計算工学講演会論文集　Vol.28 (2023年5月)　　計算工学会

ユビキタスCAE教育アプリの開発と展開

Development and Deployment of Ubiquitous CAE Education Application

橋口 真宜[1)]，米 大海[2)]，村松 良樹[3)]

Masanori Hashiguchi, Dahai Mi and Yoshiki Muramatsu

1) 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)

2) 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）

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 authors have developed an effective CAE application in the field of food cooking science. Furthermore, by building a new system environment, we started activities to create a ubiquitous CAE educational environment that can be used by anyone, anytime, and anywhere. Furthermore, by preparing textbook corresponding to the developed CAE application, we constructed a mechanism that allows application users to become familiar with the theoretical background. These series of results are reported in this work.

Key Words : *Ubiquitous Education, CAE Application, Food Science*

1.　はじめに

世界はSDGs（Sustainable Development Goals, 持続可能な目標）を2030年までに達成するためにいろいろな活動を実施している．SDGsは目標を17項目に分けており，その中には「1.貧困をなくそう」「2.飢餓をゼロに」「4.質の高い教育をみんなに」「9.産業と技術革新の基盤を作ろう」「17.パートナーシップで目標を達成しよう」といった様々なものが掲げられている．

食品は人間が生きていく上で大切なものであるが，SDGsの観点から多くの課題を抱えている．例えば，食品ロス（まだ食べられるのに廃棄される食品）は日本では522万トンで，世界中で飢餓に苦しむ人々への食糧支援量（2020年で年間420万トン）の1.2倍である．美味の追求やファストフードの普及という技術の発達の影響もある．多くの飲食業での加熱調理と消費されるエネルギーの抑制との関係も工学分野ほどには最適化が普及しておらず，アクセスしやすい技術教育システムの必要性を感じる．

一方で，食品は物理・工学的な研究の対象でもあり，その性質を理解・予測するには，固体熱移動・対流熱伝達・水分などの質量輸送・相転移・多孔質体・電磁気といったマルチフィジックス解析が必要である[1]．その成果を多くの加熱調理現場に展開していくにはアプリによるユビキタス環境構築が有効に働くと考えられる．

そこで本稿では，食品分野に関わる次世代の研究者や技術者へ向けた質の高い教育（SDGsの4）を提供する目的で，食品の加熱調理へのマルチフィジックス解析を含むCAEの適用検討を工学と農学の専門家が共同研究をする（SDGsの17）ことで食品ロスを減らす(SDGsの1と2)ための理論的基盤構築(SDGsの9)を支援すべく，著者らが活動してきた内容と成果を報告する．研究開発にあたってはCOMSOL Multiphysics[2]を利用した．

2.　ユビキタスCAE実現のためのツール

筆者らは「誰でも・いつでも・どこでも」利用できるCAE環境であるユビキタスCAEを構築するために，市販のソフトウェアCOMSOL Multiphysicsによるモデル開発とアプリ作成，アプリの配布機能であるCOMSOL Compiler[3]に着目して食品加熱調理でのユビキタスCAE実現のツールと位置付けている[1]．その利用法の研究（モデルからアプリへの一連の開発手順検討, アプリの具備すべきGUIの設計, アプリの配布サイトの設置方法など）を進めてきた．大学の共通教育ではCOMSOL Server[4]によるアプリのWeb配信方式を導入し実際の教育に展開済み(120名超/クラス)である[5].

3.　食品の加熱調理に関するアプリの設計・開発

(1)　本質過程の抜き出し

食品の加熱調理を扱うと言ってしまうと，多くの物理カテゴリーや化学変化を伴う複雑な内容を数値解析の対象になってしまう．調理は食材の温度・色・硬さ・食感・味・栄養素・調味料・添加物といったものが複雑に関与するのでそこを追求する数値解析の研究はとても重要ではあるがそのような研究は実現までに長期間を要する，一方で, 技術者の基礎教育には, 加熱調理を構成する本質的な物理過程を独立に抜き出す方が良いと考えられる．

(2)　温度・水分への限定

食品の加熱調理では必達事項として殺菌が挙げられる．食品の殺菌では，例えばポツリヌス菌の死滅量が規定されているが，それらを決める物理特性は温度である．

また，食品の食感は水分によって決まることから水分の質量輸送を解析することが重要である．ここの主題から外れるが食品の乾燥も重要であり，その点からも食品の水分輸送は取り上げるべき項目である．水分の凝縮熱は表面加熱に大きく寄与する。

(3) 加熱源

a) 境界加熱方式

食品の調理加熱ではガスコンロの炎による直火焼きやオーブンによる放射加熱，コンロに乗せたフライパンの熱伝導と放射加熱の利用といった加熱方式が利用される．これらは食品を境界面から加熱する方式であり，境界加熱方式と呼ぶことにする．

b) 内部加熱方式

一方で，電子レンジによるマイクロ波加熱は電磁波によって食品内部の双極子である水分子が加振されその摩擦熱による食品の自己発熱を利用している．これは内部加熱方式である．食品の均一加熱や省エネルギーの視点から，高周波(30kHz以下)の電流印加によるジュール加熱の研究が行われている．これは練り食品（かまぼこなど）の加熱方法として日本で考案された方式であり，食品内部での自己発熱を利用するので内部加熱方式である．

従って，境界加熱方式と内部加熱方式の両方式を数値解析の対象に加えた．

4. アプリを活用した教育環境の整備

(1) 理論説明とアプリを組み合わせた書籍の発刊

調理加熱に係る伝熱現象は，熱伝導，放射伝熱，対流熱伝達，境界加熱に加えて，マイクロ波，交流電流による食品内部の自己発熱がある．マイクロ波はマックスウェル方程式が関係する．交流電流はマックスウェル方程式に準定常近似を施した方程式を利用する．スチームコンベクションオーブンでは水分の移動と凝縮熱を扱う必要がある．

技術者教育では理論的説明と実習が一体となっていると効果的である．理想化された状況を扱う場合には加熱調理の実習はアプリを使ってPC上で可能である．

しかしながら，既存の書籍でCAEアプリを含み，かつ理論解説と一体的な内容のものが皆無であるので，本研究の成果を反映した書籍を新たに作成し発刊した[6].

マイクロ波加熱の例を示す．マックスウェル方程式についての解説に加えて，自己発熱量の式を明記した．他方，従来の食品関係の書籍では自己発熱量の簡易表現式がよく引用されている．そういう箇所は，今回の書籍では「なぜそのような簡易表現式になるのか」といった疑問を解消することなどに留意した．

(2) 開発したアプリの例 [7]

マイクロ波加熱アプリの例をFig.1に示す．

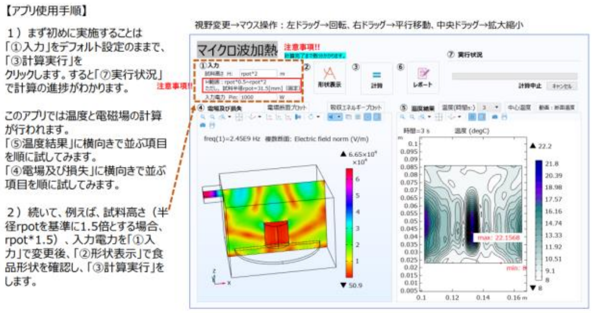

Fig.1 pdfによるアプリ画面と利用上の要点説明の例[7].

(3) アプリのダウンロードサイトの設置

作成したアプリは筆者の一人（村松）によってコンパイルされダウンロードサイトを設置する[7]ことで自由に利用できるようにした．ライセンスフリーで利用できる．アプリに細かな説明を加えたpdf（Fig.1参照）を同じダウンロードサイトに置くことで利用者の便宜を図った．

5. まとめ

本稿では著者らが実施してきた食品の加熱調理における数値解析アプリの開発とその配布機能を利用したユビキタスCAEによる教育システムの研究開発の成果を報告した．いままで実現に時間を要していた教育システムが異分野の専門家の協力で早期に実現できた。

本稿で活用した先進的CAE環境が周知されることで，確固とした理論とユビキタスCAEのもとに，我が国のモノづくりを見通し良くスムースな製品開発方式に変革する一助になれば幸いである．今後は，省エネルギーや効率的な調理加熱につながる最適化に取り組む予定である．

参考文献

[1] 橋口真宜、米大海、村松良樹：美味技術学会誌総説，食品物理アプリによる次世代の業務変革に向けて（20(2) 2021）；電子レンジによる食品のマイクロ波加熱研究の動向（21(1) 2022).

[2] COMSOL Multiphysics: https://www.comsol.jp/ （参照日2023年4月3日）

[3] COMSOL Compiler: https://www.comsol.jp/comsol-compiler （参照日2023年4月3日）

[4] COMSOL Server: https://www.comsol.jp/comsol-server （参照日2023年4月3日）

[5] 村松良樹ほか：数値シミュレーションの工学系教育への適用，農業食料工学会・農業施設学会・国際農業工学会第6部会合同国際大会(2019).

[6] 村松良樹，橋口真宜，米大海：「ことはじめ加熱調理・食品加工における伝熱解析−数値解析アプリでできる食品物理の可視化−」，近代科学社Digital (2023).

[7] 村松良樹：数値解析アプリ，http://nodaiweb.university.jp/comsol-app/ (参照日　2023年4月3日)