

本格派だけど無料! 非定常な負荷変動も  
ファン冷却もシミュレーションOK

## 複雑な温度解析もカンタン! オススメ OpenModelica

西 剛伺 Koji Nishi

マイクロプロセッサをはじめとする集積回路やパワー・エレクトロニクスでは、電気を供給して損失が発生すれば、温度が上昇します。温度が上昇すれば、電気特性も変化するというように、電気と熱の物理ドメインの現象が相互作用も起こします。このような複雑なシミュレーションを行うには、それに対応したツールが必要です。

本稿では、オープンソース OpenModelica を用いて、マイクロプロセッサの熱回路網による温度シミュレーションを実施してみます。熱回路網とは、電気と熱の相似性を利用して、伝熱現象を回路表現したものです。熱回路網には、定常状態の温度を予測するための定常熱回路網と、非定常状態の温度予測が可能な非定常熱回路網がありますが、OpenModelica はなんと両方に対応していてオススメです。

### オープンソース物理シミュレータ OpenModelica とは

複数の物理ドメインに対応できるシミュレータとしては、MATLAB/Simulink があります。その他に世の中でよく使用されている物理シミュレータとしては VHDL-AMS というモデル記述言語をベースとしたもの、Modelica というモデル記述言語をベースとしたものがあります。VHDL-AMS も Modelica も標準規格として策定されたモデル記述言語で、複数のシミュレーション・ベンダから対応ツールが販売されています。

ヒート・スプレッドを介して  
逃げる熱の流れ

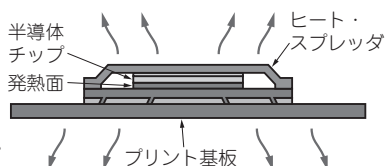


図1 マイクロプロセッサの熱の流れ

プリント基板を介して逃げる熱の流れ

一方、ライセンス使用料などを気にせずに使用できる、オープンソースの物理シミュレータは数が限られています。OpenModelica は、そのなかでも精力的に開発が進められているツールであり、毎年アップデートが行われています。

#### ● 無料で Windows の GUI で使える便利さ

OpenModelica は、Modelica 言語をベースとしたオープンソースの物理モデリング/シミュレーション環境です。OpenModelica には GUI でモデルを作成するツール (OpenModelica Connection Editor, 通称 OMEdit) があり、いわゆるテキストによるプログラミングを一切行わずに、本稿のモデルを作成することが可能です。

OpenModelica はオープンソースなので、ライセンスの購入は不要、しかも Windows 版が提供されており、容易に導入可能です。Windows 版の OpenModelica は、

[https://openmodelica.org/download/download - windows](https://openmodelica.org/download/download-windows)

から入手できます。本稿で示す内容は、Stable Development の 1.22.0 で動作確認しています。

### プロセッサの 温度シミュレーションの基礎知識

マイクロプロセッサは、プリント基板に実装されています。また、ラズベリー・パイなどで採用されているマイクロプロセッサは、上面にヒート・スプレッドが取り付けられています。マイクロプロセッサの熱の流れは、おもにプリント基板を介して空気中に逃げる熱の流れと、ヒート・スプレッドを介して逃げる熱の流れの2つがあります(図1)。

マイクロプロセッサのパッケージ内やプリント基板など、固体内では熱は熱伝導で伝わります。一方、ヒート・スプレッドやプリント基板の表面から空気中への熱の流れは対流熱伝達によるものです。マイクロプロセッサの伝熱経路を熱回路網で記述すると図2のようになります。

熱回路網では、熱の伝わりにくさを熱抵抗として表