

解析技術の進化と技術者の育成

Evolution of Computational Engineering and Training of Engineers

藤川智士¹⁾

Satoshi Fujikawa

1) マツダ株式会社 (〒735-0028 広島県安芸郡府中町新地3-1 パワートレイン開発本部 兼 電動化事業本部 e-MAZDA
E-mail: fujikawa.sa@mazda.co.jp)

This paper is about the author's many years of experience as a CAE engineer.

As computational analysis and optimization technologies become more complex and sophisticated,

Explain the importance of using computational engineering not just for product development, but also for training CAE engineers.

Key Words: CAE, CAE engineer, Theoretical Approach

1. はじめに

自動車の開発の仕事をして40年近くになる。

エンジン/トランスミッションを始め最近では電気駆動システムから車両まで広く開発に携わっている。

部品設計から音/振動の性能開発を広く担当しながら一貫してCAE技術を駆使する役割を担った。この間自分はCAEに携わるエンジニアとして幸運な時代を駆け抜けることができたと感じている。それは世の中のCAE技術の進化に合わせ、それを開発現場で使いこなす取り組みをしてきたことで、多くの工学知識、解析技術を理解する機会が与えられたことである。近年の開発現場では構造解析、機構解析、流体解析、そしてそれらを扱う最適化、AIなどの解析ツールが当たり前に準備されており、それらを開発にどのように適用するかの妥当性も検証済みの状態にある。先人達の開拓の積み重ねの成果であるが、一方で様々な意味で解析技術の理解が難しくなっているようにも感じている。本稿では私のCAE技術者としての長年の経験を振り返り、解析技術が整備された現代のCAE技術者の取り組みに関する提案を述べる。

2. 演繹的解析技術の進化と基礎理解

自分が歩んだ時代は解析技術の進化に合わせてその理論と計算ツールの正しさを自分の目で一つずつ分析し、理解しながら進めることができた。

大学の卒論研究で初めてFEM理論を学んだ。簡単な梁の連続モデルで応力分布がほぼ予測できることを実験検証した。その後会社に入りその時の教科書を見ながら梁の汎用FEM解析プログラムを作ったが自動車の複雑な構造には私の稚拙なモデルは使えないことに気付いた。その一方で開発設計へのNASTRAN適用の計画が始まりそのプロジェクトに参加することで会社としては初のエンジン-トランスミッションの振動固有値を求めるFEMモデルを作り上げた。

当時の計算能力の制約から、ほぼ板要素と梁要素で複雑なエンジン-トランスミッションを表現しなくてはならず複雑な3次元形状の簡易抽象化のためにはせん断中心の定義はどうあるべきか教科書を再熟読しなければならなかつたし板や梁の自由度の少ない要素を固体要素につなぐはどうするべきかソルバー理論を調べる必要もあった。先駆者がいなく誰も教えてくれないので自分で勉強するしかなかつたがその進め方が身に付いた。

またこの解析結果を実験検証すると全く合っていないことに気付いた。狙いとした数百Hzの固有値を精度良く予測するにはメッシュの粒度が全く足りなかった。モーリング手法の課題もあったが当時の計算技術ではほぼ限界であることも理解した。しかしそれで失望することはなく計算ツールの進化を切望した。その期待から解析技術の動向を常に注視するようになりその情報収集に注力し始めた。

その後、嬉しいことにその期待を上回るスピードで世の中の解析技術が進化した。FEMのメッシュ作成を支援するプリソフトや非線形の応力解析、表面振動速度から音の予測などができるようになった。これら予測結果を都度実測検証しそれを繰り返すことで予測精度を改善した。非線形材料特性の重要さや境界要素法では表現できない形状の限界などを理解しながら進めることができた。

その後FEMしか知らなかつた自分を驚かせる粒子法が登場した。エンジン-トランスミッションはオイルによる潤滑が極めて重要な機能でありながら当時その挙動予測は全く不可能で実験の試行錯誤に依存していた。粒子法によって机上予測の可能性が見えて来たので直ぐに飛びついた。オイルの揺動、放物自由落下、攪拌などの基礎試験を通して当時の粒子法でできることできないことを分析した。学んだことのなかつた粒子法の概要を理解した。解析ツールの限界があるからこそ開発現場での使いこなしにはその理論の理解が深く必要であることを学んだ。

そして運動-機構解析ツールが表れた。マニュアルトランスマッショントラブルの操作系やサスペンション、ドライブラインの屈曲部に用いる複雑なカム機構の動きを時間軸で解くことができるツールである。但しこの初期のツールは多くの運動方程式や制約条件を理論式で入力する必要があった。そのためカム理論、摩擦理論、弾性衝突理論、速度変化に対する積分理論などそれまでにはなかった時間軸の運動理論の再勉強が必要となった。しかしこの時点では多くの解析メンバーが周りにいたためみんなで協力し合いながら理論的な解釈を広げ深めることができた。多種多様な分野の人材が集まれば答えは自分の中には無くとも他の人の中には必ずあることを知った。解析技術におけるダイバシティの切磋琢磨の協働の大切さを理解することで、個人ではなく組織として解析技術を使いこなすように体制やプロセスを整備した。

3. 帰納的解析技術の革新と課題

構造系の解析技術が大きく進化し安定してきたころに大革新として位相最適化技術が表れた。それまでにも形状最適化技術は存在していたが莫大な計算時間を要する割には「まあこれくらい自分でも思いつけるね。」と言うレベルだった。しかし位相最適化技術を使うとそれまでに見たことのない構造が現れた。トランスマッショントラブルの設計空間と荷重条件を与えると数週間後に不思議なケースが出来上がった。それまでは経験に基づく解析の施行錯誤で補強のリブ形状を決めていたが位相最適結果にはそのリブ的なものが1つもなかった。当初「条件設定ミスだね。計算資源を無駄使いしたね。」と思った（言った）が、その形状は個別の解析要件を全てクリアすることが分かった。自分達の経験にはない構造、ちょうどモード学園のコクーンタワーのようなロードパス構造がこの問題の答えであることを計算技術に教えてもらった。しかし不思議なので基礎解析を繰り返して何故そうなるかを分析した。曲げと捩じりの複合入力の場合、網目形状的な板厚変化が歪を均質化し軽量構造を達成していることが分かった[1]。また振動問題では広い周波数範囲の振動レベルを下げる目的に位相最適化を使うと植物的なフラクタル構造が得られた。そもそも低周波から高周波の振動現象は相似傾向が強いので同じ最適化構造がフラクタルとして繰り返されることを理解した。更に車体構造の衝突、剛性の複合最適化においては曲げを担うピラーと面外力を担うパネルの結合部分に内輪の柄のような構造が表れた[2]。なるほど今まで内輪を見てそこに最軽量化ができているなど感じたこともなかったが最新の計算技術が古くからの構造にある力伝達の効率的な分散の知恵を説明してくれた。自然の進化や長年かけて熟成された構造技術を計算技術に気付かせてもらえたことで計算技術の面白さに再び嵌まった。

そして最近ではAIによる傾向分析を自動変速機の複雑なクラッチ制御と振動の実験結果に適用してみた。変速

機内の莫大な時間軸変化特性の傾向分析から誰もが気づかなかつたクラッチ制御方法が振動低減に有効であることが帰納的に見えた。それを実験検証して正しいことも確認できた。しかしそれが何故有効なのか？の理論的説明ができなかった。そして何よりも従来のモデルはその現象が再現できないことに悔しさを感じた。もともと本現象は車両の加速運動中に直列2か所の摩擦板を摺動させ、その状態に応じて制御でフィードバックを掛ける時にガタ要素を含む非線形振動が発生すると言う複雑極まりない現象のためモデルの精度改善が停滞していた。このためAIの結果のままでも良かったが市場ニーズ分析のような社会科学のデータサイエンスとは異なり自然科学の技術課題には必ず理論解が存在するはずであるし、何よりもここで解明しておかないと次の開発に活かせないと言う思いのもと物理モデルの改善に取り組んだ。AIによる新たな切り口に理論解釈の仮説を重ねることでモデル全ての精度を改善しなくとも力の伝達経路とそれによる摩擦負減衰エネルギーのみ精度向上すれば現象の方向性が表現できることが分かった。元々モデルは自分達が理解したことを演繹的に重ねる表現しかできていなかつたがAIの帰納的視点を加えることで効率的なモデル精度の改善につなげることができた。この領域は今後も更なる融合の革新が期待できると考える。

4. おわりに

振り返れば計算・解析技術の進化に合わせて自身の技術、特に理論に基づく演繹的なアプローチを少しづつではあるが着実に伸ばすことができたと思う。また技術だけではなくその技術を開発で使いこなすためには多分野領域の協力が重要であることを計算技術の進化から学んできた。更には不思議な計算結果から得られる新たな感動や「何故？」に基づくモチベーションを糧に理論解を諦めることなく追及し続けて来たと思う。

最近は多くの解析技術が準備済みでありシミュレーション結果やAIの結果から帰納的なアプローチをすることが多くなってきた。しかし結果だけの開発を繰り返すのではなく何故そうなるか？の理論的な解釈を持ち、それを積み重ねて行くことが技術の蓄積に他ならない。またそれは技術者自身の成長でもあり、ひいては企業における開発技術のコアコンピタンスの拡大でもあると感じている。CAE技術者は是非それを意識し続けて頂きたい。

参考文献

- [1] 藤川智士, ロードスターのパフォーマンスフィールとNVHのモデルベース開発, 自動車技術会シンポジウムNo.10-17, 2017.
- [2] 寺田栄, 和田有司, 弓削康平, 和田尚美, 木崎勇, 橋田光二, 剛性・衝突・NVHの複数性能を同時に満たし質量最小化を目的とする複数材料トポロジー最適化手法, 自動車技術会春季大会No.39-23, 2023.