

## 1. 研究背景

近年、PC やスマートフォン、サーバに使用される電子機器の小型、省エネ化が求められている。電子機器の小型、省エネ化を実現するには、消費電力の削減とともに綿密な熱設計を行う必要がある。本研究では、マイクロプロセッサの消費電力及び伝熱経路をモデル化し、それを元に非定常シミュレーションを行い、省エネ化を検討する。

## 2. 消費電力のモデル化

マイクロプロセッサの消費電力の式は以下の式のように表される。

$$\text{Power} = aC_{load}V_{DD}^2f_{op} + I_{leak}V_{DD} \quad (1)$$

ここで、 $a$  はマイクロプロセッサの動作率、 $C_{load}$  はマイクロプロセッサの負荷容量、 $V_{DD}$  は電源電圧、 $f_{op}$  はマイクロプロセッサの動作周波数、 $I_{leak}$  はリーク電流である。さらに、本研究では、負荷容量の電圧依存性及びリーク電流の電圧及び温度依存性を以下のようにモデル化する。

$$aC_{load} = D_1 \cdot (V_{DD} + D_1) \quad (2)$$

$$I_{leak} = S_{11} \cdot (V_{DD} + S_{12}) \cdot (T^2 + S_{13} \cdot T + S_{14}) \quad (3)$$

Modelica 言語を用いて、式 (1) ~ (3) をモデル化し、温度条件を変動させた際のシミュレーション結果を図 1 に示す。

## 3. 伝熱経路のモデル化

デスクトップPC 向けのファン付きヒートシンクによる冷却を想定した際の伝熱経路を熱抵抗としてモデル化する。そのため、マイクロプロセッサを模擬したヒータをファン付きヒートシンクに取り付け、実測を行った。図 2 に実測結果から得られた熱抵抗と熱抵抗データから求めた近似式を示す。

2 章で作成した消費電力モデルと本章で作成した熱抵抗を Modelica 言語によりモデル化することで、定常状態における電気-熱連成問題を解くことができるようになる。

## 4. 非定常状態のシミュレーション

2 章で作成した消費電力のモデルと 3 章で作成した伝熱経路のモデルに熱容量の要素を加え、非定常状態をシミュレーションできるモデルを作成した。図 3 は作成した非定常状態のモデルに温度と電力の 2 種類のファンの制御方法を取り入れシミュレーションした一例である。

## 5. まとめ

マイクロプロセッサの消費電力のモデル化、伝熱経路のモデル化を行い、これらを組み合わせることで電気-熱連成問題をシミュレーションにより求めた。また、伝熱経路モデルに熱容量を加えて拡張し、非定常状態をシミュレーションできるモデルを作成した。

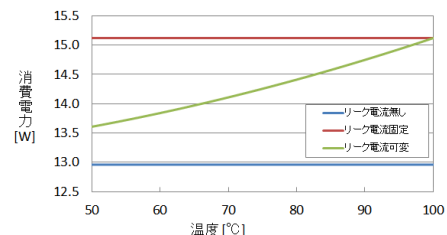


図 1 温度による変動グラフ

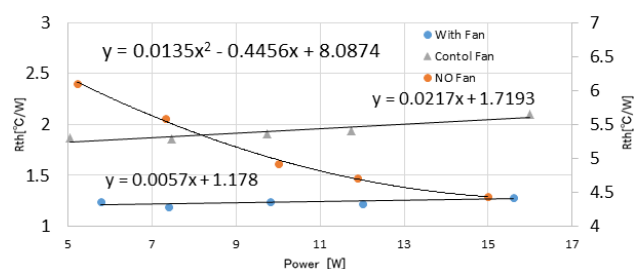


図 2 熱抵抗の測定グラフ

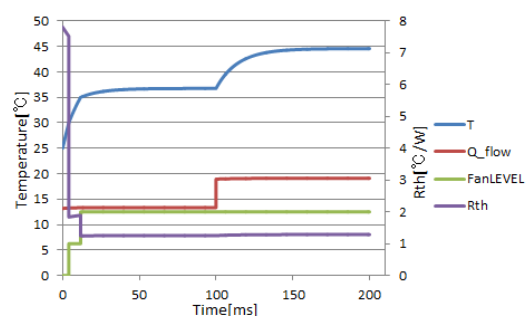


図 3 温度によるファン制御