

## CAEを利用したアクティブ・ラーニングの視点からの工学教育

平野博之・折田明浩・清水一郎\*・笠 展幸\*\*・島田英之\*\*\*・荒木圭典\*\*\*\*

八田 貴\*\*\*\*\*・後藤義明\*\*\*\*\*

岡山理科大学 工学部 バイオ・応用化学科  
\*岡山理科大学 工学部 機械システム工学科  
\*\*岡山理科大学 工学部 電気電子システム学科  
\*\*\*岡山理科大学 工学部 情報工学科  
\*\*\*\*岡山理科大学 工学部 知能機械工学科  
\*\*\*\*\*岡山理科大学 工学部 生命医療工学科  
\*\*\*\*\*岡山理科大学 工学部 建築学科

### 1. 緒言

本報告は、岡山理科大学教育改革推進事業（平成28年度）の支援を受け、本学大学院工学研究科において、CAE (Computer Aided Engineering) による「ものづくり」教育を通して、アクティブ・ラーニングの視点から大学院教育の質的転換を図ることを目的とした取組についてまとめたものである。

アクティブ・ラーニングという用語は、平成24年の中教審の「新たな未来を築くための大学教育の質的転換に向けて～生涯学び続け、主体的に考える力を育成する大学へ～（答申）」の用語集<sup>1)</sup>の中で、「学修者の能動的な学修への参加を取り入れた教授・学習法」と説明されたことで、新たな学習指導要領における教育のキーワードとなった。さらにこの答申の本文<sup>2)</sup>には、これからの教育の在り方に関わる、学士課程教育の質的転換について「従来のような知識の伝達・注入を中心とした授業から、教員と学生が意思疎通を図りつつ、一緒になって切磋琢磨し、相互に刺激を与えながら知的に成長する場を創り、学生が主体的に問題を発見し解を見いだしていく能動的学修（アクティブ・ラーニング）への転換が必要である」と述べられている。これを受け、平成26年の中教審の学習指導要領改訂の諮問（26文科初第852号）<sup>3)</sup>にしたがって、平成28年に学習指導要領が見直され、2020年度より小学校から順次、中学校、高等学校においてアクティブ・ラーニングの視点を反映させた新しい学習指導要領に基づいた教育が実施されることになった<sup>4)</sup>。ただし、平成29年3月31日に改訂された小学校および中学校の学習指導要領<sup>5)</sup>においては、アクティブ・ラーニングという用語そのものは用いられておらず、主体的な学びという表現がなされている。しかしながら、学生自らが主体的な学びを体得できるような教育を目指すという点においては、本質的にこれまでの方針と変わりはない。なお、高等学校の学習指導要領は平成30年3月に改訂の予定である<sup>4)</sup>。

上述の通り、これからの教育においては主体的な学びに力点を置き、これを意識した教育が初等教育から行われることになる。したがって今後、こうした教育を受けた学生が大学へ入学するようになる状況に鑑みると、大学においてもその対応が求められることはいうまでもない。ただ、すでに大学においては、教員の創意工夫のもと、講義において様々な取組がなされているといえる。とくに理工系学部では、実験や実習、および卒業研究の指導において、能動的な学修スタイルを身に着けさせる教育が行われてきた。一方で大学院教育に目を転じると、学位論文作成のための研究指導という点を除くと、高度で専門性の高い理論などを学ぶことが主であり、その教授方法は座学にならざるをえない場合が多いのが実情である。こうした状況にあつて、アクティブ・ラーニングの視点から教授方法を変えようという場合、専門性の高さや理論

といったことからすると、改善はなかなか難しい。そこで本学大学院工学研究科においては、これまでに学際科目を設置するなどして、アクティブ・ラーニングを意識した、幅広い分野で活かせる内容を教授できるようカリキュラムを整えてきた。しかしながら、アクティブ・ラーニングの視点に立った、より実用的な内容の講義の設置という点において、まだ改善の余地が残されているといわざるを得ない。そこで本学大学院工学研究科においては、大学院生の主体的な学びの一助とすべく、工学の特徴である「ものづくり」に必要なCAEの紹介と、これを核に据えたアクティブ・ラーニングの視点に立った講義を共通科目として設置するという提案に至った。

以下においては、平成28年度に本学教育改革推進事業の支援を受けて行った具体的な取組を中心に、平成29年度に本学大学院工学研究科に設置した科目の概要についても触れる。

## 2. 取組における教育内容

本取組ではCAEを核に据えている。ここにCAEはComputer Aided Engineeringの略であり、計算機支援工学と訳され、工学の幅広い分野において、コンピュータを駆使して研究あるいは技術開発などの高効率化を図る分野を指す。しかしながら実際には、CAEという用語は、こうした目的のために用いるツールとしてのソフトウェアという意味で用いられることが多いといえる。多くの場合CAEを用いることで、実験装置あるいは試作機の設計や開発にかかるコストを削減できる。なお大学や企業の研究所などでは、CAEの代わりに数値解析あるいは数値シミュレーションなどともいわれる。通常CAEは、解析対象の決定とモデル化、解析対象の形状データ作成および格子生成などの前処理（プリ処理）、ソルバーを用いたシミュレーション、速度ベクトルや温度分布の表示などの後処理（ポスト処理）、これらにもとづいた実験装置あるいは試作機の設計や開発というような一連の流れで行われる。

さらにCAEは現在では、実験装置や試作機の設計や開発という「ものづくり」とどまらず、それらの中で生じている物理現象の解明においても欠かせなくなっている。また見方を変えたと、CAEを利用する「ものづくり」は結果として、コスト削減による省資源・省エネルギー、ひいては環境保全につながることもいえる。

このようにCAEは、企業等における技術開発におけるニーズはいうに及ばず、研究における解析ツールとしても、その重要性が認知されている。これは、学会においても資格試験を設け、CAEを駆使した技術者の養成に注力していることから明らかである。一般社団法人 日本機械学会では計算力学技術者（CAE技術者）の資格認定を、固体力学分野、熱流体力学分野、振動分野の3つの分野において、初級、2級、1級、上級アナリストに分けて、それぞれ行っている。さらに、CAEそのものを中心とした学会として、一般社団法人オープンCAE学会がある。ここでは、シンポジウムに加えて、ワークショップ、サマースクール、講習会などを行って、CAEの裾野を広げることに注力している。こうした状況に鑑みるに、大学において組織的にCAEの教育を行う意味は非常に大きいことは疑いない。

そこで本取組においては、最終的に本学大学院工学研究科においてCAEに関わる講義科目を設置し、組織的なCAE教育を行うことを目的とし、まずは平成28年度においては、学内にCAEを紹介することから始めることとした。

実際に学生にCAE教育を行うにあたり、ものづくり教育において最近注目されている、導入コストのかからない、オープンソースコードを用い、アクティブ・ラーニングの視点から工学教育を実施することとした。これは、オープンソースコードを用いた教育を行うことで、学生は卒業後も企業等においてCAEに関わる環境構築と継続的な学びが極めて容易となることに加え、教育にかかるコストも削減できるということによる。さらに、ここ数年の計算機性能の進歩により、パーソナルレベルのノートパソコンにおいてすら、ある程度の規模のCAEを行うことが可能になってきている。学生が、個人的に利用できる計算機環境において、コストをかけることなくCAEが行える環境は、アクティブ・ラーニングにとって必要不可欠であるといえる。現在は、まさにこうした環境が実現可能な状況にある。

CAE教育の具体的な内容を考えるにあたり、本学大学院工学研究科の構成（応用化学、機械

工学、電気・電子工学、情報工学、医工学、建築学)に鑑み、熱応力、流動、並列処理、磁場・電場に関わる解析を中心とした問題を扱えることなどから、解析本体にはオープンソースコードとして広く用いられているOpenFOAM (Open source Field Operation And Manipulation) を採用することとした。OpenFOAMは、1980年代末から英国Imperial Collegeにおいて開発され、その後、英国のNabla社からFOAMとして販売され、2004年にオープンソースとなった。したがって、完成度が高いことが特徴であるとされている<sup>6)</sup>。OpenFOAMそのものは、オブジェクト指向のプログラミング言語C++で記述された、偏微分方程式解法のためのソルバー開発用のライブラリ群であり、偏微分方程式で表されていれどどのような問題にも適用可能である。OpenFOAMは、計算機性能の進歩によるパーソナルレベルでの利用が現実的となってきた今、まさに注目されており、マニュアルのほかに解説書も出始めてきている<sup>7,8)</sup>。次に、プリ処理とポスト処理であるが、本取組では、これらを含めたすべての解析環境を、初心者でも容易にインストール可能なシステムとして使用実績ならびに評価の高いDEXCS<sup>9)</sup> (Digital Engineering on eXtensible Computing System) を用いることとした。DEXCSはOpenFOAMを解析のシステムに据え、プリ処理としてCADソフトであるFreeCADを、ポスト処理として可視化ツールであるParaViewを、さらにこれらをすべて使い勝手よく扱えるようにした統合環境としてのtreeFoamも含んでいる。そして、現在DEXCSが広く利用されつつある最大の理由として挙げられるのが、これらすべてを含むCAE統合環境を無償で利用できること、したがって計算機さえあれば、誰でも容易にCAEを始めることが可能であることである。とくにParaViewは解析対象の格子図の描画に加え、結果の可視化に必要なスカラーあるいはベクトルの物理量について、速度ベクトル、等値線、等値面の表示などの後処理において極めて完成度の高い可視化が可能である。加えて、FreeCADは格子生成や応力解析などの機能もあわせもっており、適用範囲も広い。図1に本取組における教育内容を整理して記す。図2にはDEXCS起動時の画面を記す。

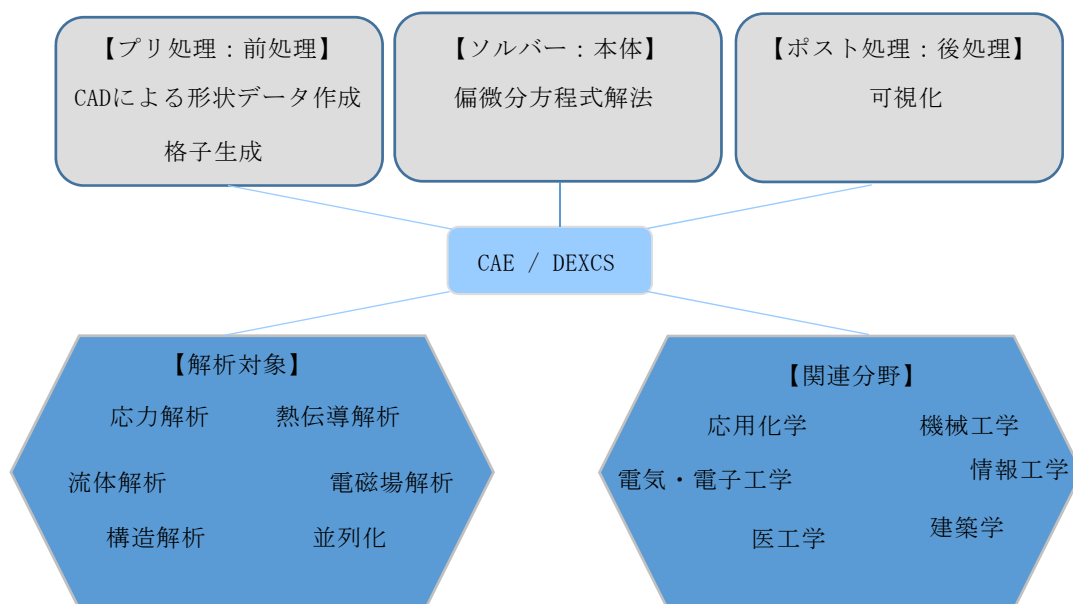


図1 CAEと関連分野の相関図

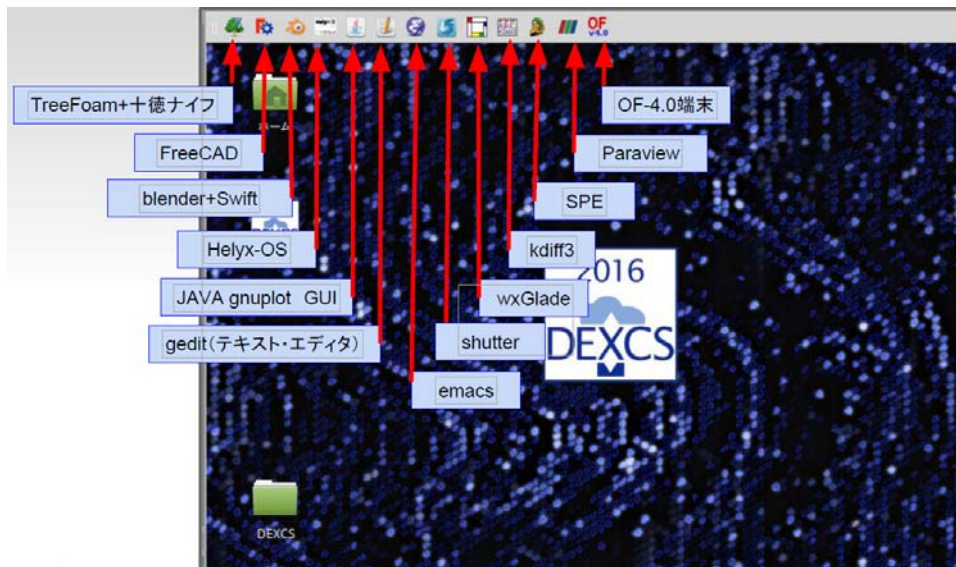


図2 DEXCS起動時の様子（講演会配布資料<sup>10)</sup>より）

### 3. 取組の実績

本取組の具体的な活動は、平成28年度に本学教育改革推進事業に採択されたことで実施した講演会と講習会そして、これらを通して本学大学院工学研究科にCAEに関する科目を設置したことである。

第1回目の取組として、工学分野では馴染みの深い用語であるCAEを、学内に紹介するための講演会を開催した（「CAEによる工学教育のアクティブ・ラーニング」，6月13日，於：本学A1号館1階プレゼンテーションルーム，15:30-17:30）。講師は、上述のCAEの統合環境であるDEXCSの開発者である野村悦治氏（OCSE<sup>v2</sup> 代表）に依頼した。具体的には、本講演会では、まずCAEとは何か、そしてCAEでどのようなことが可能か、さらに研究・開発などにおいてCAEを用いる利点とは何か、などについて紹介した。また、プリおよびポスト処理までを含んだ統合環境としてのCAEをツールとして駆使でき、しかも誰でもコストをかけることなく容易に環境構築が可能なDEXCSについても紹介した。図3(a)にこのときの様子を示した。

第2回目の取組として、機械工学や建築学を中心に需要の高い応力解析に関わる講演会を開催した（「アクティブ・ラーニングのためのCAE実習 その1 —DEXCS環境の構築と構造計算実習—」，11月15日，於：本学B1号館2階セミナー室，13:30-16:30）。講師は、前回同様、野村氏に依頼した。講演会はアクティブ・ラーニングを想定して、参加者がDEXCSを利用して具体的な課題を演習するという講習形式で行うこととした。そのために、これに先だって、参加者には、演習を始める前の準備として、自身が日頃使用しているノートパソコンを持参してもらい、DEXCS環境を構築した。DEXCSそのものは、その統合環境すべてをisoイメージファイルとすると3GB程度のシステムであるが、参加者には、最近の計算機性能の進歩により、自身が日頃利用しているノートパソコンであっても、研究などの用途に充分耐えうるCAE環境を構築することができる、ということを実感してもらった。DEXCS環境を構築した後、講演会においては講習形式で演習課題として梁の応力計算を行った。具体的にはまず、FreeCADを用いて解析対象となるモデルの形状データ作成を行った。その後、FreeCADから直接利用できる応力解析ツールを利用して、格子の生成や各種条件を設定し解析を行った。解析の結果についても、FreeCADを用いることで可視化が可能である。このように、簡単な問題であれば、モデルの作成と格子生成というプリ処理、解析ソルバーを用いた解析、結果の可視化というポスト処

理のすべてをFreeCADを用いて行うことができる。応力解析に必要な一通りの作業を確認できたところで、さらに大きな対象として、建築物の構造データを利用して、建物にかかる応力の解析も行った。参加者は、これら一連の解析を、日頃利用しているノートパソコンにおいて実行できるということを確認することができ、CAEがパーソナルユースのレベルで、十分に手が届く現状にあるということに改めて実感できたはずである。図3(b)にこのときの様子を示した。

第3回目の取組として、化学を含む各種工業装置などに関連する応用化学や機械工学、各種建築物あるいは構造物などに関連する建築学を中心に需要の高い流動解析に関わる講演会を開催した(「アクティブ・ラーニングのためのCAE実習 その2 —DEXCSを用いた流体解析実習—」, 12月13日, 於: 本学B1号館2階セミナー室, 14:30-16:30開催)。講師はこれまでと同様、野村氏に依頼した。ここでも講演会は講習形式で実施した。前回の第2回講演会と同様に、講演会に先立ち、参加者自身が日頃利用しているノートパソコンにDEXCS環境を構築した。講演会では、CAEやDEXCSなどについての概要を説明するなど、これまでの講演会の内容についても触れた後、ソルバーとしてOpenFOAMを用いて、障害物周りの流体解析などについて、格子の生成、境界条件や初期条件、物性値などのその他の条件設定を行い、具体的に解析を行って結果を可視化した。第2回目の講習においては、プリ処理、解析、ポスト処理の全てをFreeCADのみを用いて行う内容であった。これに対し第3回目の講習においては、複数のソフトウェアを利用した構成とした。具体的には、解析モデル形状作成およびこのモデルに対して格子を生成するという前段階の作業となるプリ処理にはFreeCADとDEXCSのランチャーを、そして解析ソルバーにはOpenFOAMを、さらに速度ベクトルなどの得られた結果を可視化するというポスト処理にはParaViewを用いた。この解析にあたり、OpenFOAMを本格的に利用することとなったため、講演では、OpenFOAMを用いた解析において必要となる、格子データ、境界および初期条件、物性値データ、用いるソルバーなどがどのファイルに定義されているのかなどについても解説した。また、情報工学分野と関連する並列化について、ソルバーとしてOpenFOAMを用いた場合についての解説も行った。また、今回の講習では具体的な課題として扱うことはできなかったが、温度場、電場、磁場に関わる問題についても、OpenFOAMを用いた解析が可能である。またこれらのうちのいくつかは、場合によってはFreeCADにおいて解析も可能であることについても解説した。図3(c)にこのときの様子を示した。図4にはこれら一連の講演会で扱った解析事例を記した。



(a) 第1回講演会の様子  
(平成28年6月13日、本学A1号館1階プレゼンテーションルーム)



(b) 第2回講演会の様子  
(平成28年11月15日、本学B1号館2階セミナー室)



(c) 第3回講演会の様子  
(平成28年12月13日、本学B1号館2階セミナー室)

図3 講演会の様子

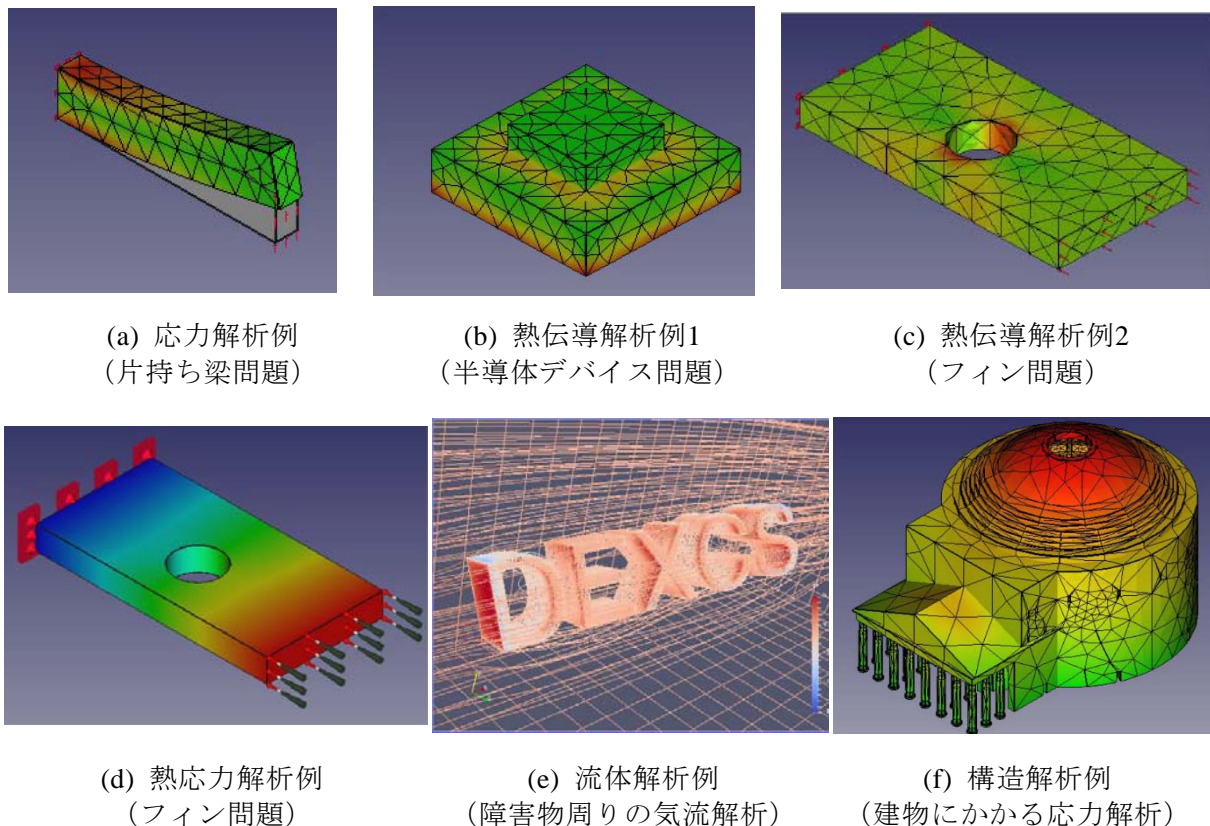


図4 CAEによる解析例（配布資料<sup>10</sup>より）

#### 4. 取組に関わる結果と考察

本取組においては、最終目標として本学大学院工学研究科においてCAEに関わる講義を設置することとしたが、そのための足がかりとして、具体的には上述の通り一連の講演会を実施することとした。講演会実施にあたり、まずは全学的にCAEについて周知するとともに、教員の講義や論文作成指導といった教育、あるいは研究において活用してもらうことを目指した。そこでまず、教員にCAEの最新情報およびその有用性に触れてもらい、十分な性能と機能を有するCAE環境を日頃使用しているコンピュータに構築できることを実感し、教育および研究へ還元してもらうことを念頭に置いて、工学部所属教員の約半数に相当する50名が本講演会に参加することを本取組の数値目標とすることとした。

講演会への参加者の集計データとしては、第1回講演会に36名、第2回講演会に14名、第3回講演会に15名の参加者があり、合計でのべ65名の参加者となり、当初の数値目標は達成された。参加者には、学生も含まれており、さらにその中には工学部以外の学生の参加もあった。このことから、参加した教員にとっては自身の研究活動のみならず、学生の卒業研究などにおいても、CAEが有効なツールの1つとなり得ることを実感してもらえたと考えられる。

上述の通り、本学教育改革推進事業（平成28年度）の採択を受け、CAEの周知および紹介という啓蒙的な取組の実績をもとに、最終目標として掲げた本学大学院工学研究科におけるCAE関連科目設置を検討することとなった。その結果、平成28年度中に本学工学研究科共通科目として「CAE演習」を設けることが決まり、平成29年度より開講することとなった。なお、開講にあたっては、演習という形式を考慮した教育効果に鑑みて3回の集中形式とすることとした。講義の構成としては、平成28年度の講演会の内容を深く掘り下げて充実させる形とした。具体

的には、1回目はCAEの概要として、「ものづくり」におけるCAEの位置づけ（過去・現在・未来）、オープンCAEとは何か、DEXCSの概要とDEXCSの可能性、CAE演習のためのDEXCSインストールと簡単な課題演習について学ぶ。2回目は、3D-CADとしてのFreeCADの概要と機能紹介、そしてこれを用いた応力解析と熱伝導解析に関わる課題演習を行う。3回目では流体解析に関わる課題演習を行うが、流体解析はとくに計算時間を要するため、計算時間の短縮のための並列計算の紹介とその実習を行う。とくにこの講義では、学生は自身の学位論文研究を遂行するにあたり、講義で修得したスキルを直接活かして解析が可能となるため教育効果は高い。この結果として、本取組みは文部科学省が初等教育からの導入を予定している主体的学び（アクティブ・ラーニング）についての、CAE教育を通した大学院教育における本学内実践事例であるといえる。また、CAEを専攻レベルではなく、さらに広い研究科という枠組みの中で整備できたという点において、本取組の果たした役割は大きい。

上述の通り、本取組は研究科という枠組みの中での科目設置を実現できたという点において一定の成果を挙げることができたといえる。しかしながら、今後の課題としては、大学院生自らが独力で自身の研究課題に関わる具体的な問題を解けるよう、講義内容をさらに検討する必要がある。平成28年度で実施した講演会という形式にくらべて、平成29年度から実施している講義という形式の方が、解析に費やせる時間は長くはなかったものの、各専攻の代表的な課題を扱うには十分な時間であるとはいえない。したがって、反転授業的な要素を取り入れたり、学部生を対象とした講習会を行って早期からCAEに触れさせるなどの取組が有効であると考えられる。

## 5. 結言

アクティブ・ラーニングの視点に立ったCAEを利用した工学教育の実践報告として、岡山理科大学教育改革推進事業（平成28年度）の支援を受けた成果をまとめて報告した。

支援を受けて行ったCAEに関わる講演会においては、予め立てた数値目標を達成することができた。また、参加者についても、教員と学生という立場の違いに加え、参加者の所属も複数学部であったことから、本取組みによってCAEを学内の幅広い層に対して周知することができた。

講演会における内容をさらに充実させ、本学大学院工学研究科の共通科目として「CAE演習」を設置することができた。

今後は、学部生など、さらに対象を広げてCAE、ひいては「ものづくり」教育についての啓蒙を行うとともに、アンケートなどにより定量的な評価へと繋げたい。

## 謝辞

本取組は、平成28年度岡山理科大学教育改革推進事業の支援を受けた。また、図の使用は、野村悦治氏のご好意による。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 文部科学省：中央教育審議会「新たな未来を築くための大学教育の質的転換に向けて～生涯学び続け、主体的に考える力を育成する大学へ～（答申）」、用語集、p.37、20012.8.28
- 2) 文部科学省：中央教育審議会「新たな未来を築くための大学教育の質的転換に向けて～生涯学び続け、主体的に考える力を育成する大学へ～（答申）」、本文、p.9、20012.8.28
- 3) 文部科学省：初等中等教育における教育課程の基準等の在り方について（諮問）、26文科初第852号、2014.11.20
- 4) 文部科学省：次期学習指導要領改訂に関する今後のスケジュール（予定）、2015.11月  
([http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo3/061/siryu/attach/1364457.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/061/siryu/attach/1364457.htm))
- 5) 文部科学省：小学校学習指導要領、中学校学習指導要領、2017.3.31
- 6) 今野 雅、白澤多一ほか：[特集] オープンソースの大きな流れ、ながれ、第31巻、No.3、pp.253-300 (2012)
- 7) 一般社団法人 オープンCAE学会編：OpenFOAMによる熱移動と流れの数値解析、森北出版（2016）
- 8) 柳瀬真一朗ほか：OpenFOAMプログラミング、森北出版（2017）
- 9) DEXCS Official Wiki、<http://dexcs.gifu-nct.ac.jp/pukiwiki/index.php>
- 10) 野村悦治：講演会および講義「CAE演習」配付資料(2016, 2017)