とする。この場合は図2(b)に示すように、音響管の左端を固定した上で、左端の表面に等価な音圧源 $\kappa w_L \delta(x)$ を置いた解析モデルに等価的に置換できる。ここで、 δ はディラックのデルタ関数であり、音圧源に厚さはない。図2(b)の解析モデルは両端が閉鎖端であり、モード解析が適用できる。モード解析で求めた音響管内の音圧と、図2(a)の解析モデルで両端の境界条件を用いて求めた音圧の厳密解⁽⁹⁾は完全に一致する。なお、等価な音圧源の音圧 $\kappa w_L \delta(x)$ は、次のように求めることができる。音響管内の座標 x 、時刻 t の音圧と粒子変位をそれぞれ $p(x, t)$, $w(x, t)$ とすると、ピストン表面の音圧は、

$$p(0, t) = -\kappa \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{w(\Delta x, t) - w(0, t)}{\Delta x} \quad (1)$$

と定義される。ここで、 $w(0, t) = w_L$ であり、式(1)の第2項がピストンの強制変位による音圧を表す。極限を取ると音圧源の音圧 $\kappa w_L \delta(x)$ が得られる。なお、式(1)の第1項はピストンのごく近傍の粒子が変位することで生じる音圧 $-\kappa \partial w / \partial x$ であり、図1(a)の離散系のモデルにおける $-kx_1$ に相当する。

図3(a)に示すように、はりが左端で強制変位 w_L と強制角変位 θ_L を受ける場合も等価な力加振と固定の境界に置換できる⁽⁴⁾。並進の強制変位 w_L に関しては並進方向を固定した上で等価なせん断力 $E_b I_b w_L \delta'''(x)$ を与え、回転の強制角変位 θ_L に対しては回転方向を固定した上で

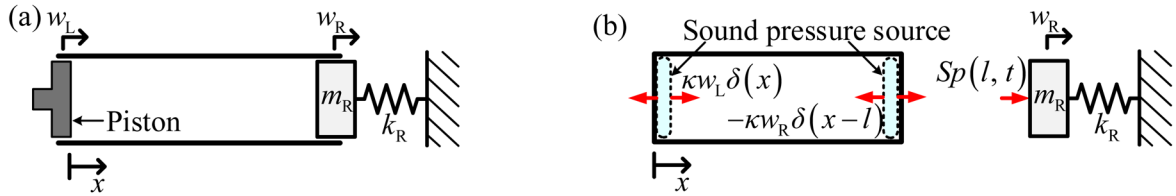


図4 構造と音場の連成振動の解析モデルの一例

等価なせん断力 $E_b I_b \theta_L \delta''(x)$ を与えればよい。ここで、 E_b 、 I_b はそれぞれはりのヤング率と断面二次モーメント、 x 軸は左端を原点として右向きを正の方向とした。また、 $'$ は d/dx を表す。図3(a)のように左端で強制変位 w_L と強制角変位 θ_L を同時に受ける場合には、図3(b)のように左端を固定端にした上で、左端に二つのせん断力を同時に与えるモデルに置換できる。

2.2 連成振動の理論解析

図4(a)に、構造と音場の連成振動の解析モデルの一例を示す。本解析モデルは図2(a)の音響管の右端に1自由度振動系を設置したものである。質点の質量を m_R 、ばねのばね定数を k_R 、質点の変位を w_R とし、この解析モデルに提案手法を適用すると、図4(b)の解析モデルに等価的に置換できる。図4(b)の解析モデルで音場の波動方程式を求めると、

$$\rho \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = \kappa \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \kappa w_L \delta(x) - \kappa w_R \delta(x-l) \quad (2)$$

となる。ここで、 ψ は音場の変位ポテンシャルである。また、1自由度振動系の運動方程式は次式となる。

$$m_R \ddot{w}_R + k_R w_R = Sp(l, t) \quad (3)$$

変位ポテンシャルは、次のように固有モードの重ねあわせで表せる。

$$\psi(x, t) = \sum_{j=0}^{\infty} \Psi_j(x) \zeta_j(t) \quad (4)$$

ここで、 $\Psi_j(x)$ は j 次モードの変位ポテンシャルの固有関数、 $\zeta_j(t)$ は j 次モードのモード変位である。図4(b)より、変位ポテンシャルの固有関数 $\Psi_j(x)$ は両端閉鎖の境界条件を用いて求めることができ、次式となる。

$$\Psi_j(x) = A_j \cos(k_j x), \quad k_j = \frac{j\pi}{l} \quad (5, 6)$$

ここで、 A_j は任意の定数である。また、音響管内の音圧は次式で求まる。

$$\begin{aligned} p(x, t) &= \kappa \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \kappa w_L \delta(x) - \kappa w_R \delta(x-l) \\ &= \rho \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} \end{aligned} \quad (7)$$

よって、質点の運動方程式(3)の右辺も固有モードの重ねあわせで表現できる。式(4)を波動方程式(2)に代入し、両辺に $\Psi_i(x_n)$ を掛けて音場全長で積分すると、モード変位 ζ_i ($i=0, 1, \dots$) を用いた運動方程式が得られる。これと運動方程式(3)とを合わせて固有値解析を行うと連成振動系の固有振動数と固有モードが得られる。

3. 部分構造除去法・変更法

例として図5のように一つの長方形から黄色の三つの長方形を取除いた形状の平板の振動を解析する場合を考えると、前章の部分構造合成法では平板を三つの長方形平板に分割して、それぞれの長方形平板の固有モードの

重ねあわせでその部分の振動を表現し、長方形平板間の連成を考慮して解く。これに対して、部分構造除去法では黄色の三つの長方形を取除く前の、元の大きな長方形平板の固有モードの重ねあわせで三つの長方形を取除いた後の平板の振動を表現する⁽⁸⁾。固有モードの重ねあわせは級数であり、その級数が完全系であれば任意の振動の形状を表せることと、部分構造除去法では目的の構造が元の全体構造の部分集合であることを考えあわせると、部分構造除去前の構造の固有モードの重ねあわせで部分構造除去後の振動を問題なく表せる。この考えに基づいて提案した方法が部分構造除去法である。なお、部分構造の特性を変更する場合についても目的の構造は元の構造からはみ出すわけではないので、この場合も部分構造変更前の固有モードの重ねあわせで振動を表せる。こちらが部分構造変更法である。部分構造の密度やヤング率をゼロに変更した場合が部分構造の除去に相当するため、部分構造除去法は部分構造変更法の一部と見なすことができる。

部分構造除去法を用いれば連続体の形状が三角形や台形の場合の振動も解析できるが、紙面の都合ですべてを説明することはできないので、本稿では一次元音場を例に部分構造除去法と部分構造変更法を説明する。

3.1 一次元音場の部分構造除去法・変更法

図6に一次元音場の解析モデルを示す。これは図2(a)の一次元音場の右側が除去または変更された場合に相当する。左右の音場をそれぞれ音場A、Bと称することとし、音場A、Bの長さをそれぞれ l_A 、 $l_B (= l - l_A)$ 、密度をそれぞれ ρ_A 、 ρ_B 、体積弾性率をそれぞれ κ_A 、 κ_B とする。また、音場A、Bの境界にはばね定数 k_l のばねが設置されている。このばねの左端は $x = l_A$ の粒子と仮想的に接続されており、ばね定数 k_l を十分に大きくすることで境界の粒子を実質的に固定できる。

まずはばね定数 k_l のばねを無視し、左端のピストンが静止している $w_L = 0$ の条件下で、音場Bを除去または変更した場合の波動方程式を導出する。

図6の解析モデルの連続の式と運動方程式はそれぞれ次のように与えられる。

$$p = -\kappa(x) \frac{\partial w}{\partial x}, \quad \rho(x) \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = -\frac{\partial p}{\partial x} \quad (8, 9)$$

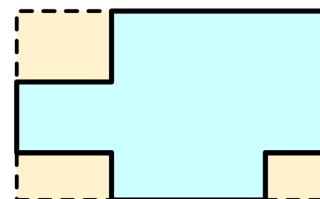


図5 長方形平板から三つの長方形を取除いた平板

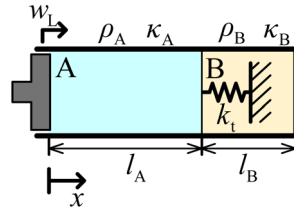


図6 音場の一部を除去・変更する場合の解析モデル

$$\kappa(x) = \kappa_A + \kappa_D H(x - l_A), \quad \kappa_D = \kappa_B - \kappa_A \quad (10, 11)$$

$$\rho(x) = \rho_A + \rho_D H(x - l_A), \quad \rho_D = \rho_B - \rho_A \quad (12, 13)$$

ここで、 H はヘヴィサイドの階段関数である。なお、粒子変位 w は変位ポテンシャル ψ の勾配で求まる。

$$w = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (14)$$

ここで、変位ポテンシャル ψ は音場全体が音場Aと等しい特性を持っている場合の固有モードの重ねあわせで表されることに注意が必要である。すなわち、部分構造除去法・変更法でも変位ポテンシャル ψ は式(4)-(6)で表される。式(8)、(14)を式(9)に代入して両辺を x で積分すると、次の波動方程式が得られる。

$$\rho(x) \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} - \rho_D H(x - l_A) \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} \Big|_{x=l_A} = \kappa(x) \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} \quad (15)$$

ただし、ここでは静圧に相当する積分定数は無視した。式(15)の左辺の第2項は提案手法特有の項である。

図6の左端のピストンに前章の方法を適用し、音場A、Bの境界のばねの影響を考慮すると、波動方程式は、

$$\begin{aligned} \rho(x) \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} - \rho_D H(x - l_A) \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} \Big|_{x=l_A} \\ = \kappa(x) \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \kappa_A w_1 \delta(x) - \frac{k_t}{S} \frac{\partial \psi}{\partial x} \Big|_{x=l_A} H(x - l_A) \end{aligned} \quad (16)$$

となる。2.2節と同様に、波動方程式(16)よりモード変位を用いた運動方程式を求めると、運動方程式は連成項を

持つ。固有値解析を行うと音場Bを除去または変更した場合の固有値と固有モードが得られる。

たとえば、音場Bの密度と体積弾性率をゼロ、ばね定数 k_t もゼロとすると音場A、Bの境界を自由端にできる。この自由端の状態からばね定数 k_t を十分に大きな値に変更すると、境界を閉鎖端にできる。また、ばね定数 k_t をゼロにして、音場Bの密度と体積弾性率を吸音材の特性にすると音場Bを空気から吸音材に変更した場合を模擬できる。

4. おわりに

本稿では著者が取組んできた部分構造合成法と、部分構造除去法・変更法の基本的な考え方をご紹介した。紙面の制約もあり、十分な説明はできなかったが、著者と同様に部分構造合成法やモード解析の黎明期を経験していない方にもここまで読んでいただけたとすれば、本稿の目的は十分に達成できたと考えている。また、黎明期から今日まで振動解析の理論を開拓されてきた諸先輩方に興味を持っていただけたとすれば幸甚である。

本稿では紹介できなかったが、連続体中を伝播する進行波をモード解析で抽出する方法や、連続体の周辺に無反射境界を設置する方法についても研究を行っている⁽¹⁰⁾。これからも興味が続く限りは連続体のモード解析の研究を続ける予定であり、部門の学会や研究会を通して方向性の確認と新しい興味の発掘を続けたい。

文 献

- (1) 阿部亨, 利口系でない理工系の人のための 有限要素法ってなんだ, (2013), 自家出版.
- (2) 長松昭男, モード解析, (1985), 培風館.
- (3) 長松昭男, 大熊政明, 部分構造合成法, (1991), 培風館.
- (4) 山田啓介, “連続体の境界における変位加振の等価な力加振への置換による解析”, Dynamics and Design Conference 2014, (2014), USB memory 654.
- (5) 山田啓介, 宇津野秀夫, “変位加振を受ける連続体の座標変換を用いた振動解析”, Dynamics and Design Conference 2015, (2015), USB memory 509.
- (6) 山田啓介, “構造-音場および音場-音場の連成振動の理論解析”, Dynamics and Design Conference 2016, (2016), USB memory 342.
- (7) 山田啓介, 北川晃祥, 松久寛, 宇津野秀夫, “圧電素子を貼付した平板とLR回路による共鳴音の低減”, Dynamics and Design Conference 2012, (2012), USB memory 514.
- (8) 山田啓介, “部分構造変更・除去法の提案”, Dynamics and Design Conference 2017, (2017), USB memory 440.
- (9) 安田仁彦, 機械音響学, (2004), コロナ社.
- (10) 山田啓介, “モード合成を用いた定在波および進行波に関する考察”, Dynamics and Design Conference 2018, (2018), オンライン講演論文集 331.

講義と研究

木村 康治
(東京工業大学 名誉教授)



入学以来47年間を東京工業大学で過ごし、昨春定年を迎えました。具体的なメッセージを執筆することは、私にはとても難しいことです。パーソナルなお話になりますが、大学で感じたことや、考えたことを書かせていただきます。

始まり

大学院の学生時代、大学教員という仕事に関心を持ち始めました。「無形のもの、見えないものを伝える」ことがその役割だと、考えるようになりました。漠然とですが、自分もそんな役割を担う一人になれたらなと思ったのが始まりです。以来長い年月ですが、毎年多くの新しい学生のみなさんとお話しができる講義、そして研究室でのディスカッションは、何よりの喜びでした。

学生時代

学部では、吉本勇先生、林輝先生の研究室（精密機械要素）で卒業研究を行いました。研究室生活の始まりです。卒論は「歯車の動的かみあい伝達誤差の測定—歯形誤差の影響—」です。当時助手をされていた林巖先生に、マンツーマン（同室でした）で指導を受けました。実験、測定、スリップリング、OPアンプ、研削盤、電子計算機による応答計算など、本当に何も知らない一人の学生に、それは懇切に、そして丁寧に教えていただきました。その後の私の教育研究の考え方に、多くのことを学ばせていただきました。

修士から、坂田勝先生の指導を受け、不規則振動の研究を始めました。力学的原理に基づく思考、新しいものへの関心、自分の知らない分野へも一歩踏み出すことの大切さを教わりました。研究室では、ゼミが、とりわけ先生との本読み会が楽しみでした。みんなで分からないねと言いながら、こうかしら、ああかしらと、フランクに話し合っ、少しずつ読み進めるのは、楽しいだけでなく、やがて一人では気づきにくい発見に至る大切なやり方だと知りました。修士・博士の学生時代は、いつも本を読んでいたように思います。本が読めて、いつでもその話を聞いてもらえる環境は理想的でした。教員になって年を経ると、その時間的余裕がどんどん減っていくのが辛いところでしたが、教育と研究いずれについても、本を読んで学ぶことが大きな力になることを痛感して、現在に至っています。

不規則振動

不規則振動との出会いは、研究室配属を決める時期に掲示された、卒研テーマ一覧表でした。「・・・不規則振動・・・」を見たとき、初めての言葉で、規則的でないものが研究対象になるのだと、とても驚きました。これをやりたいと思いました。研究の意味もテーマの内容も全く知らない身で恐れ多いことですが、そのとき不規則の文字がキラキラしていたのが、きっかけです。良かったです。

講義

年数を重ねるうちに、どのような方法で考えるか（How to think）よりも、何を考えるか（What to think）の方が大切なのは、と思うようになりました。講義の折々に、学生のみなさんの感想を聞いていたのですが、考えることの大切なことは分かるが、何を考えたらいいのか分からない、それを知りたいという趣旨の声を耳にしたのが契機です。最初は意外に感じました。具体性がなくて、真意が十分に伝わっていないことに気づきました。そこで、考える対象や視点を記述した「考えるヒント」を配布して、一緒に考えるようにしました。手応えがあり、気持ちが通じたのではないかとと思っています。

講義は大好きです。講義中はおもより、準備をしているとき、あれを話そう、これを話そう、こんなストーリーはどうかしらと思いを巡らせるのも楽しみでした。学生のみなさんに、興味を持ち、そして喜んでもらい、一緒にハッピーな気持ちになればと、いつも思っていました。当然のことですが、受講学生のみなさんにとっては必ず初めての講義となるのに対して、こちらは年々確実に講義回数が増えていきます。この経験を活かして、毎年少しでも進歩した講義をしなければならない、という思いもありました。

講義の内容とは別に、受講学生のみなさんにお伝えしようと努めていたことがあります。学会のHP、JSME談話室「き・か・い」No.57（2007.6）に、「講義で伝えたいこと」と題して、小文を載せております。

研究室

研究室では、「結果よりプロセス」を大切に研究を進めてきました。常に目に見える成果が求められる昨今は、流行らないかもしれませんが、研究に携わるようになった初期のころから変わらず思っていることです。また、いつでも誰でも自由なディスカッションのできる場、それが研究室だと考えています。思いがけない疑問や意見、異なる発想がたくさん出て、びっくりしたり、感心したり、微笑んだり、考え込んだり、そうして新しいアイデアや問題解決に至ったことは多々あります。一人ではできないことです。ディスカッションによって、各人の研究もそして研究室自体も、確かに前へ進んでいくと実感しています。

研究

研究分野は、不規則振動とスロッシングです。坂田研究室に所属したとき、既に両研究が行われていました。学生時代から長きにわたり、両分野の研究とともに過ごすことができました。本当に恵まれていたと思います。

学位論文は「非白色性励振を受ける非線形系の非定常不規則振動に関する研究」です。白色励振とは異なり、パワースペクトルに周波数依存性を有する一般的な非白色性励振を対象にして、二乗平均応答を求めるものです。その後、大きくは2つの流れになります。

一つは、非線形系の応答の確率密度関数（以下PDF）を求めようとするものです。ガウス性の励振でも、応答のPDFは非ガウス性になるのが非線形系の特徴です。二乗平均応答などの応答の大きさを見積もるモーメント統計量だけでなく、応答の特徴を体現する非ガウスPDF自体を、何とかして求めたいと思いました。確率論的ジャンプ現象など、非線形系特有の現象の研究にもつながりました。

もう一つは、励振が非ガウス性を有する場合の系の応答特性を明らかにしようとするものです。それまでの研究は、ガウス性励振を対象としていました。非ガウス励振系では、線形系であっても応答が非ガウス性を示します。ガウス分布に近い分布を有する励振から全く異なる分布を有する励振まで、ガウス励振以外のすべてを対象にすることになります。ワクワクします。どんな応答特性が得られるのか、非ガウスPDFがどのような形で現れるのか、知りたいと思いました。多様な形が得られて喜んでいます。

スロッシングの最初の研究は、不規則振動に関連しています。地震動を振幅変調される非白色性励振にモデル化して、円筒容器内の液面揺動の不規則応答解析を行うものです。その後、非線形液面揺動のメカニズムを調べる研究になりました。液面揺動には、非線形性に起因する多種多様な現象が現れ、興味は尽きません。ピッチング励振を受ける容器内の液面静止や、矩形容器の3次元液面揺動など、様々な現象に出会い、感激しました。

両研究を進めるにあたっては、部門の講演会を始め、学会の様々な発表の場で、数多くの貴重な助言や示唆、そして励ましをいただきました。研究を継続できたのは、そのおかげです。深く感謝申し上げます。

健康

誰にも等しく、長い道のりです。絶好調もあれば、体調を崩すこともあります。ときには、一定期間、休まざるを得なかったり、活動に制限が必要になったりするかもしれません。自分の意志ではどうすることもできないのですから、悔しいと思います。でも、どうか悲観的になりすぎないでください。すべてを取り戻そうと思わないでください。それぞれの立場と職務で、少しずつプラスを得られるように努めていくことができると思います。私も、40代後半に経験しました。多くの方に助けていただいて、現在があります。感謝の気持ちを込めて、健康について書かせていただきました。

部門では、多くの方に出会い、様々なイベントに参加する機会をいただきました。充実した楽しい時間でした。部門のますますの発展をお祈りします。

長い間、たいへんお世話になりました。
どうもありがとうございました。

在外研究報告

同志社大学 伊藤彰人

1. はじめに

私は、同志社大学在外研究員制度の支援を受けて、2017年9月から2018年8月までの1年間、アメリカのカリフォルニア大学バークレー校を訪問する機会を得ました。拙文ながら、報告させていただきます。

2. カリフォルニア大学バークレー校

カリフォルニア大学バークレー校はカリフォルニア大学 (University of California) の発祥の大学であり、10大学からなるカリフォルニア大学システム (UCシステム) の中で最も古い歴史を持っています。キャンパス(写真1)は、サンフランシスコの対岸にあり、サンフランシスコ中心部よりBART (Bay Area Rapid Transit) で30分程度のアクセスになります。キャンパスからは、ゴールデンゲートブリッジ、サンフランシスコ湾を眺望できます(写真2)。

カリフォルニア大学バークレー校には、毎年、多くの訪問研究員が世界各国から集まっています。そのため、大学での受け入れ態勢も整っており、非常にスムーズに大学での手続きが進んだ印象があります。また、定期的に大学の国際オフィスの Scholar Information Meetingsを開催しており、ソーシャルセキュリティナンバーの申請や運転免許の取得なども含めたガイダンスが実施されていました。このガイダンスでは、2016年度の留学生、訪問研究員の人数が国別で紹介されており、中国が779名、ドイツが362名、韓国255名と非常に多くの中国人がバークレー校を訪問しているようでした。日本は各国より少なく、149名でした。

3. 訪問研究室

我々の研究室では、慣性センサを用いた人の運動計測やそのシステムを用いた人とロボットの協調制御への応用などの研究を実施しているため、制御工学の分野で著名な富塚教授率いるMechanical Systems Control Lab (MSC Lab) にお世話になりました。MSC LabにはPhD Studentが24名在籍しており、非常に活気のある研究室です。PhD Studentの中には、中国、台湾、日本からの留学生が在籍していました。また、私の滞在中には、短期も含めて中国2名、韓国3名、スペイン1名、台湾1名、日本2名の方々がVisiting Scholarとして訪問されており、その他にもイタリア、中国からのVisiting Studentなども来ていました。

MSC Labの研究内容としましては、人とロボットの安全なインタラクションの実現を目指した動作計画、制御アルゴリズムに関する研究や、アシスト機器、ディープラーニングなどの最先端の機械学習アプローチを活用した自動車の自動運転に関する研究が実施されています。多くの在籍している学生が自動車の自動運転に興味を持ち、自動運転に関する研究を実施しておりました。また、週1回開催される研究室のセミナーに参加させていただくなど、研究室の学生の研究内容に触れる機会を設けていただき、大変勉強になりました。



写真1 キャンパスの風景



写真2 キャンパスからのゴールデンゲートブリッジ



写真3 BARS2017の様子

4. 滞在中の出来事

Bay Area Robotics Symposium (BARS) が毎年11月頃に開催されています。BARSはUCバークレーとスタンフォード大学が毎年交互に主催しており、BARS2017がバークレーで開催されたこともあり、私も聴講させていただきました。BARS2017は、参加者がおよそ400名と盛況なシンポジウムでした。また、UCバークレーとスタンフォード大学の教員のプレゼンテーションがあり、各大学のロボットを研究されている研究者の最新の研究内容を知るには非常に有意義なシンポジウムでした。そして、非常に多くの研究者が、自動車の自動運転に関する研究を実施していることを実感しました。

Cal Day(学園祭)が例年4月下旬に開催され、研究室も一般の方々に開放されます。私も、子供連れでCal Dayに参加しましたが、多くの一般の方々が参加しており、特に恐竜の化石などが展示してある自然史博物館などは多くの家族連れで一杯でした。もちろん、工学部の多くの研究室も一般に開放されています。写真は大学とMSC LabのCal Dayの写真です。研究室では、学生がロボットのデモを行ったり、説明したりと大忙しでした。子供たちも、大学の研究室に興味津々でロボットのデモを見ていました。同志社大学では、オープンキャンパスなどで研究室を公開することはありますが、学園祭などで研究室を公開することはありませんので、非常に興味深く、一般の方にこの様に研究成果を伝えるような、研究室見学を実施できたらと感じました。



写真4 CAL Dayの様子

5. おわりに

あっという間に1年が過ぎてしまった印象ですが、非常に貴重な経験をさせていただきました。異なる文化圏での生活を通して、得られるものが非常に多かったと感じております。この経験を今後の教育、研究に活かしていきたいと思っております。

最後になりましたが、この様な貴重な機会を与えていただいた富塚誠義教授に心より御礼申し上げます。また、1年間の在外研究を実施するにあたり、ご支援いただいた本学辻内教授、機械系学科教員の皆様に感謝申し上げます。

No. 19-13
Dynamics and Design Conference 2019
総合テーマ：「地球をめぐる海流のように」

URL <http://www.jsme.or.jp/conference/dmconf19/>

企画 機械力学・計測制御部門
開催日 2019年8月27日（火）～30日（金）
会場 九州大学 伊都キャンパス
（福岡市西区元岡744）

要旨 Dynamics and Design Conference 2019 (D&D2019) 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、親睦会、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 2019年3月4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。
発表採用通知 2019年3月下旬（予定）
論文提出締切 2019年6月下旬（予定）
問合せ先 D&D2019実行委員会
dd2019@jsme.or.jp
実行委員長 雫本 信哉（九州大学）
副委員長 神谷 恵輔（愛知工業大学）
幹事 佐々木 卓実（北九州市立大学）

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
2019年 5月22日～24日	第31回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム	東京工業大学 すすかけ台キャンパス
2019年 5月27日～28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
2019年 6月 9日～12日	The 12th Asian Control Conference (ASCC2019)	北九州国際会議場
2019年 7月 4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
2019年 7月 5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
2019年 8月27日～30日	Dynamics and Design Conference 2019	九州大学 伊都キャンパス
2019年 9月 8日～11日	2019年度年次大会	秋田大学
2019年 9月12日～14日	生活生命支援医療福祉工学系学会連合大会2019 (LIFE2019)	慶應義塾大学 日吉キャンパス
2019年11月 8日～10日	第62回自動制御連合講演会	札幌コンベンションセンター
2019年11月28日～29日	第18回評価・診断に関するシンポジウム	大阪市立大学
2019年12月 4日～ 6日	第16回「運動と振動の制御」シンポジウム (MoViC2019)	高知城ホール

部門主催講習会情報

総務委員会 委員長 佐々木卓実（北九市大）
企画委員会 委員長 神谷恵輔（愛知工大）

前ニュースレター発行後、本部門の主催で、「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」、「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) 東海地区会場」、「納得のロータ振動解析:講義+HIL実験」、「回転機械の振動」の講習会を開催し、それぞれ21名、12名、16名、32名のご参加をいただきました。

来年度前半には、「振動モード解析実用入門 -実習付き-」(2019年5月27日～28日、於 日本機械学会 会議室)、

「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)、「マルチボディシステム力学の基礎」(2019年7月5日、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 星野洋平（北見工大）
副委員長 安藝雅彦（日本大学）
委員（*v*_BASE担当） 矢部一明（東洋エンジニアリング）

第96期広報委員会では、当部門の英語版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ス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 -2017年度部門表彰式の報告-

委員長 古屋 治（東京電機大）
副委員長 射場大輔（京都工繊大）

2017年度の部門賞と一般表彰の表彰式が、2018年8月30日、東京農工大学小金井キャンパス（東京都）で開催されたD&D Conference 2018にて執り行われました。田川 泰敬2017年度部門長兼D&D Conference 2018実行委員長により、6名の部門賞受賞者と6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、日本機械学のお知らせコーナーに部門からのお知らせとして10月9日に掲載されていますのでご参照ください。

受賞者の栄誉をたたえ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 吉村 卓也（首都大学東京 教授）
部門功績賞 曄道 佳明（上智大学 教授）
部門国際賞 本井 久之（株式会社IHI 技術開発本部 副所長）
学術業績賞 水野 毅（埼玉大学 教授）
パイオニア賞 高橋 正樹（慶應義塾大学 准教授）
パイオニア賞 平田 光男（宇都宮大学 教授）
2. 部門一般表彰受賞者
部門貢献表彰 丸山 真一（群馬大学 准教授）
部門貢献表彰 山口 和幸（株式会社日立製作所 主管研究員）
部門貢献表彰 渡邊 鉄也（埼玉大学 教授）
オーディエンス表彰
(D&D Conference 2016 優秀発表者)
倉科 佑太（慶應義塾大学）
梅原 隆一（三菱重工業株式会社）
オーディエンス表彰
(第15回「運動と制御のシンポジウム」 優秀発表者)
渡辺 将広（東京工業大学）

国際交流委員会からのお知らせ

委員長 園部元康 (高知工科大)

副委員長 伊勢智彦 (近畿大)

2019年5月30日～31日に、韓国・ソウルにて第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) を開催します。

2008年に、日本機械学会の機械力学・計測制御部門と韓国機械学会機械力学・制御部門の間で部門交流協定が締結され、日韓両国が交代に2年に一度、部門講演会に併催の形で「ジョイントシンポジウム」を開催し、両国の研究者・学生の学術的・人的交流を行っております。2009年8月に札幌市で第1回のシンポジウムが開催されて以降、第2回を

2011年5月に韓国・釜山、第3回を2013年8月に福岡市、第4回を2015年5月に韓国・釜山、第5回を2017年8月に愛知県豊橋市で開催してきました。日本で開催されるときは Japan-Korea Joint Symposium、韓国で開催されるときは Korea-Japan Joint Symposiumとしております。

第6回は韓国での開催となりますが、多くの研究者・学生のみなさまのご参加をお待ちしております。

資格認定委員からのお知らせ

委員長 神谷恵輔

2018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15日(土)に行われました。振動分野については2級受験者160名で合格者100名、1級受験者108名で合格者66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4名で合格者3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/cmnintei.htm>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「知識と例題の構成で、理解が進んだ」といったコメントをいただいております。2019年度も同様の内容にて10月に関東地区と関西地区で開催を計画しています。詳細が決まりましたら、ホームページなどでご案内いたします。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。