

# Finite Element Analysis makes a good engineer great, and a bad engineer dangerous ~ CAEにおける初動教育のありがた～

Finite Element Analysis makes a good engineer great, and a bad engineer dangerous  
～ What initial education for CAE should be～

荒井皓一郎<sup>1)</sup>，渡邊浩志<sup>2)</sup>，上野山拓也<sup>1)</sup>

Koichiro Arai, Hiroshi Watanabe, Takuya Uenoyama

1) Hexagon (〒101-0054 東京都千代田区神田錦町2-2-1 KANDA SQUARE 16 階

E-mail: [koichiro.arai@hexagon.com](mailto:koichiro.arai@hexagon.com))

2) 株式会社テクスパイア (〒102-0083 東京都千代田区麹町3丁目3番8号 麹町センタープレイス 4F E-mail:  
[watanabe.hiroshi@techspire.co.jp](mailto:watanabe.hiroshi@techspire.co.jp))

In recent years, as CAE has become more and more popular, the technical skills of CAE engineers and their backgrounds have become more diverse. As a result, some engineers use CAE without understanding its background. Their use of CAE looks “dangerous”. CAE education for them is very important, but CAE education still has many problems, and many beginners stumble in the initial education. In this paper, we discuss about what initial education for CAE should be.

**Key Words :** CAE, Finite Element Analysis, Education, Study of Failure

## 1. はじめに

近年、製造業におけるCAEの利用範囲はかつてない速度で広がっており、これまでは使われていなかった分野・領域にも広がりつつある。これは計算機の性能向上によって現実的な時間で実用的な規模の解析が可能となったことや、ソフトウェアの低価格化やCAD付属のFEMソルバーの普及、高度なGUIを有するソフトウェアの増加などによってCAEを使用するハードルが低くなったことが要因と考えられる。また、近年のDX化の取り組みの一環として、デジタル技術への大きな期待を抱いてCAEの活用を検討し始める例も見受けられる。

CAEの利用範囲の拡大に伴い、CAEを使用するエンジニアの層も多種多様となっており、材料力学や連続体解析学、計算機工学などを学んだことがない、あるいはこれらの根幹をなす数学や一般力学の知識も不十分な状態で使用するケースも散見されるようになった。20世紀の間、CAEはこれらの領域の専門家が使用するものであり、使用者は手法に対する深い知識を有する者であった。近年では直感的に操作が可能なGUIを有する商用ソフトウェアが数多く存在しており、操作方法を覚えれば「動かす」ことは誰にでもできるようになりつつある。しかしながら、このようなソフトウェアを「動かす」と「使いこ

なす」ことの間には大きな乖離がある。「使いこなす」ためには、依然として多くの専門知識が要求されるままである。

このように、CAEを「使いこなして」有益な結果を得るためには高い知識や技術が求められる。このような知識を持たないエンジニアはしばしば “Finite Element Analysis makes a good engineer great, and a bad engineer dangerous!” (By Robert D. Cook, Professor of Mechanical engineering, University of Wisconsin, Madison) という名言の示す状態に陥る。CAEの普及に伴い、このようなCAEにおける「失敗」とも言える状態に陥るケースは増加しつつある。

このような「失敗」を回避して正しい解析結果を得るための対策の一つとしてVerification and Validation(V&V)が挙げられる。また、日本機械学会が実施している計算力学技術者認定試験はCAE技術者の能力向上および保障の役割を担っている。これらは「動かす」と「使いこなす」ことの違いを理解しているエンジニアが在籍している環境では有効な対策と考えられる。しかしながら、「失敗」はそのようなエンジニアがいない環境で発生するケースが大半である。残念ながらこれらの取り組みはこのような環境で発生する「失敗」を回避する対策にはなり得てい

ないのが実情と思われる。

著者らはこのような「失敗」の防止を目的として、「失敗」の要因分析を行ってきた。その一環として、固体力学分野における失敗例を以下のように列挙した[1]。

- ・ 線形 FEM の基礎を理解していない
- ・ 力学の基礎を理解していない
- ・ 非線形 CAE の基礎を理解していない
- ・ 技術者倫理を理解していない

また、前報[2]では「失敗」に至る要因として、学習の過程に着目し、図1に示すダニング・クルーガー効果[3]~[5]になぞらえて考察を行った。その中で、CAEを使用し始めたばかりのエンジニアの知識量・経験値もまた多種多様であることを指摘した。

本論文では、CAE初学者が学習を開始する時点に焦点を当て、学習を進めるために必要な情報など、初動教育のありかたについて考察を行った。

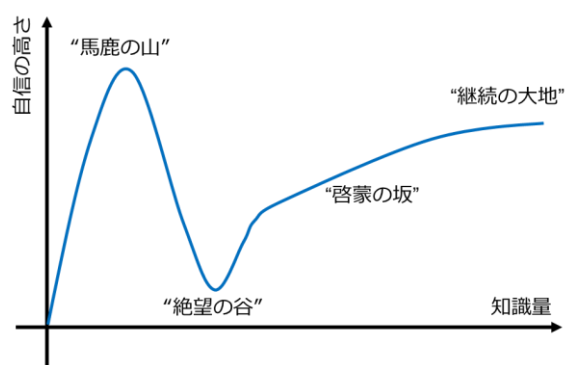


Fig.1 Dunning-Kruger effect

## 2. CAE初学者が有する知識量の初期値

CAE初学者が有する知識量および経験値の初期値は、受けてきた教育内容によって多種多様である。ここでは企業でCAE業務を担当することになった新任エンジニアの状況を例に考える。

まず、新任エンジニアの状態を以下の4つに分類する。

- CAE の手法開発の研究、あるいは CAE を用いた研究の経験がある。
- CAE や、その基礎となる学問（材料力学や連続体解析学など）の講義を受講した経験がある。
- 数学や一般力学などの講義を受講した経験がある。
- 上記全てに該当しない。

各項目の中にも知識量・経験値の差は存在するが、ここでは基礎と呼べる内容を十分に理解していることを分類の基準として扱う。

(a), (b)は例えば機械工学科や土木工学科など、CAE の活用を積極的に行っている分野の学科卒のエンジニアが該当する。(a)の新任エンジニアは初期値として最も理想的な状態と言える。初動教育と呼べる内容の大半は研究

を通して実施済みである。この場合に求められるのは、不足した知識を補強する教育を施し、慢心させずに学習を続けさせること、言い換えると図 1 に示したダニング・クルーガー効果における“馬鹿の山”に滞在させないように導くことである。環境次第で一人前のエンジニアになる下地がある状態と言える。(b)の新任エンジニアについても最低限の下地がある状態であり、一般的な CAE 教育を受けながら、実務を通して研鑽を積んでいくことが可能と考えられる。これらのケースは、理想的な採用・配属が行えた場合と言える。

一方で(c), (d)のケースは前述のケースと比べて初動教育として実施しなければならない項目が多くなる。(c)の新任エンジニアは、前述の例の学科を卒業したものの、該当分野が苦手であったエンジニアや、例えば数学科や物理学科卒のエンジニアが該当する。このような場合、材料力学などの CAE における基礎学問の習得を行う必要があり、これは(a), (b)で挙げた学科で学習する内容を何らかの方法で習得する必要があるということを意味する。このような教育を企業の研修で実施している例は稀であり、多くの場合は独学での学習が必要となる。独学でこれらの分野を習得できるのは、高いモチベーションを持ったエンジニアに限られ、未習得のまま業務に従事するエンジニアも少なくない。(d)の新任エンジニアは、生物系の学科卒や CAD オペレータの専門学校卒などが該当すると思われる。この場合は材料力学や連続体解析学などの基礎学問を学ぶための基礎が不足している状態であり、大学数学などからの学習が必要となる。この場合も独学での学習が必要となるが、(c)の例以上にハードルが高い。このような状態から CAE 業務を開始したエンジニアは、CAE における「失敗」に陥る危険性が高まると考えられる。彼らに対して十分な初動教育を行い、少なくとも(b)のエンジニア相当の知識を獲得させる必要がある。

現在(a)や(b)のエンジニアを対象とした講習・参考書は良質なものが数多く存在しているが、(c)や(d)のエンジニアを対象としたものは限られる。後者のエンジニアが前者向けの書籍を手にとってしまった場合、内容と読者のレベルのミスマッチから挫折に至る可能性が高い。

## 3. 初動教育に求められること

初動教育において重要なことは以下の3つである。

- ・ 学習を開始させること
- ・ 学習が必要な理由を理解させ、能動的に取り組む姿勢を獲得させること
- ・ 学習を継続させること

まずは学習を開始させなければ何も始まらない。例えば、気軽に参加できる講習会や、手軽に参照可能な書籍、Web サイトや学習用動画など、入口の敷居を下げることが重要と考えられる。自発的に学習を始めようと思った際に適切なコンテンツに容易にアクセスできる環境が必要である。学習を開始させるという点では、半ば強制的に参加

させられる研修であっても良い。

学習を開始できたとしても、自らの意思で学習に取り組む姿勢がなければ習得は困難である。学習が必要な理由を理解して納得し、能動的に学習に取り組むように促す必要がある。これには学習開始時の動機付けが重要と考えられる。具体的には以下の3つの内容を初期段階で扱う必要があると考える。

- ・ 学習を進めることで何が得られるのか
- ・ 学習を怠った場合にどんな「失敗」に陥るのか
- ・ これから学習する内容の全体像と自身の状態

例えば、「応力値を求めて設計プロセスの中でどのように使用して何を判断するのか」など、実務と関連付けられた具体的なストーリーを予め理解しておくことが重要と考える。また、学習が不十分な状態で実務を行った場合に、どのような危険な状態に至るのかなど、「失敗例」を具体的に提示することも重要と思われる。例えば「せん断ロックキングが発生した場合、実際の評価の上でどのような悪影響が生じるのか」など、具体的な例を学ぶことによって危機感を持たせる必要がある。このように、学習内容が自身の業務と直結するものであることを実感することで、学習のモチベーションを獲得できるケースは少なくない。また、学術的興味から学習のモチベーションを獲得できているエンジニアに対しても、このような内容は実務への適用イメージを明確化する上で有用と考えられる。さらに、これから学習する分野がどのような学問の上に成り立っているのか、各分野がどのように関係しているのかといった全体像を俯瞰して理解させることも重要である。この全体像の中で、自身がどの領域までを理解しており、これから何を学習する必要があるのかを把握した上で学習計画の検討を行うべきである。これによって、初学者の能力と受講する講習や使用する教材のレベルのミスマッチを防止することが可能と考えられる。

最後に、学習の継続を促すには、学習によって明確なメリットが得られたという実感を持たせることが重要である。例えば、学習内容が業務の中で活かすと実感できる経験や、評価や報酬に明確に反映された実感を持つことなどである。学習を進める上で相談できる相手や、競い合う相手がいる環境であることも重要と考えられる。これらは組織の状態や上司の理解に依存するところが大きいですが、学協会などの自組織外の団体を活用することで補える点も多い。また、学習を無理なく飽きさせずに継続させるという点では、1コンテンツあたり5~10分程度の学習動画を活用することも有効と思われる。

初学者向けを謳った講習や書籍、Webサイトは現在も多数存在しているが、2章の(c)や(d)のエンジニアにとっては高難易度な内容のものや、簡単にしようとするあまりに必要な内容が欠落してしまっているものも見受けられる。また、学習のモチベーション獲得を意識した講習は少ない。1つの学問に対する導入講習・書籍としては良質なものであったとしても、全体像を俯瞰して解説し、隣接分

野との関係性を明らかにしているものは少なく、点と点を結ぶ役割を担うものが欠けているように思える。このような役割を担う、理論的な内容などの学習に入る前の前置きとなるコンテンツが初動教育には必要なのではないだろうか。

#### 4. まとめ

本論文では初動教育のありかたについて、CAE業務を開始した新任エンジニアの状況を分類した上で考察を行った。初学者に学習を開始させ、能動的に取り組ませるためには、学習によって得られるメリットや学習を怠った場合に生じるリスクなどを理解させ、当事者意識を持たせることで、学習の動機を獲得することが重要と考える。また、CAE初学者の持つ知識量や経験値は多種多様であり、それぞれに合わせた教育内容を適切に選択する必要がある。学習を開始する時点でCAE関連分野の全体像を俯瞰し、自身の状態を分析する機会を設けることが望ましい。これを行うためにはCAE関連分野の全体像を明確にする取り組みが必要と考えられる。これにより、学習のロードマップを作成することや、一般論として定まった領域と、現在も研究が行われている領域の可視化を行うことも可能と思われる。また近年では小中学生向けの教育等において、短い学習動画が有効に活用されている。このような形式の学習教材は学習に対するハードルを下げ、学習の継続を促すうえで有効と思われる。

初動教育においては、まずは学習のモチベーションを獲得させることを意識し、個々の理論の学習に進む際に、適切なスタート地点に導き、学習の継続を促す仕組みを作ることが重要である。

#### 参考文献

- [1] 渡邊浩志, 荒井皓一郎, 上野山拓也, Finite Element Analysis makes a good engineer great, and a bad engineer dangerous ~CAEにおける失敗学, 計算工学講演会論文集, Vol.27, D-02-03, 2022
- [2] 荒井皓一郎, 渡邊浩志, 上野山拓也, Finite Element Analysis makes a good engineer great, and a bad engineer dangerous ~CAEにおける失敗の要因分析, 計算工学講演会論文集, Vol.28, A-08-04, 2023
- [3] Kruger, J., Dunning, D., Unskilled and Unaware of It: How Difficulties in Recognizing One's Own Incompetence Lead to Inflated Self-Assessments, J Pers Soc Psychol. Vol. 77, No.6, pp.1121-1134, 1999
- [4] HR BLOG「ダニング=クルーガー効果とは? 陥りやすい人の特徴と対処法」  
[https://motifyhr.jp/blog/training/dunning-kruger\\_effect/](https://motifyhr.jp/blog/training/dunning-kruger_effect/)  
(参照日 2024/4/8)
- [5] Joseph Paris “Lessons from Mt. Stupid”  
<https://josephparis.me/my-articles/lessons-from-mt-stupid/> (参照日, 2024/4/8)