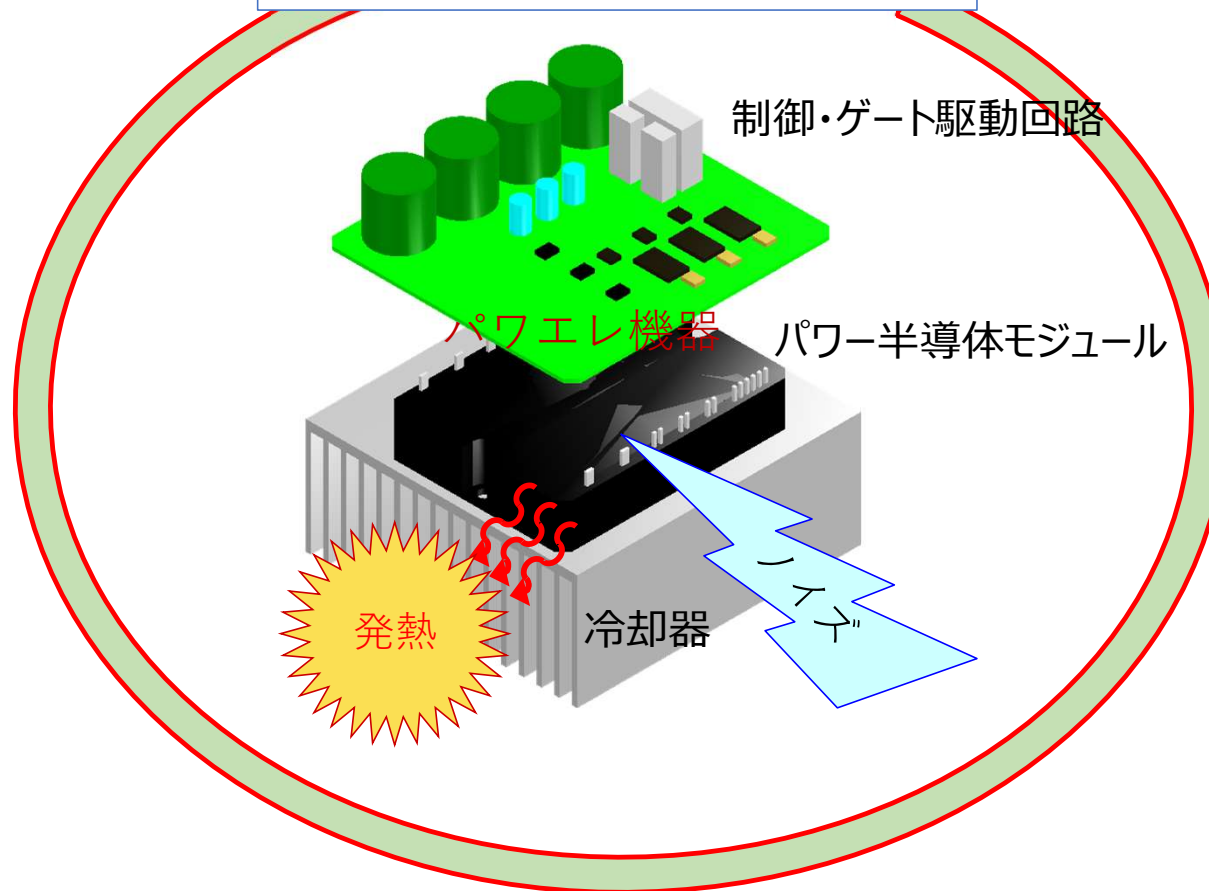


【目的】シミュレーション（解析）技術を活用したパワエレ機器の仮想での
製作・検証のための精度良い・使いやすいパワー半導体モデルの構築

シミュレーション（解析）



1. パワー半導体デバイスの I_D - V_{DS} モデルの構築

モデル化の手法 (@MATLAB)

Step.1

実測データ(I_D 対 V_{DS})を取り込み, 各 V_{GS} データに対して
基本モデル式内の変数
Func1, Func2, Func3の値を抽出 (最小二乗法)



Step.2

抽出したFunc1, Func2, Func3データを
 V_{GS} の関数としてガウス関数でモデル化



Step.3

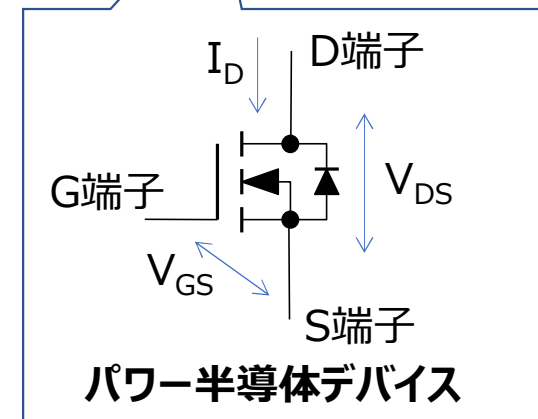
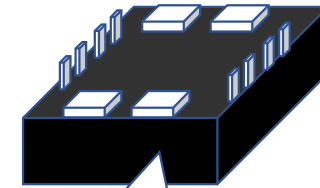
Func1~3モデルを基本モデル式に置換



パワー半導体モデルの完成

対象データ : 1.2 kVフルSiCモジュール

パワー半導体モジュール



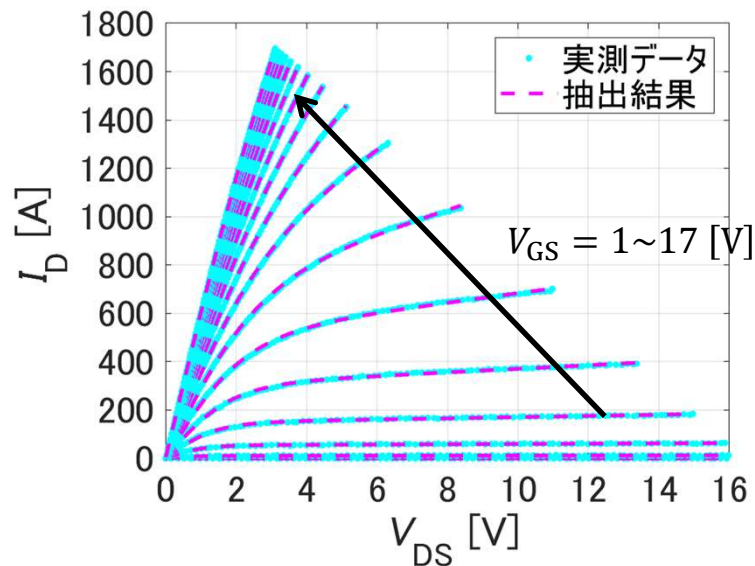
Step.1

実測データ(I_D 対 V_{DS})を取り込み, 各 V_{GS} データに対して
基本モデル式内の変数

Func1, Func2, Func3の値を抽出 (最小二乗法)

* 基本モデル式と実測データをFunc1~3でフィッティング

基本モデル式: $I_D(V_{DS}) = f(\text{Func1}, \text{Func2}, \text{Func3}, V_{DS})$
 $= \text{Func1} \times \tanh(\text{Func2} \times V_{DS} \cdots) + \cdots$



対象データ : 1.2 kVフルSiCモジュール

Step.2

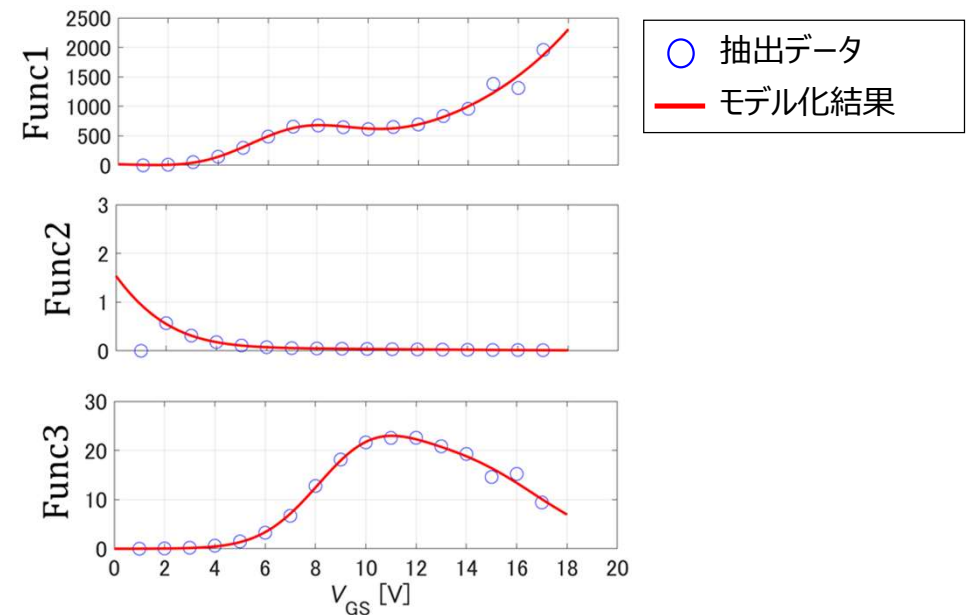
抽出したFunc1, Func2, Func3データを
 V_{GS} の関数としてガウス関数でモデル化

$$\text{Func1}(V_{GS}) = \sum_{i=1}^n \mathbf{A1}_i \times e^{-\left(\frac{V_{GS}-\mathbf{B1}_i}{\mathbf{C1}_i}\right)^2}$$

$$\text{Func2}(V_{GS}) = \sum_{i=1}^n \mathbf{A2}_i \times e^{-\left(\frac{V_{GS}-\mathbf{B2}_i}{\mathbf{C2}_i}\right)^2}$$

$$\text{Func3}(V_{GS}) = \sum_{i=1}^n \mathbf{A3}_i \times e^{-\left(\frac{V_{GS}-\mathbf{B3}_i}{\mathbf{C3}_i}\right)^2}$$

$\mathbf{A1}_i \sim \mathbf{C3}_i$
は定数パラメータ

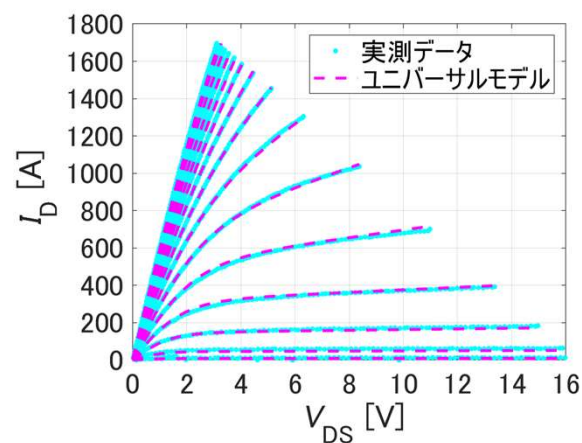


Step.3

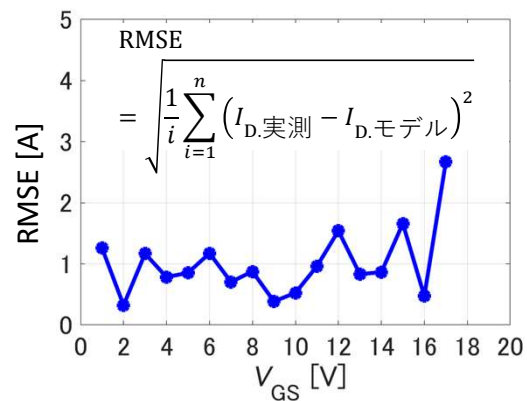
Func1~3モデルを基本モデル式に置換

* パワー半導体デバイスモデルの完成

$$I_{D(V_{DS}, V_{GS})} = f(\text{Func1}_{(V_{GS})}, \text{Func2}_{(V_{GS})}, \text{Func3}_{(V_{GS})}, V_{DS})$$



実測データとモデル比較

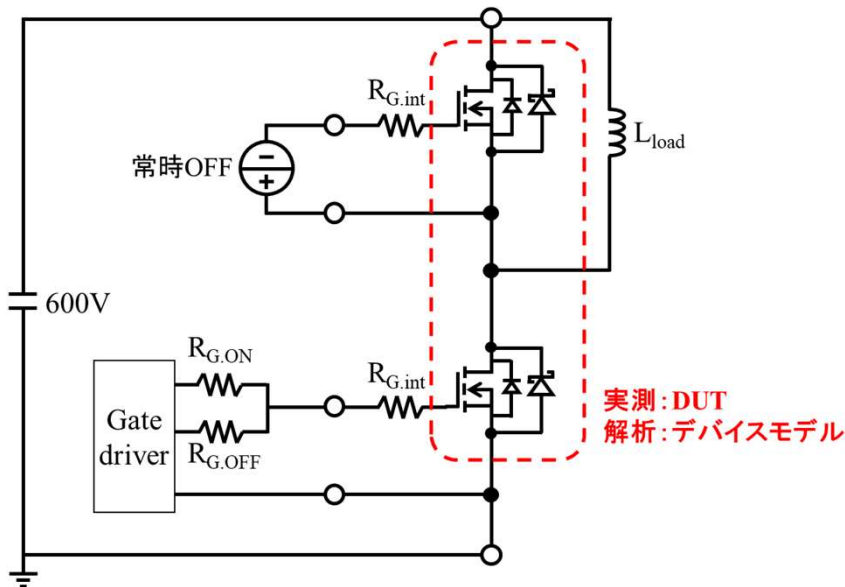


実測データとモデルのRMSE

対象データ : 1.2 kVフルSiCモジュール

2. パワー半導体デバイスの実測スイッチング波形とモデルの合わせこみ

① 試験回路にて波形を計測



試験回路の構成

④ 焼きなまし法により目的関数を最小化

② 調整パラメータを付加

I_D - V_{DS} モデル、 C_{GS} モデル、 C_{DG} モデル、ゲート抵抗 ($R_{G.ON}$, $R_{G.OFF}$, $R_{G.int}$)に調整パラメータを付加

③ 調整用の目的関数を設定

実測波形と解析波形の以下の差分を100A~1600A(合計16電流条件)それぞれで計算しRMSE(二乗平均平方根誤差)を計算

- 実測と解析 I_G の絶対誤差のRMSE
- 実測と解析 V_{GS} の絶対誤差のRMSE
- 実測と解析 dI_D/dt の絶対誤差のRMSE
- 実測と解析 dV_{DS}/dt の絶対誤差のRMSE

$$I_{G.ON.RMSE} = \sqrt{\frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} \{(\Delta I_{G.ON}(@I_D=i \times 100[A]))^2\}}$$

ターンオンとターンオフを考慮し、合計8要素から成る目的関数を設定

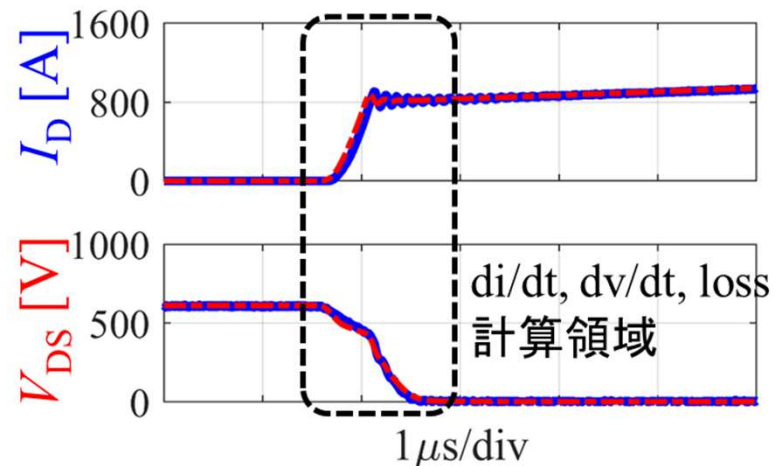
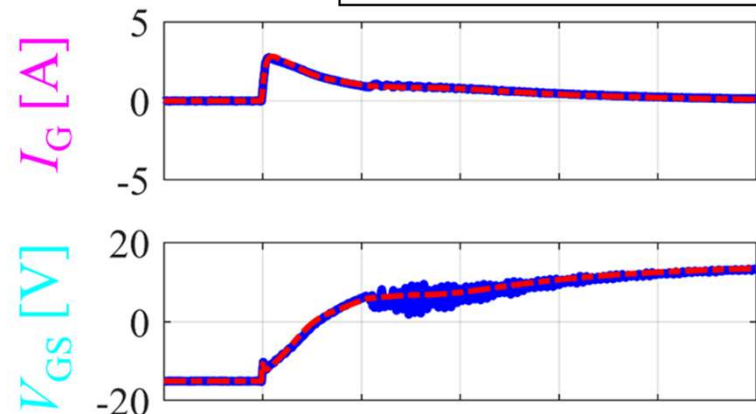
$$f_{obj} =$$

$$\begin{aligned} & I_{G.ON.RMSE} + I_{G.OFF.RMSE} + V_{GS.ON.RMSE} + V_{GS.OFF.RMSE} \\ & + \frac{dI_{D.ON}}{dt} RMSE + \frac{dI_{D.OFF}}{dt} RMSE + \frac{dV_{DS.ON}}{dt} RMSE + \frac{dV_{DS.OFF}}{dt} RMSE \end{aligned}$$

実測と解析比較（ターンオン）

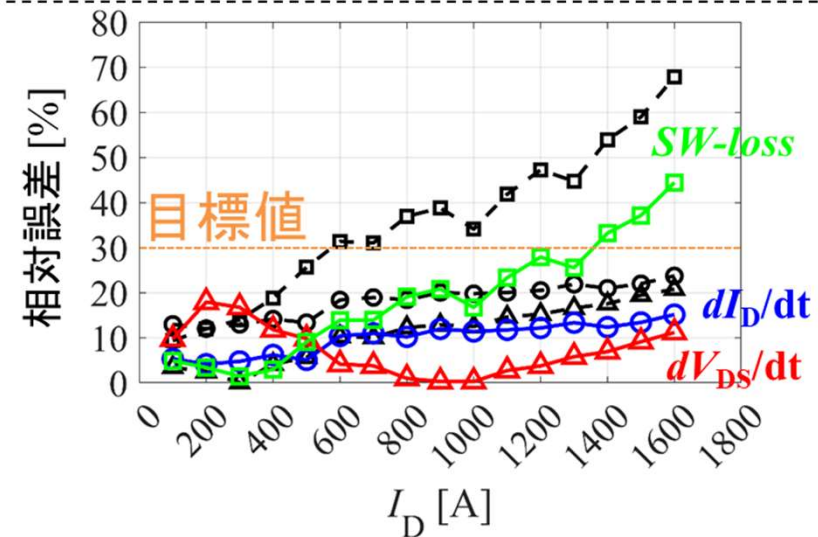
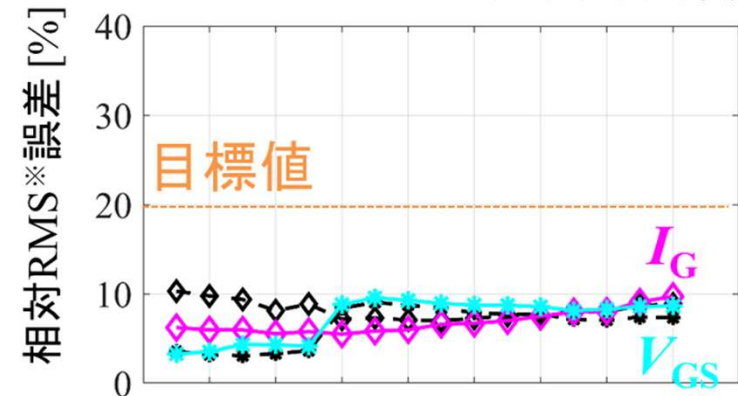
代表波形

— 実測 - - モデル



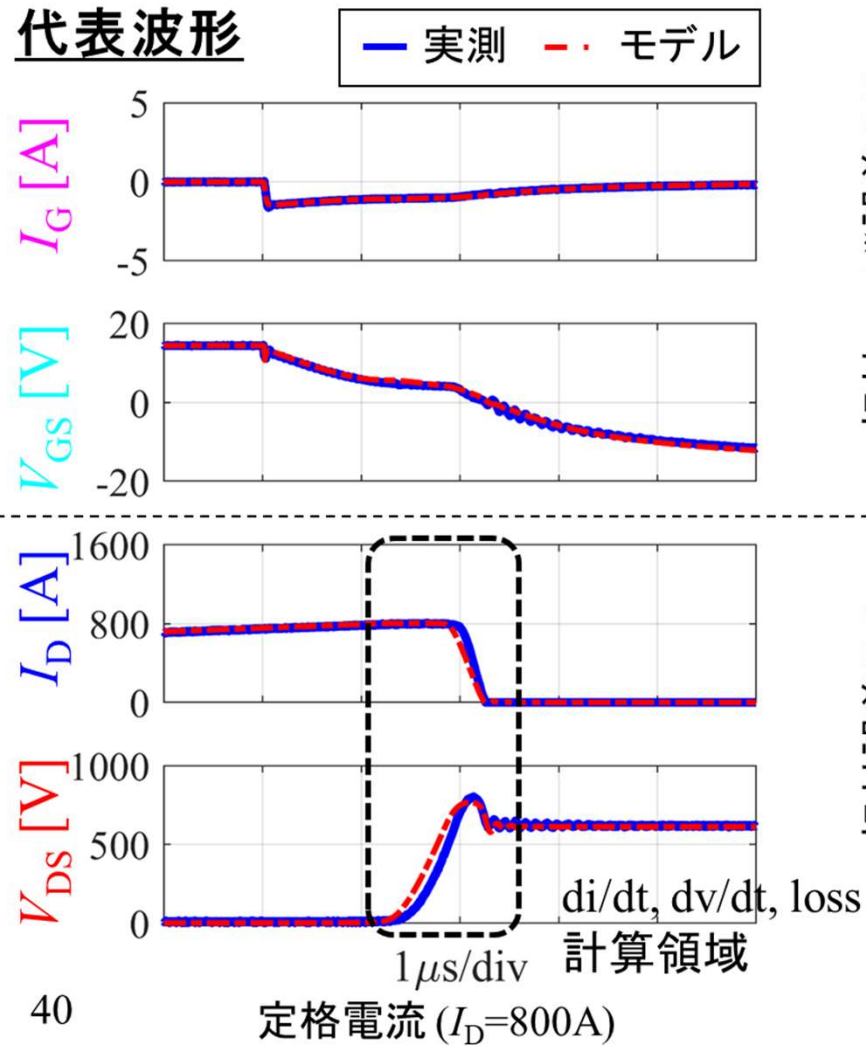
定格電流 ($I_D=800A$)

※RMS: Root Mean Square
(二乗平均平方根誤差)



実測と解析比較（ターンオフ）

代表波形



※RMS: Root Mean Square
(二乗平均平方根誤差)

