

超スマート社会を支援するユビキタス マルチメディア教育スタイルの提案

Proposal of ubiquitous multimedia education style to support Society 5.0

米 大海¹⁾, 橋口 真宜²⁾, 村松 良樹³⁾

Dahai Mi, Masanori Hashiguchi and Yoshiki Muramatsu

1) 工博 計測エンジニアリングシステム株式会社 技術部 部長 (〒101-0047 東京都千代田区内神田1-9-5

SF内神田ビル5F, E-mail: midahai@kesco.co.jp)

2) 技術士(機械部門) 計測エンジニアリングシステム株式会社 主席研究員 (〒101-0047 東京都千代田区内神田1-9-5

SF内神田ビル5F, E-mail: hashiguchi@kesco.co.jp)

3) 博士 東京農業大学 生産環境工学科 教授 (〒156-8502 東京都世田谷区桜丘1-1-1, E-mail: y-murama@nodai.ac.jp)

The production and utilization of valuable information play an essential role in Society 5.0. By overcoming the Covid-19 pandemic, its importance was strongly recognized. The authors have been researching and developing CAE applications with an emphasis on ubiquitousness (anyone, anytime, anywhere). However, from the educational site, both the teaching side and the learning side have a strong demand for an educational style that is "easy to understand, interesting, and easy to use". Therefore, this research discussed the method of utilizing multimedia through CAE application for next generation education style.

Key Words : Society 5.0, Ubiquitous Multimedia Education, CAE Application

1. はじめに

超スマート社会 (Society 5.0) は、狩猟社会 (Society 1.0) , 農耕社会 (Society 2.0) , 工業社会 (Society 3.0) , 情報社会 (Society 4.0) に続く新たな社会を指す。Society 5.0では、フィジカル空間 (現実空間) を高度な融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立することを考える。具体的にはIoT (Internet of Things) で人とモノをつなぎ、知識や情報を共有することで今までにない価値を創出し、人工知能 (AI) によって必要時に適宜、必要な情報を提供することで社会を変革することを目指す。

CAE (Computer Aided Engineering) は計算機援用工学の意味であり、CAEを活用すれば実際に試作や実験をしなくてもコンピュータ上でいろいろな計算解析を事前に行うことができ広く活用されているが、専門家がないという理由で導入が進まない分野もある。一方でCOMSOL Multiphysicsでのアプリとその配布機能を使えば「誰でも・いつでも・どこでも」CAEを活用できるユビキタスCAE環境を容易に導入できる[1]。大学における教育現場からは、さらに教育に活かすためにはマルチメディアを活用したより積極的な取り組みが期待されている[2]。

本稿では、上述の背景から超スマート社会を推進・持続する上で最重要課題として、CAEが行き届きにくい「遠隔地での技術者教育」を取り上げ、ユビキタスでかつマルチメディアを積極的に活用した新しい教育スタイルを検討したので報告する。

2. ユビキタス性を必要とする現場

CAEは一般に専門部署が解析モデルを開発し、それを専門家自身が使って解を出し、報告書などを作成して関連部署に説明を行うのが従来の方式である。従って、この場合では技術者教育は専門部署内部が対象となる。ところが、現象の予測を必要とする場所が、例えば汚染水の海洋流出を防ぐための凍土工法を実施するような現場であれば、安全性の確保や不慮の事故といったリスクを低減するために、現場の技術者がCAE解析を自由に利用できる具体的な手段が必須であろう。現場の技術者は必ずしも解析モデルの専門家ではないので、「誰でも」使えるCAEとしてCAEアプリが有効である。「いつでも・どこでも」CAEアプリの利用にはライセンスフリーの実行形式ファイルを現場のPCにインストールすれば良い(Fig.1)。

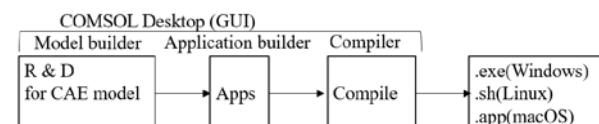


Fig.1 CAEアプリとライセンスフリー配布環境による現場の技術者教育へのユビキタスCAEの導入の提案.

3. 凍土工法のCAEアプリの開発例

(1) 凍土と凍結管

地盤内に人工的に凍土を形成する現場を想定する。人工凍土は、Fig.2に示すように、土粒子 (Solid particles) ,

土粒子間隙の液相である水（Liquid water）, 温度が低下して水が相転移を経て固相になった水（Solid water, ice）から成る多孔質体でモデル化できる。液相と固相が隣接する界面近傍には液相と固相の混在した領域（Mushy zone）が存在する。

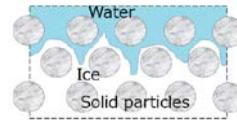


Fig.2 Freezing soil.

地盤に人工凍土壁（AGF, Artificial ground freezing）を造成するには、地盤内に冷却用凍結管を多数、列状に埋め込み、その中に冷却液を循環させる。冷却液の温度は時間方向に変化させて人工凍土壁の形成状態を制御する。

現場の技術者は冷却液の温度変化の時間的な計画を立案し、地下水の流れのある地下に適正な人工凍土を形成する必要がある。

(2) 基礎方程式

凍土の内部では地下水が流れしており、ダルシー則で取り扱う。温度はダルシー速度で移流する熱伝導方程式（エンタルピー変化法による相転移モデルを含む）で扱う。

基礎式は次のような時間依存型の偏微分方程式とする。

$$\rho_f S_p \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_f \mathbf{u}) = Q_m$$

$$\mathbf{u} = -\frac{\kappa}{\mu} \nabla p$$

$$S_p = S_w \beta \varepsilon_p$$

$$Q_m = S_w \varepsilon_p (\rho_{ice} - \rho_w) \frac{\partial S_w}{\partial t}$$

$$S_w = S_{w,res} + (1 - S_{w,res}) \theta_{12}(T)$$

$$(\rho C_p)_{eq} \frac{\partial T}{\partial t} + \rho_f C_{p,w} \mathbf{u} \cdot \nabla T + \nabla \cdot \mathbf{q} = Q$$

これらは有限要素法を使って離散化し時間方向へは線の方法（Method of lines）を使って離散化した。COMSOL Multiphysicsのモデルビルダーでモデルを開発した。

(3) 開発したCAEアプリ

下記項目を主な仕様として開発したアプリをFig.3に示す。

- ① 凍結管の直径を指定できること。
- ② 凍結管温度の時刻歴を任意に指定できること
- ③ 解析結果（境界に沿う温度と凍結管の中心を結ぶライン上の温度分布の時刻歴）を定型表示すること。
- ④ 上記③を指定のメール宛先に自動送信すること
- ⑤ 技術者へのCAEモデルの教育的説明の実現

アプリの作成はCOMSOL Multiphysicsのアプリケーションビルダを使用した。

CAEではアプリの稼働が適正であるかVerificationを実施することは必須であり、ベンチマーク問題と比較することで検証を実施した。

現場の技術者がこのアプリを使うことで、Fig.4に示す

ように、物理的メカニズムをグラフィックス表示で明確に把握でき、さらに、温度の時間履歴の変更によって凍土の形成が成功あるいは不成功になるかといったWhat-if分析が容易にできる。

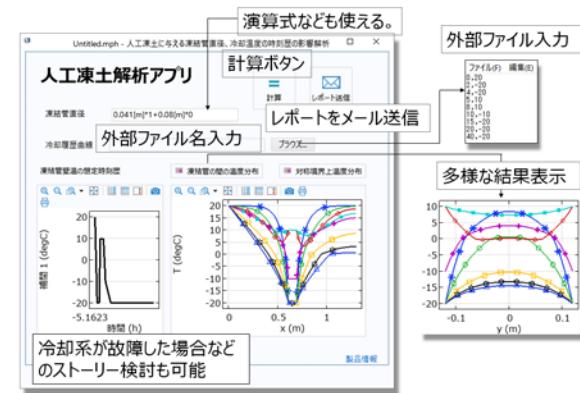


Fig.3 Apps for AGF multiphysics analysis.

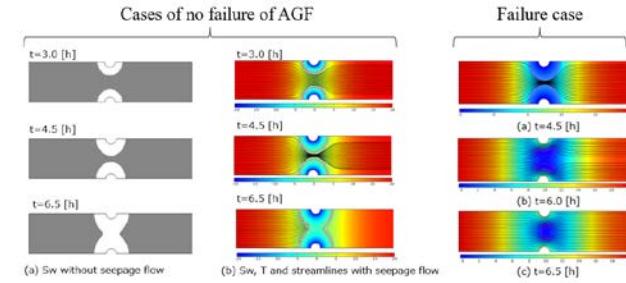


Fig.4 Simulation cases done by the present CAE app.

このアプリはGUI（Graphical User Interface）が使いやすくカスタマイズされ「誰でも」すぐに利用でき、COMSOLコンパイラを使って実行形式ファイルに変換しライセンスフリーで「いつでも・どこでも」利用が実現する。

4. マルチメディア機能の取付け

技術者へのCAEモデルの教育的説明(⑤)の具体化は

- (a) Fig.3のレポート内容のレベルを詳細に設定すれば基礎方程式、計算条件、メッシュ、計算結果などを全て出力することで支援できることを確認した。マルチメディア機能はアプリのフォームへのオブジェクト挿入で
 - (b) ハイパーリンク機能を使って外部のURLを参照
 - (c) ビデオ機能でビデオ参照
- によって容易に実現できることを確認できた。

上記の(b)は技術者の教育資料の参照に有効（豊富な文章・図面・写真説明、他URLへのリンク）、(c)は実験データの採取法の説明などデータの質確保等に有効である。

参考文献

- [1] 橋口真宜, 侈立柱, 米大海, 次世代を担う人のマルチフィジックス有限要素解析, 近代科学社Digital (2022).
- [2] 吉岡修哉, 立命館大学理工学部准教授（私信）.