連載講座 技術者のための資格

日本機械学会認定計算力学技術者
(CAE 技術者)

JSME Certified Computational Mechanics (CAE) Engineers

吉村 忍

Shinobu YOSHIMURA

◎1987 年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了。同年東京大学工学部講師，その後助教授，人工物工学研究センター助教授，工学系研究科助教授，新領域創成科学研究科教授を経て，2008 年 4 月から現職

◎研究・専門テーマは，知的シミュレーション・計算力学の研究開発，およびその工学，社会・環境分野への応用に関する研究教育に従事

◎正員，フェロー，東京大学大学院教授工学系研究科（システム創成学専攻）
〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1/
E-mail : yoshi@sys.t.u-tokyo.ac.jp

計算力学は，デジタルエンジニアリングの中核を担う基盤技術であり，ほとんどあらゆる理工学分野で活用されており，最近では医学関係にも応用が進んできている。また計算力学技術は，エンジニアリングの現場では，CAD（Computer-Aided Design）や CAM（Computer-Aided Manufacturing）と対比されて CAE（Computer-Aided Engineering）とも呼ばれている。

3. 計算力学技術者資格のねらい

高性能かつ廉価で使いやすい PC や OS が普及し，そのような環境でさまざまな汎用計算力学ソフトウェア（CAE ソフトウェア）も利用できるようになってきた。その結果，計算力学のユーザ層が急速に広がってきている。いっぽう，グラフィカル・ユーザインタフェース（GUI）が整備されてデータ入力が簡便になり，可視化技術の進歩によって解析結果がきれいに表示されるようになってきたとはいえ，計算力学ソフトウェアをブラックボックス的に利用して信頼できる解を得ることはまだできない。一見するとのもっともらしい解析結果が得られたとしても，不適切な要素分割，境界条件の設定間違い，あるいは不適切なアルゴリズムの選択などによって，まったく見当違いの解析結果を得ているかもしれないという危険性を常にはらんでいる。信頼できる解析結果を基に設計すれば高性能の製品開発や安全性に優れた製品開発を効率的に行える反面，間違った解析結果に基づき設計・製造を行った場合には，性能不足や事故などの大きな損失につながる。したがって，計算力学のメリットを最大限に活用するためには，計算力学ソフトウェアの品質保証に加えて，計算力学技術者の品質保証を行い，計算力学解析の信頼性を担保することが大変に重要である。

4. 日本機械学会の取り組みの変遷

日本機械学会では，以上のような認識のもとに，2000 年より計算力学技術者の基準と認定のあり方について，計算力学部門の中で議論を開始した。2002 年 3 月からは当会の工学教育センターのもとに計算力学技術者基準と認定に関する検討委員会を設け，2003 年 4 月に「固体力学分野の有限要素法解析技術者」の認定に関する試行（パイロットスタディー）を実施した。そして 2003 年 12 月に，多く

1. はじめに

世界に先駆け日本で初めて 2003 年度にスタートした（社）日本機械学会の計算力学技術者（CAE 技術者）認定事業（<http://www.jsme.or.jp/cee/cmnintei.htm>）も，その後着実に発展している。2007 年度からは，固体力学分野の有限要素法解析技術者（1 級），（2 級），（初級），熱流体力学分野の解析技術者（1 級），（2 級），（初級）の 2 分野 6 クラスの認定事業が行われており，2009 年度からは，最上位資格である計算力学上級アナリストの認定も開始する。本稿では，本認定事業のねらいと認定事業の概要，これまでの実績，そして今後の展望について解説する。

2. 計算力学とは

本誌読者にとって「計算力学（Computational Mechanics）」は周知の事柄であると思うが，はじめに，計算力学について簡単に述べる。

これから設計しようとする製品をコンピュータ上に仮想的に構築し，その中で変形や振動，熱伝導，流動などのさまざまな力学挙動を精密に評価することにより，製品開発の効率化を図り，同時に性能向上や品質向上を目指すのが，デジタルエンジニアリング（Digital Engineering）である。

の計算力学関連学会等の支援を受けながら、世界に先駆けて、固体力学分野の有限要素法解析技術者を対象として、「計算力学技術者 2 級」の認定事業がスタートした。それ以降、順次範囲・レベルを拡大し、2005 年 12 月からは「計算力学技術者 2 級（熱流体力学分野の解析技術者）」の認定事業もスタートした。本認定事業は、2006 年 4 月からは能力開発促進機構の計算力学技術者資格認定事業委員会（2009 年 4 月からイノベーションセンターの計算力学技術者資格認定専門委員会に改組）に引き継がれた。また、本認定事業は、本会の 7 部門、4 支部、および国内の 35 の計算力学関連学協会の協賛ならびに日本機械工業連合会と日本産業機械工業会の後援を得て実施され、よりいっそうの発展を目指している。

5. 本資格の二つの効用

本認定資格の各分野・レベルについては後述するが、本認定制度を通して次の二つの効用が期待される。第一は、計算力学技術者の品質保証という効用である。従来、計算力学ソフトウェアは、多くの不特定多数のユーザを通してさまざまな工学問題へ適用されることによって信頼性が確認される、あるいはその経験がフィードバックされてソフトウェアが絶えず改良されることによって品質が保証されてきた。これは一種のデファクトスタンダード（事実上の標準）の成立メカニズムに基づく品質保証といえる。このような計算力学ソフトウェアの品質保証に加えて、本資格認定制度を通じて解析技術者の品質保証がなされることにより、はじめて計算力学解析結果の信頼性が担保されることになる。

第二の効用は、計算力学技術者の社会的地位の向上また社会的認知という側面である。本資格認定制度を通じて、計算力学技術者の技術レベルと責任範囲が公的に認知されることとなり、結果的に計算力学技術者の社会的価値が高まり、さらに計算力学技術者を採用する企業側にとっても、一定レベルの知識・技能を期待できるようになる。

6. 本認定事業の概要

6.1 分野とレベル

本認定事業には、2008 年度現在で固体力学分野の有限要素法解析技術者（1 級）、（2 級）、（初級）、熱流体力学分野の解析技術者（1 級）、（2 級）、（初級）の 2 分野 6 クラスの認定事業が行われている。その認定技術レベル、対象者の目安、試験分野を表 1 に示す。

6.2 認定手順

初級認定は、2 級認定事業の付帯講習「技能編」あるいは公認 CAE 技能講習会（後述）を受講修了したうえで、書類審査により認定要件を満たしている場合に認定する。2 級認定は、3 年以上の解析実務経験を有するか、付帯講習「技能編」あるいは公認 CAE 技能講習を受講修了したうえで、2 級認定試験で所定の成績を修めた方に認定証を発行する。1 級認定は、2 級資格を有する方で、1 級認定試験で所定の成績を修めた方に認定証を発行する。

6.3 標準問題集と認定試験対策講習会

本認定事業では、2 級および 1 級認定試験のガイダンスとすべく、それぞれの分野・級ごとに標準問題集を編集し

ている。本問題集は、独習しやすいように、前半部に問題、後半部に解答・解説を記載している。

また、本標準問題集をテキストとして、本認定試験の試験対策講習会を、本会の計算力学部門、流体工学部門、熱工学部門が毎年開催している。

6.4 付帯講習（技能編）と公認 CAE 技能講習会

本資格認定において解析実務経験は必須と考えており、固体力学分野では、有限要素法解析ソフトウェアを用いた付帯講習（技能編）の受講を必須としている。この講習では、下記の項目を実施する。

1. ソフトウェアの起動、利用、停止
2. 解析実習
 - 2.1 解析の基礎
 - 2.2 要素選択
 - 2.3 メッシュ生成
 - 2.4 境界条件設定
 - 2.5 解析と結果の確認
 - 2.6 解の信頼性確認

上記のうち、2.1～2.5 までは、各講習会において、利用する CAE ソフトウェアを正しく用いて解析結果を得るプロセスを修得するために行われるものであり、通常のソフトウェアベンダ等が実施する CAE 技能講習会ではこれを講習の主目的とする場合も多い。しかし、本認定事業の趣旨は、計算力学の解析結果がさまざまな要因に支配され、その設定違いによってさまざまな誤った解を得る可能性があり、そのような状況の中で、いかにして信頼できる解を得るか、という技術力を認定するところにある。解析結果が変化する要因としては、①モデル化、②要素選択、③メッシュ分割、④境界条件・荷重条件設定、⑤物性値設定など、さまざまなものがある。付帯講習（技能編）でも、この点を重視した講習を行う。なお、上述の趣旨に則り、民間のソフトウェアベンダや学協会、大学や高等専門学校などが実施する CAE ソフトウェアの講習会や演習付き講義においても、2.6 のプロセスとして、上記の①～⑤のうち少なくとも 2 種類の要因（この中には④を必ず含むこと）変化に応じて解析結果が変化し得ることを体験させ、その中で、解析解や参照解などとの比較を通して解の信頼性を確認させる、ことを含むものは公認 CAE 技能講習会として認定し、その受講をもって、付帯講習（技能編）を免除できる。また、3 年以上の解析実務経験を有する場合にも、本付帯講習（技能編）を免除する。公認 CAE 技能講習会の実施機関の詳細は、認定事業のホームページを参照されたい。

6.5 資格有効期間と更新審査

計算力学という進歩の速い技術分野においては、資格を取得した後も、計算力学技術者としての最新の技術動向に注意を払いながら、技術専門職上の能力・技芸の向上に努めることが求められる。この観点から、本資格の有効期間を 5 年間で設定している。

1 級・2 級資格は、日々の計算力学解析関連業務に関する所定の更新審査を受けて合格することにより引き続き 5 年間で有効となる。具体的には、次の 2 種類の資格更新制度がある。

方式 A：これは、日本機械学会の能力開発支援システムを活用し CPD（Continuing Professional Development）ポイ

ントを蓄積するものである。資格継続に必要な5年間の積算ポイント数は2級資格で60ポイント、1級資格で80ポイントである。本会の能力開発システムのポイント取得法に関する詳細は、そのホームページ (<https://www2.jsme.or.jp/jsme-member/pgasp/cpd/setumei.htm>) を参照されたい。

方式B：本資格取得後あるいは資格更新後、計算力学に関する業務を3年以上継続している人は、資格更新可能である。

7. 認定事業の実績

2008年度を例に本事業の実績について簡単に述べる。

固体力学分野の認定事業（試験と付帯講習）は、2008年12月13日に、関東地区会場（慶應義塾大学理工学部矢上キャンパス）、東海地区会場（名古屋大学工学研究科キャンパス）、関西地区会場（大阪科学技術センター）、北陸地区A会場（金沢大学角間キャンパス）、九州地区会場（九州大学伊都キャンパス）の5会場で行われた。また、熱流体分野の認定試験は、同日に関東地区会場（東京工業大学大岡山キャンパス）、東海地区会場（名古屋大学工学研究科キャンパス）、関西地区会場（大阪科学技術センター）、九州地区会場（九州大学伊都キャンパス）の4会場において行われた。

2003年度から2008年度までの2分野6クラスの認定試験の、申込者数、受験者数、合格者数の実績を表2に示す。2003～2008年の合計では、固体力学（1級）の合格者は412名、固体力学（2級）は987名、熱流体力学（1級）は88名、熱流体力学（2級）は381名となり、その延べ人数は1868名となった。また、2006年度からスタートし

た公認CAE講習会の受講修了に基づき認定する初級については、固体力学（初級）が124名、熱流体力学（初級）が89名となった。

受験者アンケートを見ると、受験者を送り出している半数近くの企業が、受験料の支払いや合格者への一時報奨金の支給などを通して積極的に受験を奨励していることがわかった。また、資格取得者からは、「資格取得により、業務を進めるうえでの説得力がアップした」、「名刺や報告書に資格名を記載しており、能力と安心感をアピールできる」、「合格者氏名が学会誌やホームページに掲載されており、お客様の評判に」、「あやふやだった知識が整理され、自信につながった」、「学生に取得させ、就職活動に役立たせたい」、「部下育成のために、まずは上司の私が資格を取得」、「社内での評価基準として、この資格を活用しています」、「これからは1級を取得した私が社内の先生役です」、「試験対策として定期的に勉強会を行っています」、という声が多数寄せられている。本資格認定が、確実に計算力学技術者のレベル向上への動機付けとなっていることがわかる。

8. 今後の展望

本認定事業では、1級資格取得者が次に挑戦する資格として最上位級の上級アナリスト技術者の認定を2009年度開始予定である。上級アナリスト技術者は、計算力学解析に関する解析経験を十分に有し、計算力学解析に関連するプロジェクトを指導していくことができるレベルを考えている。計算力学は世界中で活用されており、国内で着実に広がりつつある本認定事業が、今後世界にも広がっていくことを期待している。

（原稿受付 2009年1月26日）

表1 資格種類、認定技術レベル、対象者の目安と試験分野

	初級	2級	1級
固体力学分野の有限要素法解析技術者	<p>●認定技術レベル</p> <p>有限要素法に基づく線形応力解析の基本手順を理解し、CAEソフトウェアを用いた基本的な技能講習を修了しており、上位の級の有資格者の指導のもとに、基本的な線形弾性問題の解析を適切に行えるものと期待できる。</p>	<p>●認定技術レベル</p> <p>基本的な固体力学の問題に対して、線形弾性の範囲において正しく解析問題を設定することができ、線形弾性の有限要素法解析の内容を理解しており、さらに解析結果の信頼性を自分自身で検証することができる。よって、いずれかの信頼のおけるCAEソフトウェアを用いて適切な解析機能を選択しながら、基本的な線形弾性問題を大はずれを出すことなく解けるものと期待できる。</p> <p>●対象者の目安</p> <p>機械系大卒レベルの数学的、力学的知識を有し、1年以上の解析実務経験を有する技術者。</p> <p>●試験分野</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 計算力学のための数学の基礎 2. 固体力学の基礎 3. 熱伝導の基礎 4. 有限要素法の基礎Ⅰ 5. 有限要素法の基礎Ⅱ 6. 数値計算法の基礎 7. 要素の選択 8. モデリングの基礎 9. 境界条件の使い方の基礎 10. プレポスト処理の基礎 11. 結果の検証の基礎 12. コンピュータの基礎 13. 計算力学技術者倫理 	<p>●認定技術レベル</p> <p>固体力学分野の解析実務において、各種非線形性や線形破壊力学を取り扱う有限要素法解析の内容を理解しており、解析問題の設定や解析を適切に行えるとともに、解析結果の信頼性を検証するプロセスを理解している。よって、いずれかの信頼のおけるCAEソフトウェアを用いて適切な解析機能を選択しながら、各種非線形性や線形破壊力学を取り扱うCAE解析を大はずれを出すことなく解けるものと期待できる。</p> <p>●対象者の目安</p> <p>機械系大学院卒レベルの数学的、力学的知識を有し、3年以上の解析実務経験を有する者。</p> <p>●試験分野</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 非線形解析における応力とひずみ 2. 材料非線形（弾塑性、クリープ、粘弾性） 3. 幾何学的非線形 4. 境界非線形（接触） 5. 破壊力学・疲労解析 6. 動的解析 7. 伝熱解析 8. 要素テクノロジー 9. 数値解析法 10. 解の検証 11. 情報処理

(前ページより続く)

熱流体分野の 解析技術者	<p>●認定技術レベル</p> <p>基本的な流体力学・熱力学（伝熱学を含む）の問題に対して、基本手順を理解し、CAE ソフトウェアを用いた基本的な技能講習を修了しており、上位の級の有資格者の指導のもとに、基本的な熱流体問題の解析を適切に行えるものと期待できる。</p>	<p>●認定技術レベル</p> <p>基本的な流体力学・熱力学（伝熱学を含む）の問題に対して、単相の非圧縮性流／圧縮性流／層流／乱流の範囲において正しく解析問題を設定することができ、解析方法の内容を理解しており、さらに解析結果の信頼性を自分自身で検証することができる。よって、いずれかの信頼おける CAE ソフトウェアを用いて適切な解析機能を選択しながら、基本的な熱流体問題を大はすれを出すことなく解けるものと期待できる。</p> <p>●対象者の目安</p> <p>機械系大卒レベルの数学的、力学的知識を有し、1 年以上の解析実務経験を有する技術者。</p> <p>●試験分野</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 計算力学のための数学の基礎 2. 流体力学の基礎 3. 熱力学・伝熱学の基礎 4. 数値計算法 5. 格子生成法 6. 乱流モデル 7. 境界条件 8. ポスト処理の基礎 9. 結果の検証方法の基礎 10. コンピュータの基礎 11. 計算力学技術者倫理 	<p>●認定技術レベル</p> <p>熱流体力学分野の解析実務において、単相流、混相流、燃焼流の解析内容を理解しており、解析問題の設定や解析を適切に行うとともに、解析結果の信頼性を検証するプロセスを理解している。よって、いずれかの信頼のおける CAE ソフトウェアを用いて適切な解析機能を選択しながら、単相流、混相流、燃焼流を取り扱う CAE 解析を大はすれを出すことなく解けるものと期待できる。単相流、混相流、燃焼流の分野は選択式で、一つの分野を指定する必要がある。</p> <p>●対象者の目安</p> <p>機械系大学院卒レベルの数学的、力学的知識を有し、3 年以上の解析実務経験を有する技術者</p> <p>●試験分野（下記のうちいずれか一つの分野）</p> <p>単相流に関する分野</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 非圧縮性流れの物理 2. 非圧縮性流れの計算法 3. 圧縮性流れの物理 4. 圧縮性流れの計算法 5. 格子の取り扱い 6. 流れの物理とモデル化 7. 設計応用 8. 高速化とポスト処理 9. 結果の評価 <p>混相流の分野</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 混相流の基礎 2. 気泡・液滴・粒子 3. 波と界面 4. 平均化モデル 5. 界面追跡・捕獲法 6. 粒子追跡モデル 7. 相変化 8. 結果の検証 <p>燃焼流の分野</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 燃焼の基礎 2. 燃焼反応 3. 層流予混合火炎 4. 層流拡散火炎 5. 乱流火炎 6. 混相燃焼 7. 解の検証
-----------------	---	--	---

表 2 受験者・合格者推移

		固体力学分野			熱流体力学分野			計
		初級	2 級	1 級	初級	2 級	1 級	
2003 年度	申込者		315					315
	受験者		295					295
	合格者		166					166
2004 年度	申込者		438	147				585
	受験者		391	128				519
	合格者		204	106				310
2005 年度	申込者		520	162		113		795
	受験者		468	141		109		718
	合格者		179	96		89		364
2006 年度	申込者	15	503	165	7	111		801
	受験者	14	460	139	7	107		727
	合格者	14	123	96	7	79		319
2007 年度	申込者	30	493	132	47	131	73	906
	受験者	28	435	109	37	123	59	791
	合格者	28	170	55	37	87	56	433
2008 年度	申込者	82	549	158	45	172	63	1 069
	受験者	82	477	128	45	160	49	941
	合格者	82	145	59	45	126	32	489
合格者数 計		124	987	412	89	381	88	2 081