

## **Keynote: Full System Level Optimization – An Integrated Approach based on Modelica and FMI**

Hubertus Tummescheit (Modelon)

Multidisciplinary Analysis, Design and Optimization (MADO) typically requires connecting a wide array of tools and technologies often including an optimization loop. While this approach is workable, it is fragile (many tools, many versions) and slow, since the heterogeneity of the software makes it hard to optimize performance.

Modelica ([www.modelica.org](http://www.modelica.org)) is far better suited for doing this, and offers significant advantages. In combination with the Functional Mockup Interface (FMI), ([www.fmi-standard.org](http://www.fmi-standard.org)), an open standard that greatly reduces the heterogeneity of models, a large number of tools can be combined with small interfacing effort, and good computational performance. FMI is an optimization-friendly technology including support for gradient-based optimization in an integrated fashion. FMI is already supported by more than 95 different tools across many types of disciplines and industries and thus extends applications significantly beyond what Modelica alone can offer, in particular for coupling 3D engineering analysis tools like CFD and FEM methods.

This talk describes how Modelica and FMI can greatly accelerate design decisions early in the design cycle and looks into the future how tools can further improve to support rapid design iterations. System level optimization examples and opportunities will be demonstrated for automotive and aerospace vehicles:

- Modelica supports working with structured but flexible system architectures that support architecture design exploration and optimization.
- Modelica is well suited to support different analysis types based on a consistent model structure:
  - steady-state and transient,
  - time-domain and frequency-domain based,
  - simulation and optimization
  - system structure analysis, FMEA, Safety Analysis
  - Requirements compliance analysis
- Modelica and FMI are widely accepted and quickly growing standards
- The reuse of models across different physical domains and analysis types based on a common and consistent model infrastructure further reduce the effort and cost of system level modeling.

- FMI is easy to wrap around in-house and legacy codes
- FMI provides an easy way to provide system level boundary conditions to CFD and finite elements
- Several Finite Element and CFD codes allow the exporting of parameterized 3-D models as parameterized response surface models or modal models compatible with FMI. This extends the applications to include aerodynamics or structural elasticity and higher frequencies in Mechanics.
- The numerical consistency of a coherent structure can lead to tremendously improved performance (several orders of magnitude) compared to MADO across loosely coupled heterogeneous tools.
- The cost and licensing structure of Modelica and FMI make it very attractive to use in HPC environments

The possibilities of this process will be explored with one example each from the automotive and aerospace industries.

**基調講演：システム全体レベルでの最適化—Modelica と FMI に基づいた統合アプローチ**  
Hubertus Tummescheit (Modelon)

複合分野からなるシステムの分析、設計、そして最適化は、通常、多種多様な技術とツールを連携して行われます。その中には、最適化のためのループもあります。そのようなやり方は有効ではありますが、数多くのツールがあり、さらに複数のバージョンがあるとき、脆弱で時間がかかることとなります。異種のソフトウェアを連携させようとするときのパフォーマンスが問題となるのです。Modelica ([www.modelica.org](http://www.modelica.org)) はこの点において他よりもずっと適切であり、優れた利点があります。FMI (機能モックアップ・インターフェース) ([www.fmi-standard.org](http://www.fmi-standard.org)) の利用により、オープン・スタンダードに基づいて多種多様なツール間でのモデルのやり取りをスムーズに行うことができ、計算パフォーマンスも良いものです。FMI は最適化技術の利用にも向いています。FMI はすでに 95 以上のツールでサポートされており、Modelica の枠にとらわれることなく CFD(数値流体力学)や FEM(有限要素法)などの三次元エンジニアリング分析ツールとの連携へと広がっています。本講演では、Modelica と FMI により、どのようにして設計の初期サイクルにおける意思決定が加速されるのかということをお話しします。さらに、それらが将来どうなってゆくのかについても触れます。

- Modelica はシステム・アーキテクチャをオブジェクト指向で柔軟に取り扱うことができ、設計探索と最適化をサポートします。
- Modelica は一貫したモデル構造に基づいて多様な分析をサポートするのに適しています。
  - 定常状態と過渡期
  - 時間領域と周波数領域
  - シミュレーションと最適化
  - システム構造分析、FMEA、安全分析
  - 要求コンプライアンス分析
- オープン・スタンダードによる連結コストの大幅な低減
- 一貫したモデル展開基盤上でモデルを再利用することにより、システムレベルのモデリングを労力や費用がかさむことなく、さまざまな物理領域と分析タイプをサポート
- FMI は組織内のコードや過去の資産コードを容易に統合可能です。
- FMI は CFD や有限要素法のためにシステムレベルの境界条件を与えることができます。

- 有限要素法や CFD のコードのいくつかは、三次元モデルをパラメーター化した応答局面モデルやモーダルモデルを FMI に準拠した形式でエクスポートすることができます。
- 数値計算の一貫した展開基盤により、大幅にパフォーマンスが改善されます。それは、異種のツールをスタンダードなしに連結する場合に比べて格段に良くなるでしょう。

Modelica と FMI のコストとライセンスの仕組みは、高性能コンピューティング環境の利用したい方々にとっても魅力的です。

自動車産業と航空機産業のそれぞれから例をとり、このプロセスの可能性についてお話しします。