

第11回LPBフォーラム

2019. 03. 08

DCDCコンバータIBISモデリングに挑戦 ～EMI解析とSI解析への応用紹介～

JEITA

半導体&システム設計技術委員会

LPB相互設計サブコミッティ

モデリングワーキンググループ

モチベーション

- EMI & SI & PI 解析で使用する一般的なモデル
 - LSI : SPICE、IBIS、Spara(PKG)など
 - PCB : Spara、EBD、各種分布定数モデルなど
 - **電源IC : SPICE ???**
- 電源IC(特にDCDCコンバータ)の特性は EMI や SI や PI で重要だが、モデルを入手しにくい？
 - EMI&SI&PI解析に適したDCDCコンバータモデルの標準規格があってもいいのでは？
 - **スイッチングを表現できればいいのだから、既存のIBISモデルが利用できそう？**

DCDCコンバータのモデル

| | SPICE抽出モデル | SPICE等ビヘイビアモデル | IBISモデル |
|----|---|---|--|
| 長所 | <ul style="list-style-type: none"> ・精度が高い ・PVT条件を自由に振れる ・フィードバック制御できる | <ul style="list-style-type: none"> ・解析時間が短い ・回路情報を秘匿できる ・フィードバック制御できる？ | <ul style="list-style-type: none"> ・さらに解析時間が短い ・回路情報を秘匿できる ・どの特性が再現されているか明確 ・規格化されているので精度のばらつきが少ない ・規格化されているのでモデリングしやすい ・多くのシミュレータで使用できる ・PKGモデルを含む ・PVTは3条件 |
| 短所 | <ul style="list-style-type: none"> ・解析時間が長い ・暗号化により内容が不明 ・暗号化により特定のシミュレータでしか使用できない | <ul style="list-style-type: none"> ・どの特性が再現されているのか分かりにくい ・シミュレータ依存がある ・基本的にTyp条件のみ | <ul style="list-style-type: none"> ・フィードバック制御は表現できない ・入力電圧は固定 |
| 用途 | <ul style="list-style-type: none"> ・DCDCコンバータの設計 | <ul style="list-style-type: none"> ・LCRの選定など | <ul style="list-style-type: none"> ・LCRの選定 ・EMI解析 ・PowerAwareSI解析・・・？ |

IBIS と DCDCコンバータ

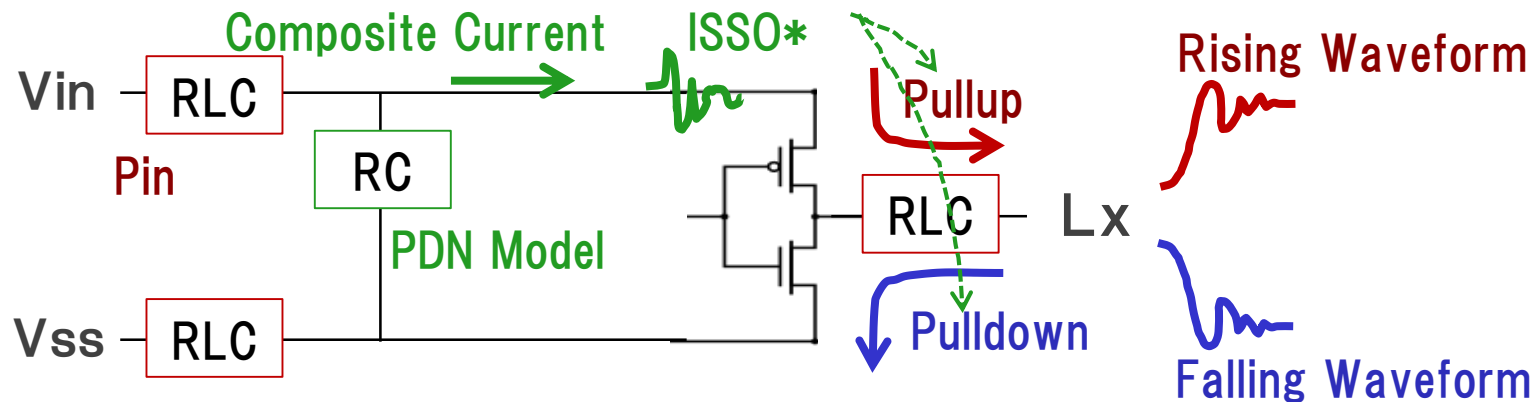
実製品のDCDCコンバータで試行

- 試行対象：DCDCコンバータ「**RP510L**」
 - リコー電子デバイス株式会社製
- SPICEモデル → IBISモデル
 - 入力電圧3.6V
- 下記の試行Sim. を実施
 - EMI解析
 - Power Aware SI解析



IBISに含まれている主な特性

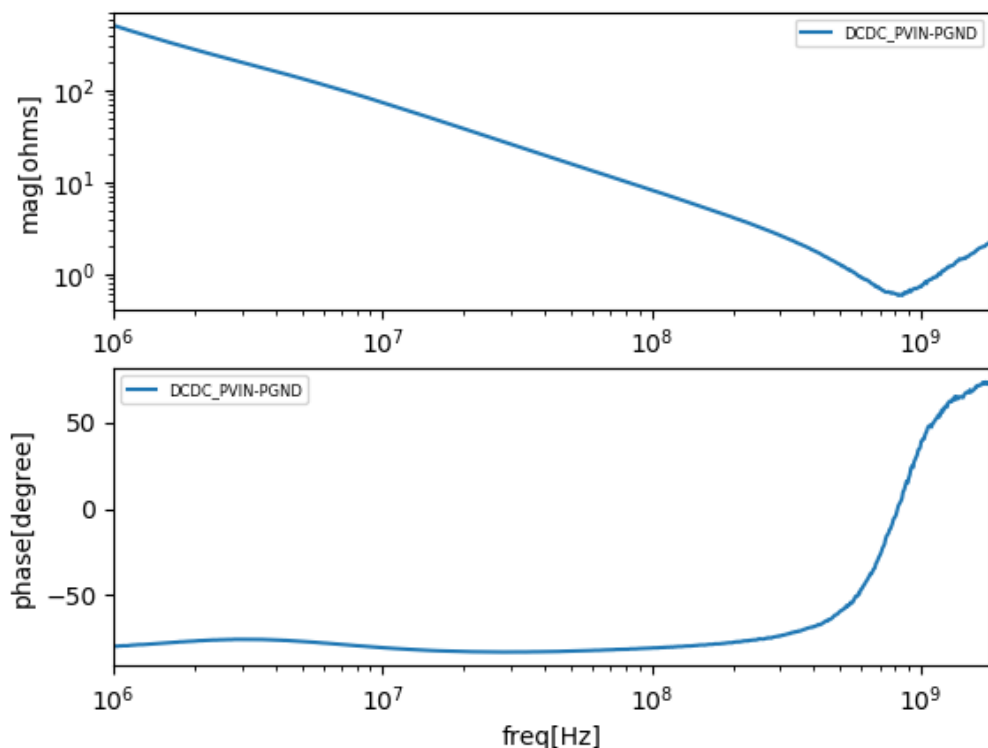
- Pullup、Pulldown = Lx の電流対電圧特性
- ISSOPU、ISSOPD = Vin 小変動と Lx 電流変動の関係
- RisingWaveform、FallingWaveform = Lx 電圧波形
- CompositeCurrent = Vin 電流波形(消費電流波形)
- Pin = PKGのRLC
- PDN Model = DIEの電源RC ←今回は実測でモデリング



インピーダンス実測と等価回路化

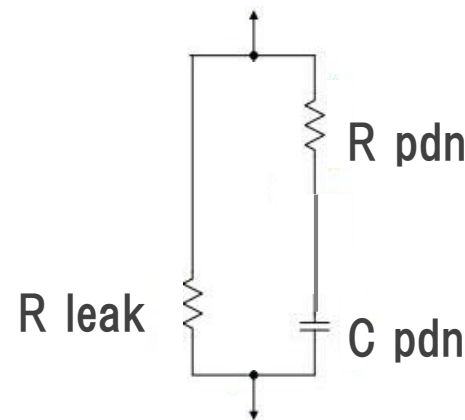
- ダイ内部の電源(Vin)GND間のRC値を実測から推定

VIN - GND間インピーダンス実測値



等価回路化

| Cpdn | Rpdn | Rleak |
|-------|---------------|-----------------|
| 186pF | 0.52 Ω | 1.87e7 Ω |



PDN Model 形式

➡ 測定結果をIBISへ反映

(今年もUS. IBISサミットで提案)

- 「**PDN Model**」は JEITA MDLWG が提唱
 - 2019. 02. 01 IBIS Summit in Santa Clara
 - 株式会社ソシオネクスト 大野さんが発表
 - <https://ibis.org/summits/feb19/murata.pdf>



- **3月中の BIRD (IBIS拡張の提案書) 提出に向け鋭意作業中**

SPICE vs IBIS 精度確認

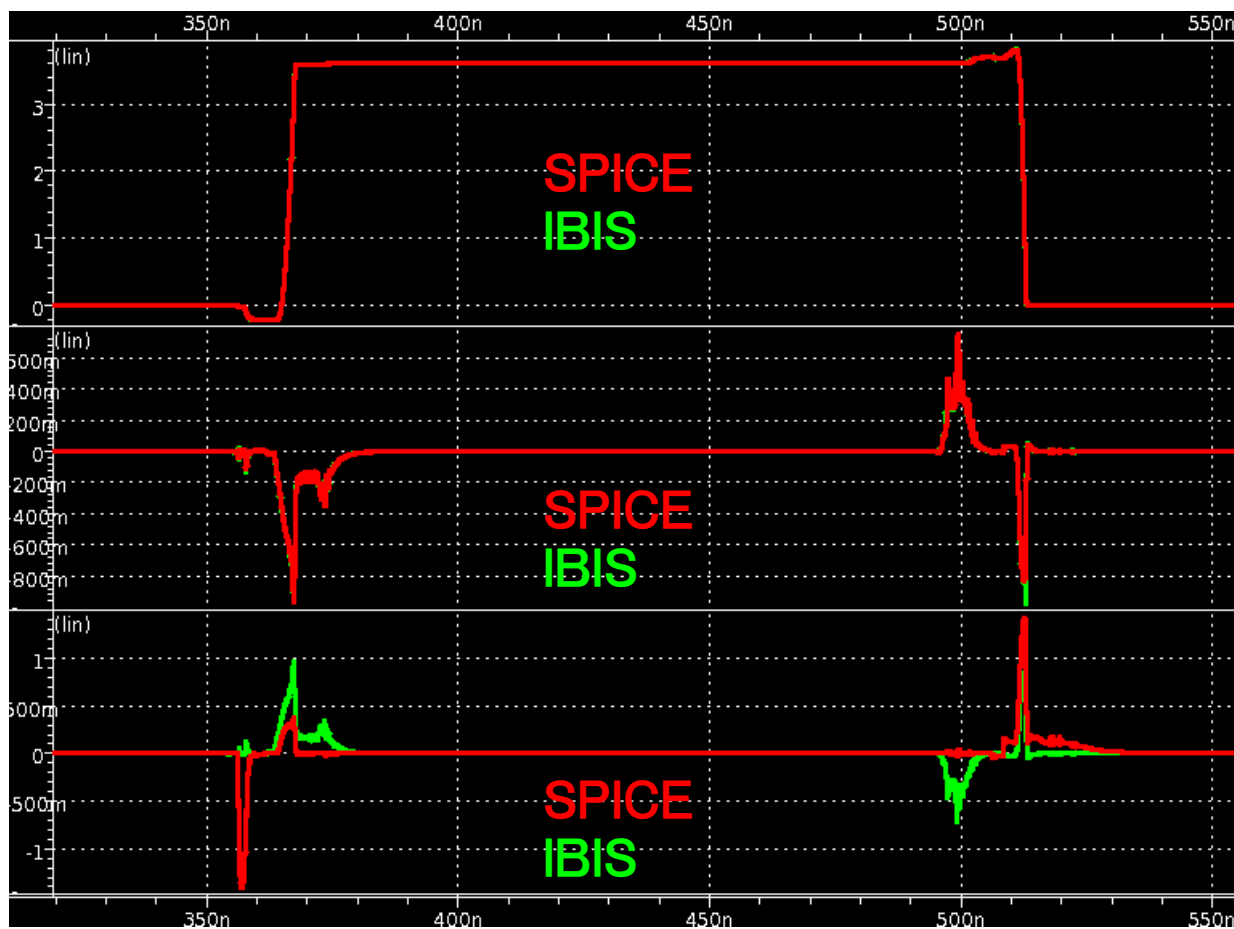
- $L=1\mu\text{H}$, $C_{\text{out}}=44\mu\text{F}$

— L_x 電圧

— V_{in} 電流

— GND電流

- 不一致



SPICE vs IBIS 精度確認

■ DutyとVoutの関係

– Duty33%(1.2V出力)

– Duty50%(1.8V出力)

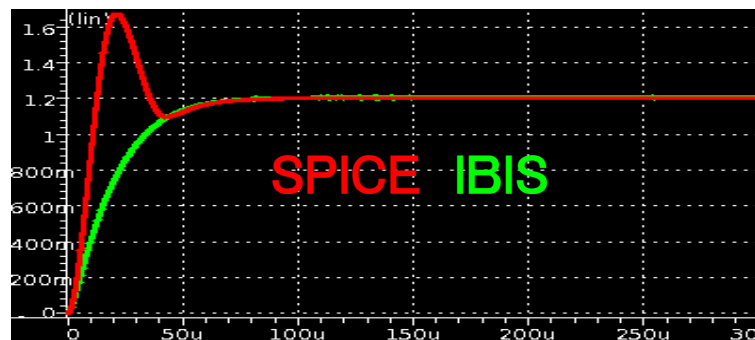
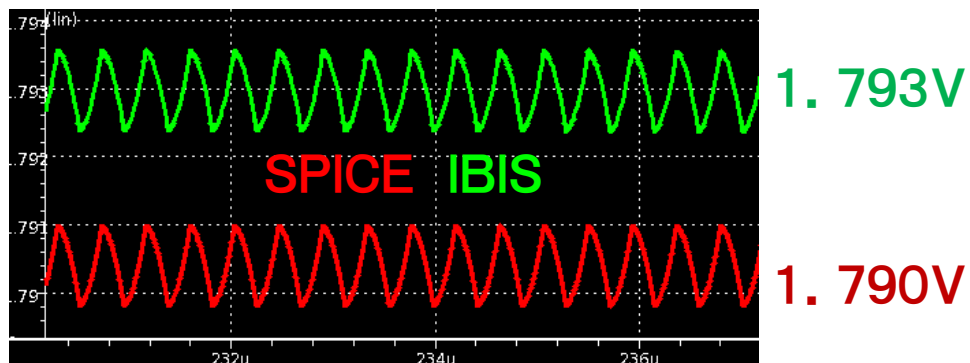
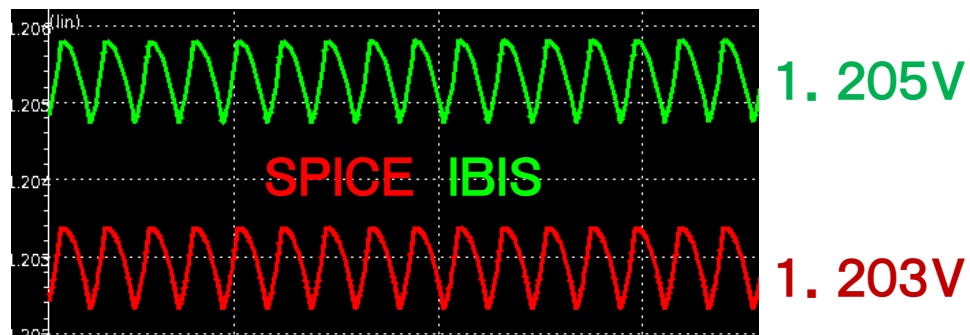
■ 解析速度

– Xeon 3.5GHz 4Core

– 300us の解析時間

• SPICE 2.6h

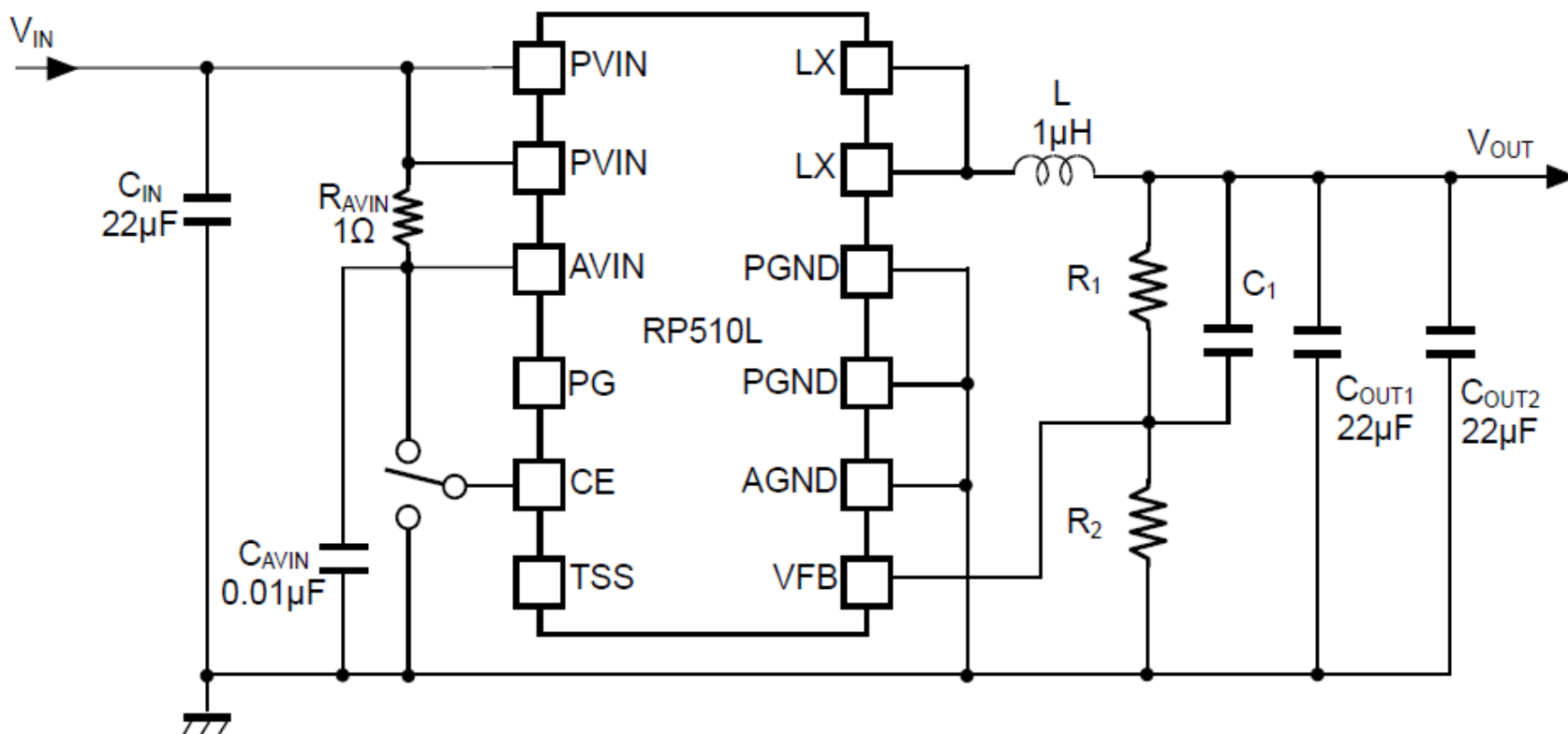
• IBIS 2.6s



試行1 EMI解析

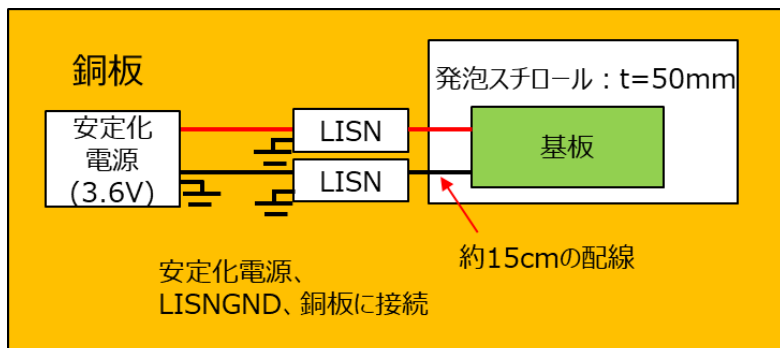
EMI測定用回路構成

■ Voutはオープン



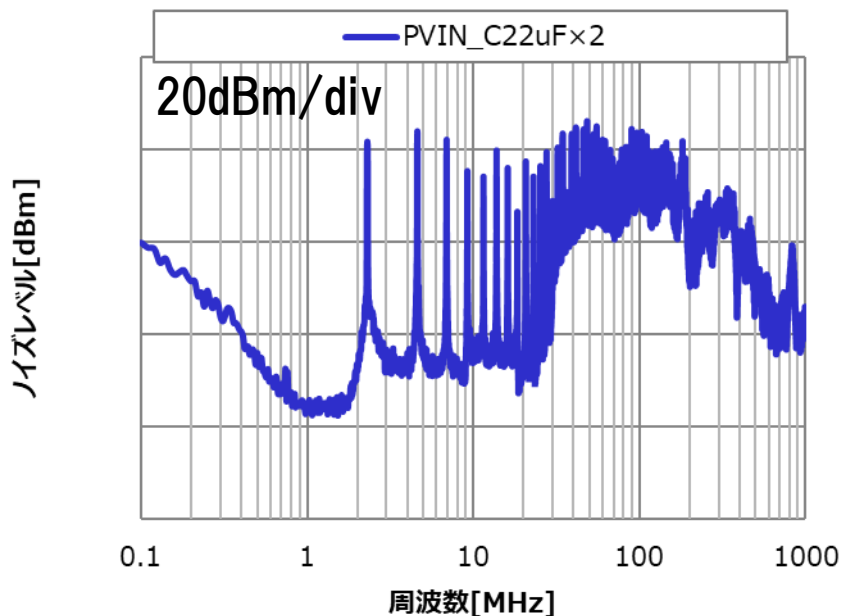
CISPR25準拠の伝導ノイズ測定結果

■ メンバー会社で測定実施

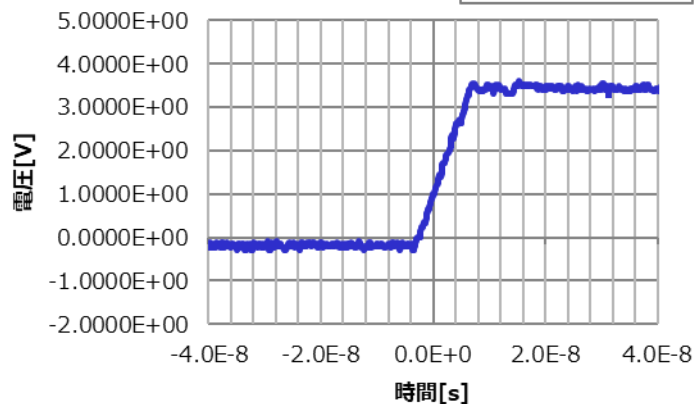


測定環境 シールドルーム内

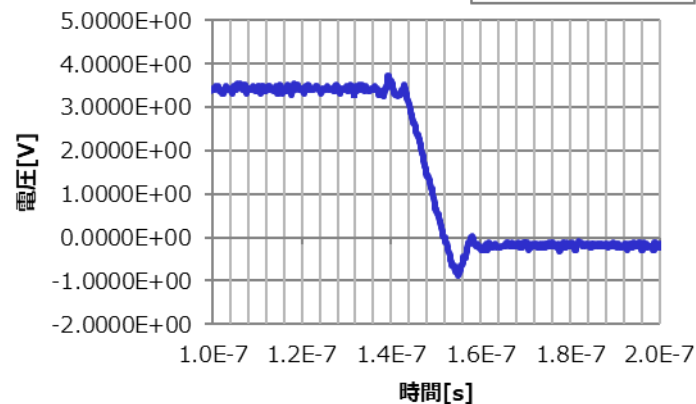
PVIN Peak



LX 立上り

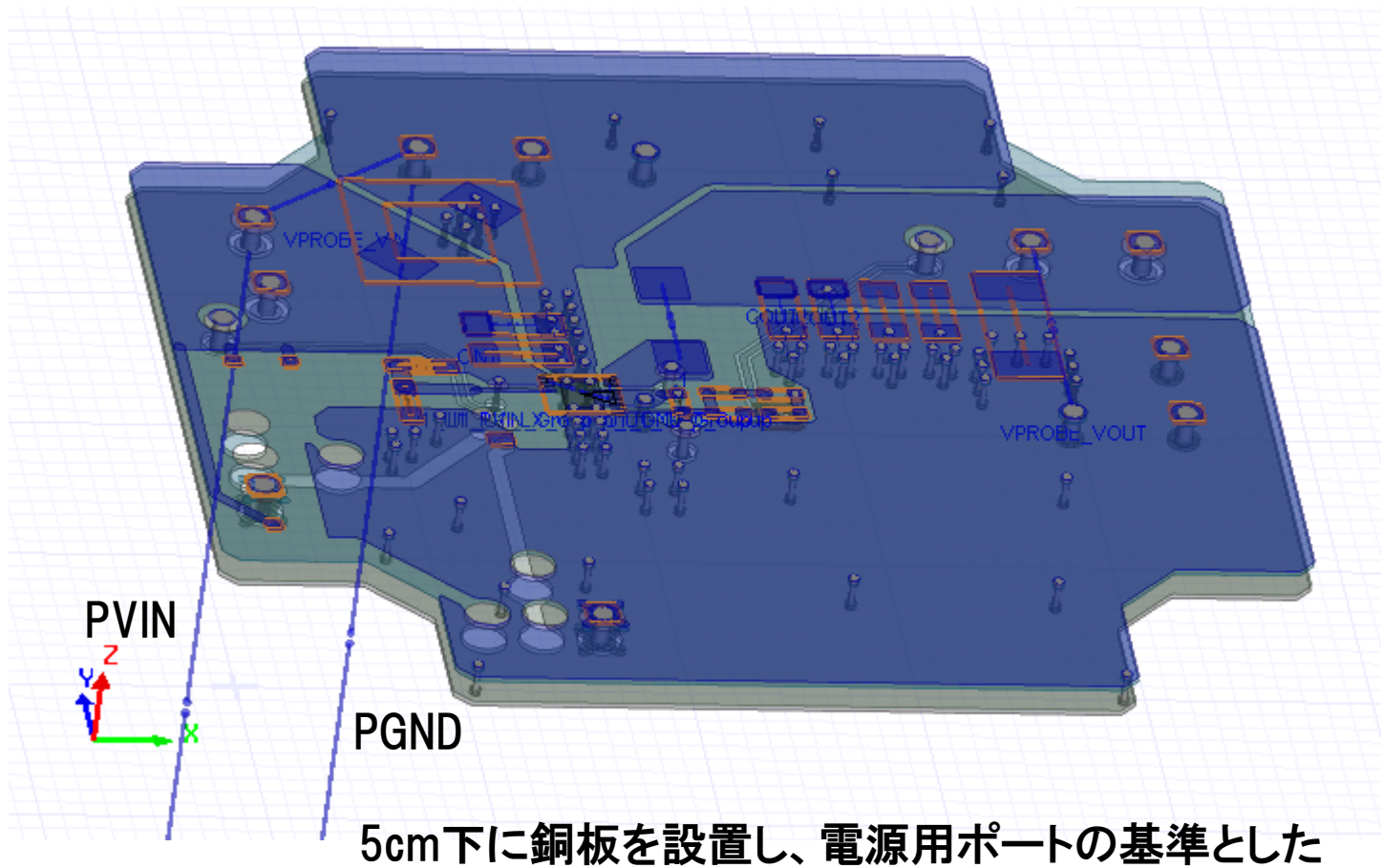


LX 立下り



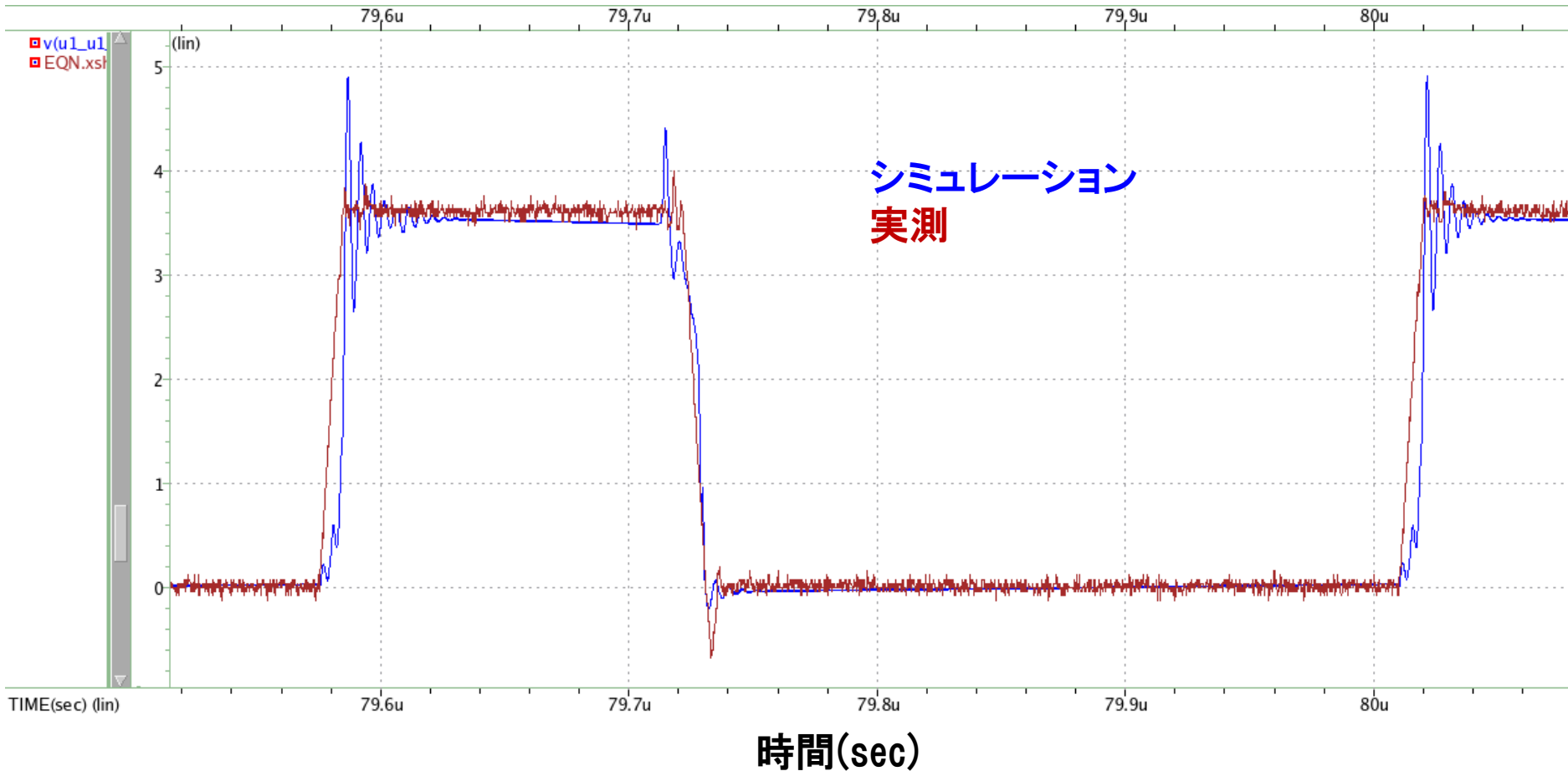
プリント基板モデル

■ 電磁界解析ツールでモデル作成



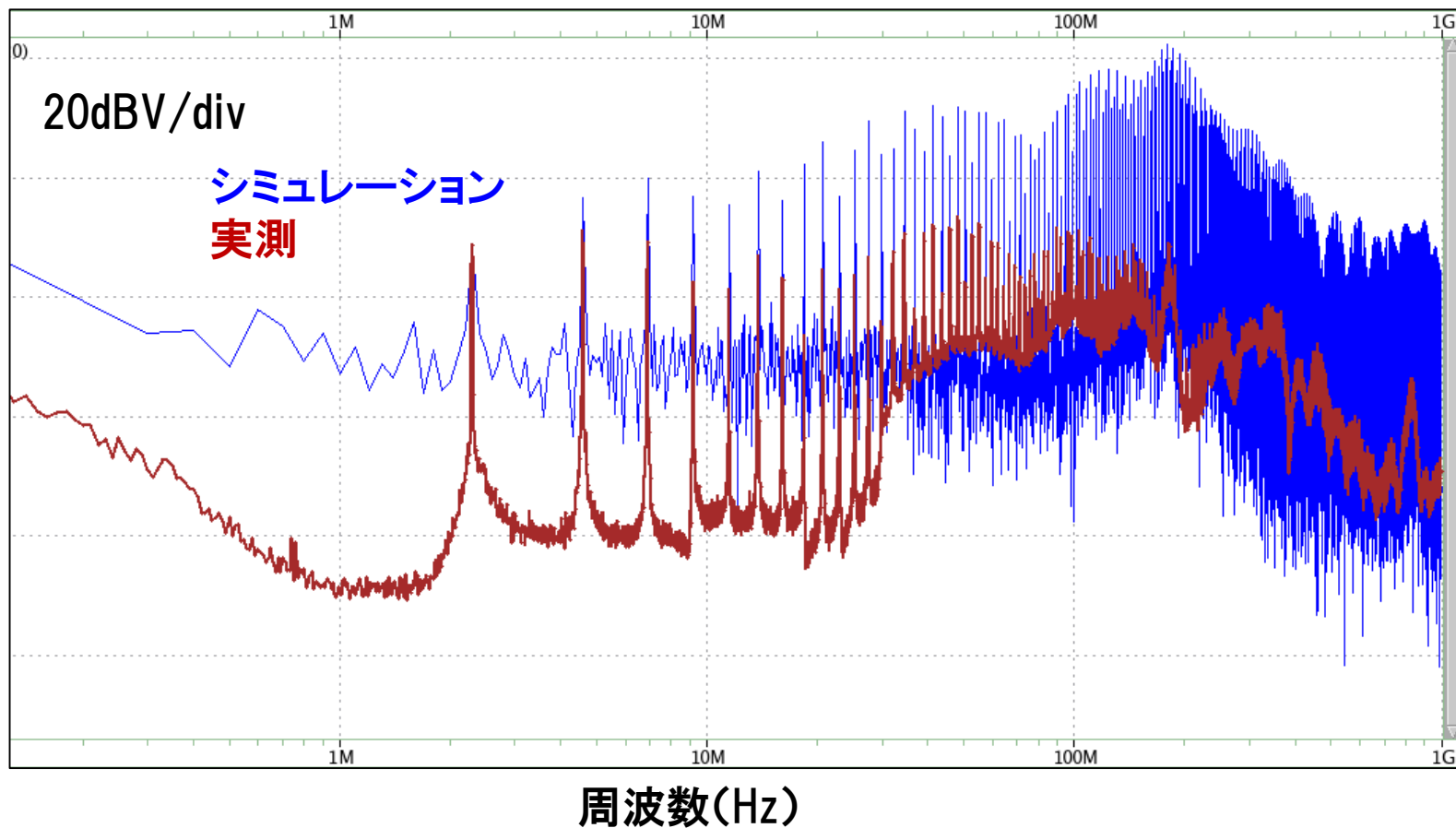
LX電圧波形

- シミュレーションはスルーレートが高く、リングングが発生



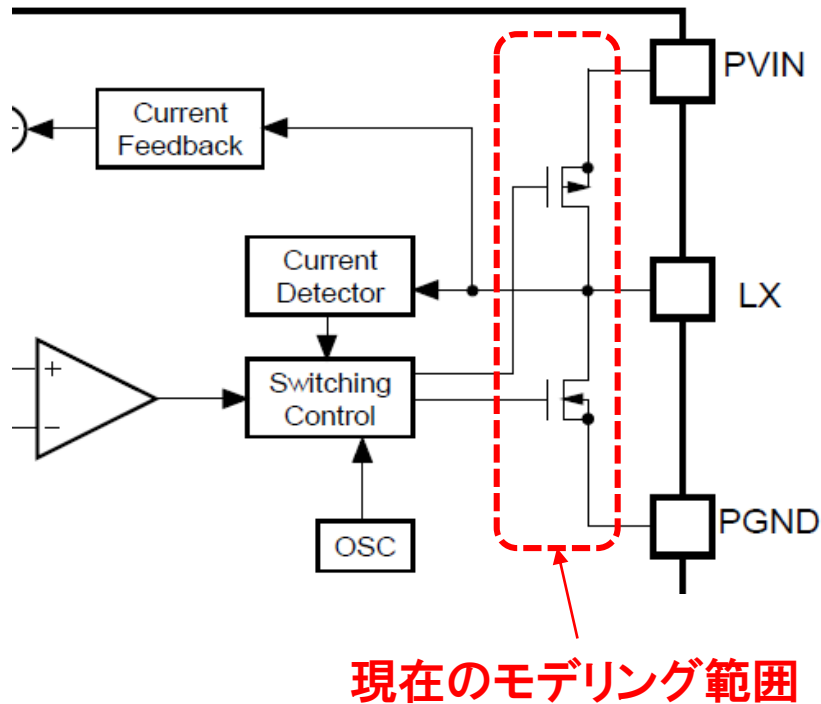
PVIN伝導ノイズ波形

- シミュレーションのピークは実測よりも最大30db大きい



今後の課題

- 2019年のモデリングWGの活動内容として、今回の誤差原因検討を実施予定。

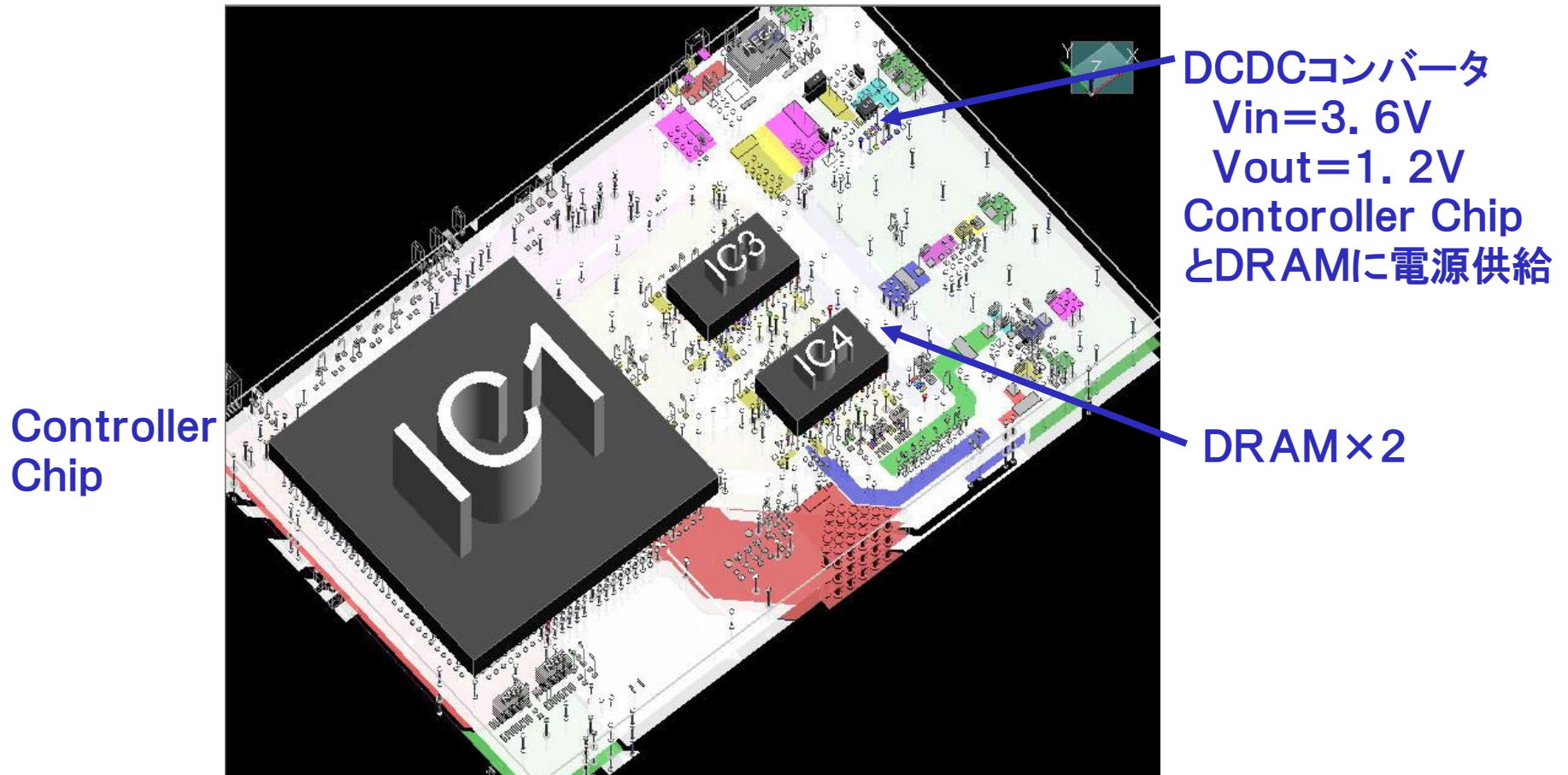


試行2 Power Aware SI解析

DDR4-1600

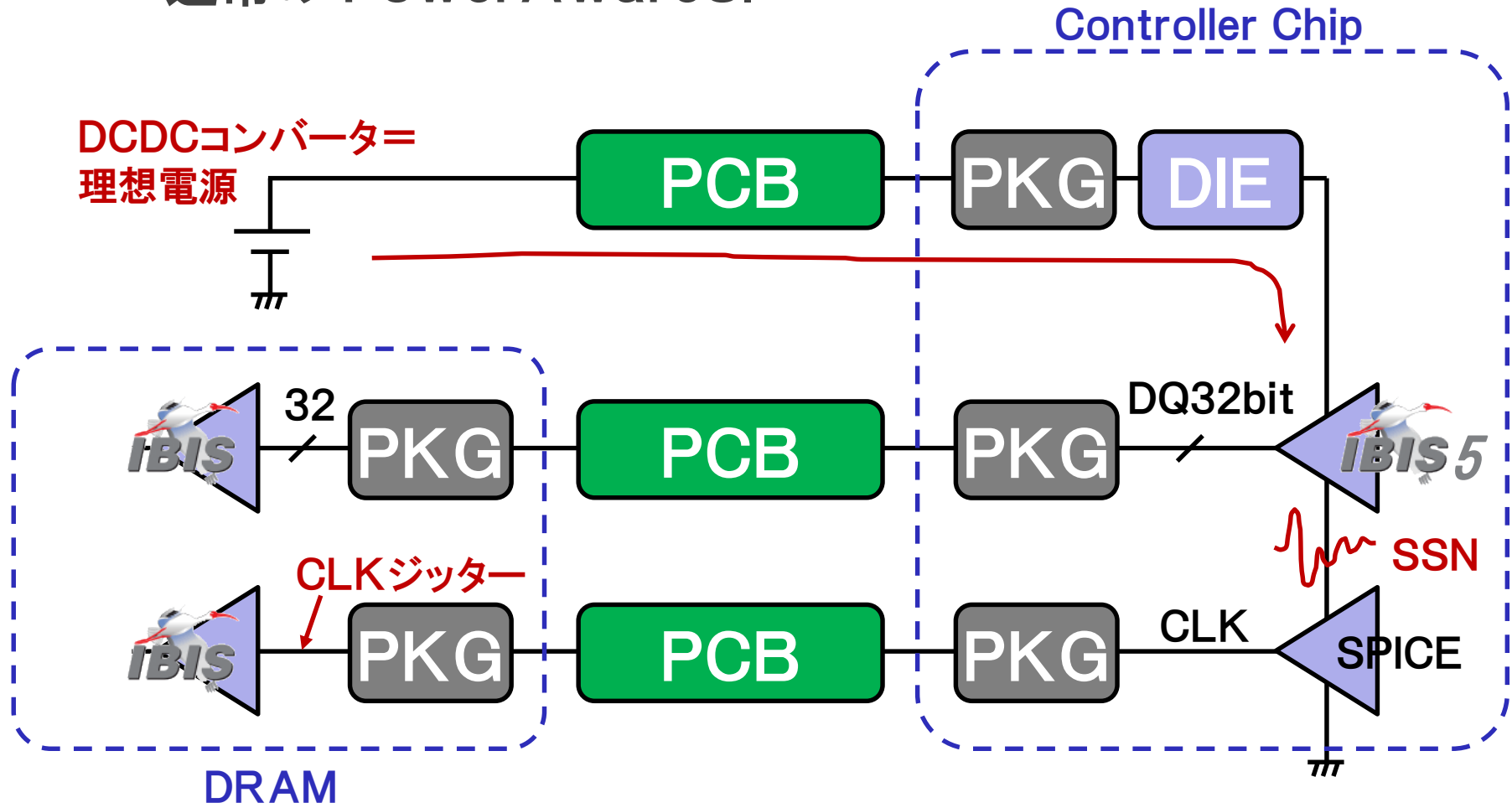
DDR4搭載ボード

- メンバー会社の製品ボードを試行対象とした



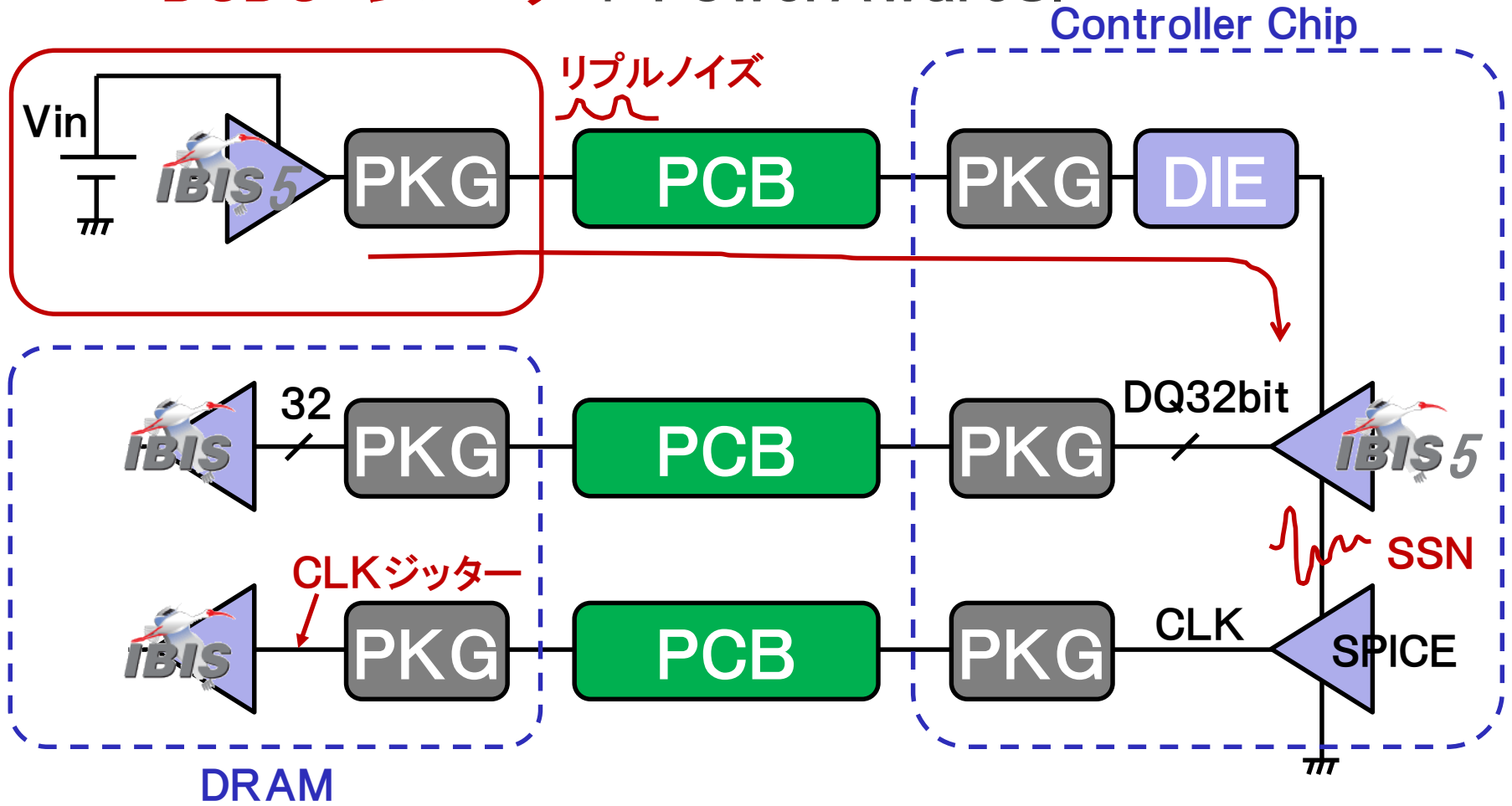
DDR4 PowerAwareSI + DCDC

■ 通常の PowerAwareSI



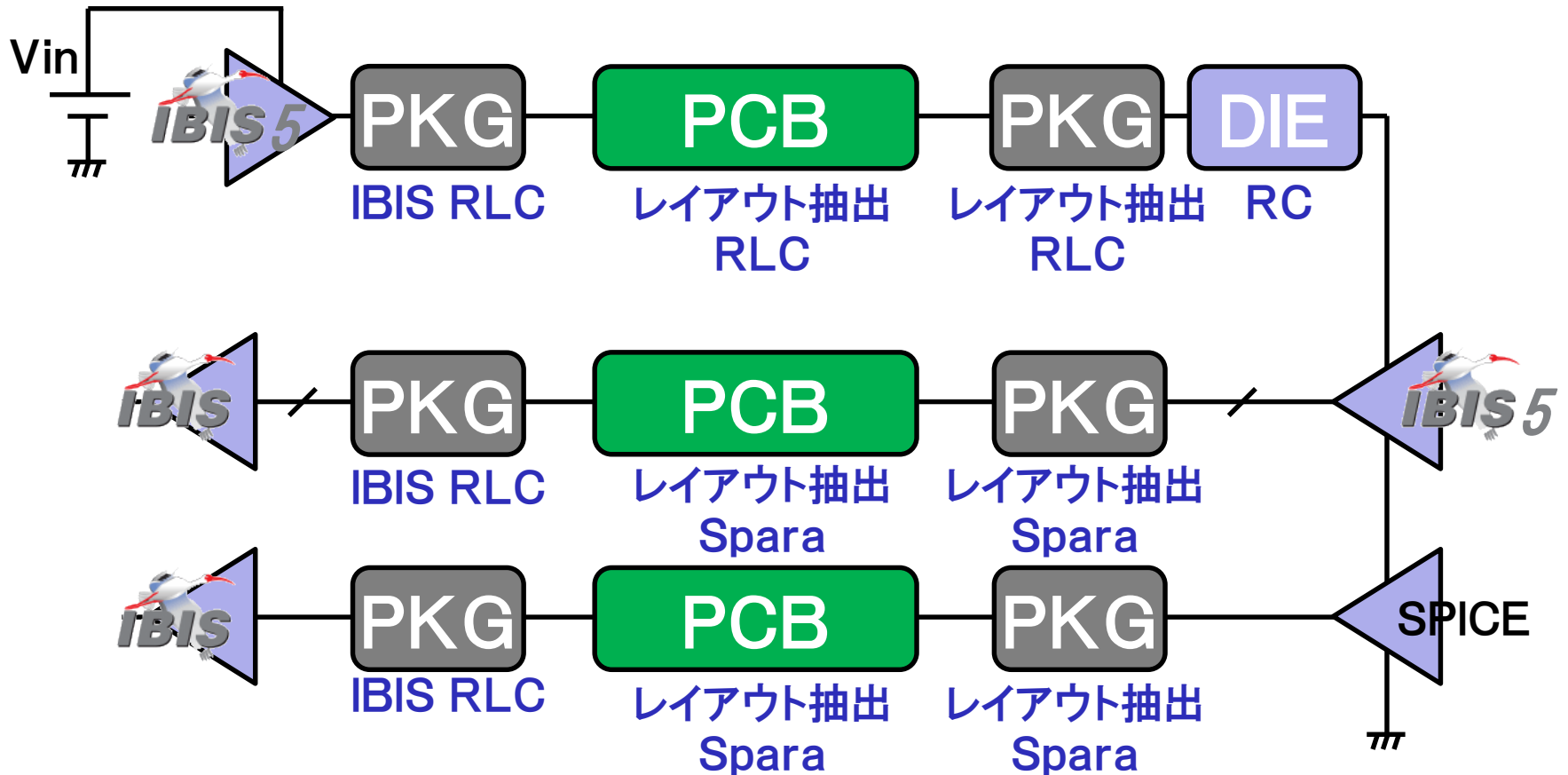
DDR4 PowerAwareSI + DCDC

■ DCDCコンバータ + PowerAwareSI



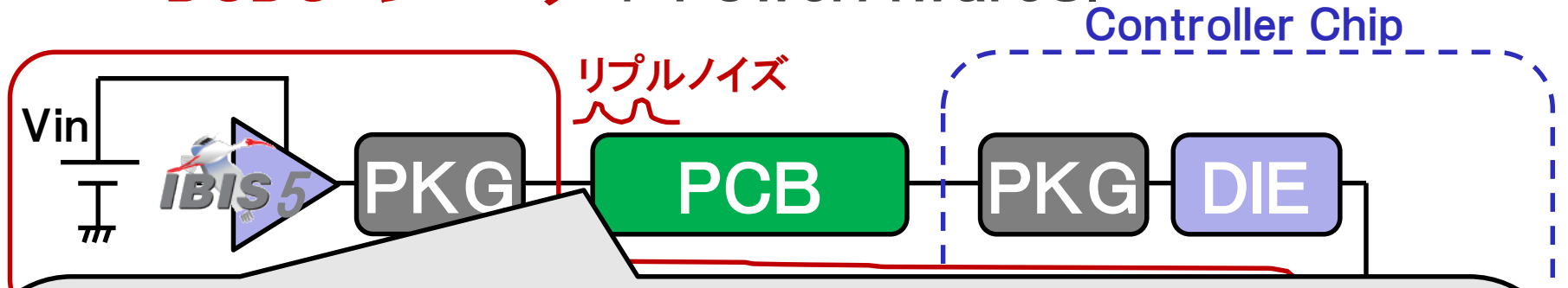
DDR4 PowerAwareSI + DCDC

■ DCDCコンバータ + PowerAwareSI

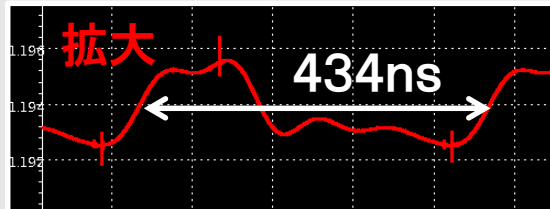
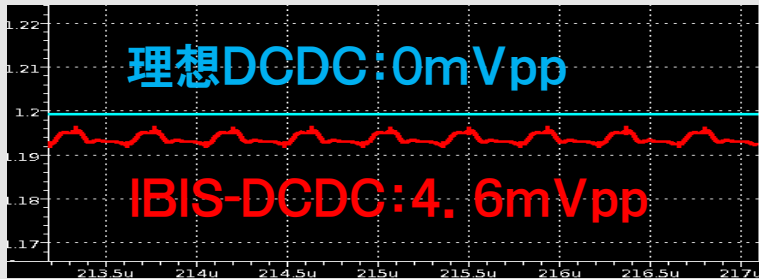


Sim. 結果:リプルノイズ

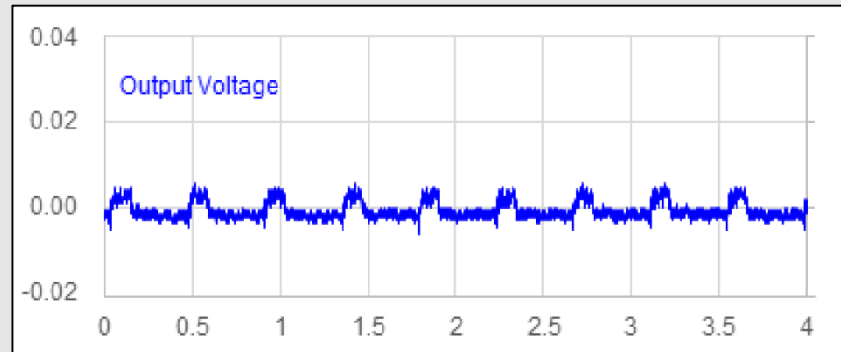
■ DCDCコンバータ + PowerAwareSI



Vout波形Sim. 結果(DDR動作停止時)

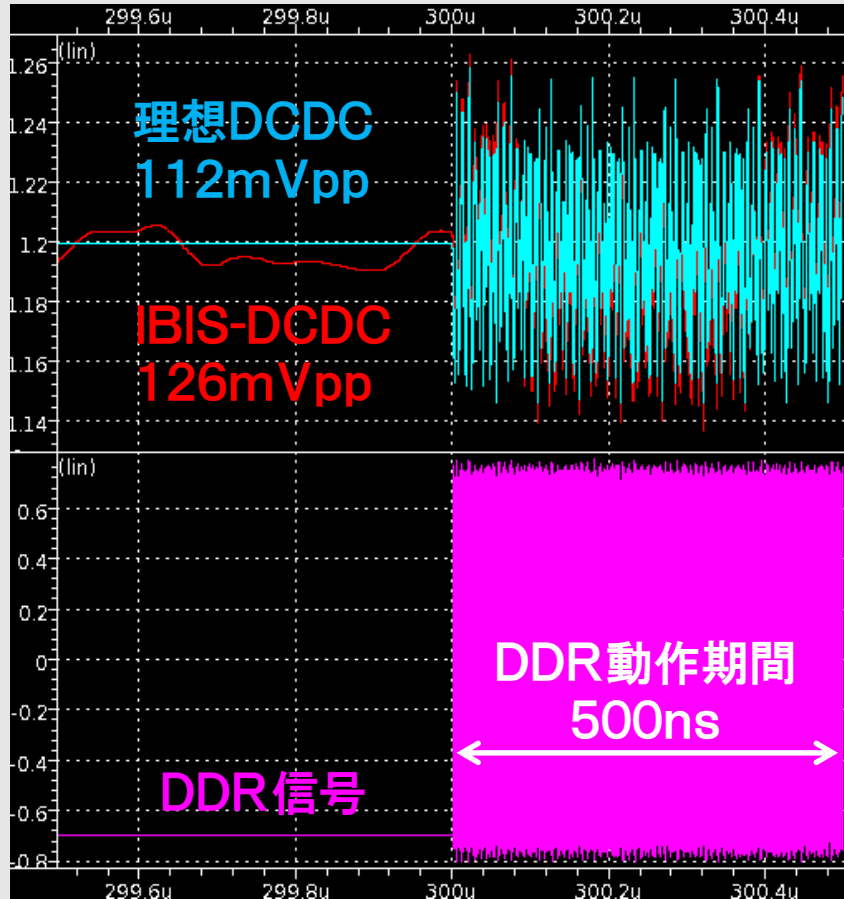


(参考)データシート記載のVout実測波形

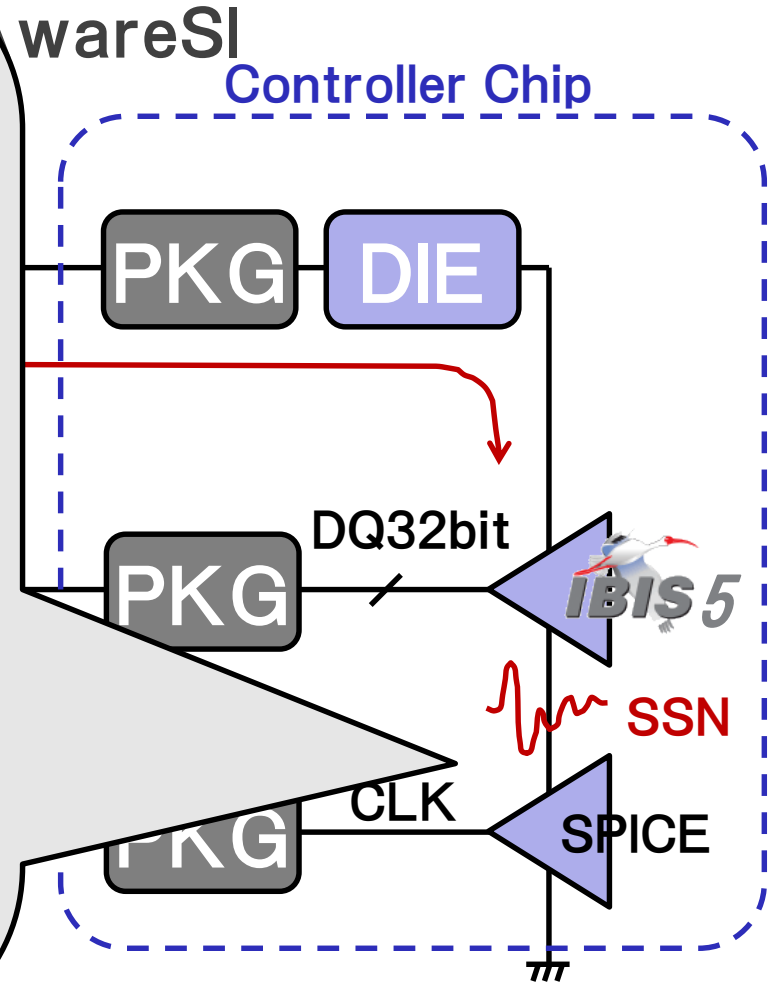


$L=1\mu\text{H}$ 、 $C=44\mu\text{F}$

DDR4 PowerAwareSI + DCDC



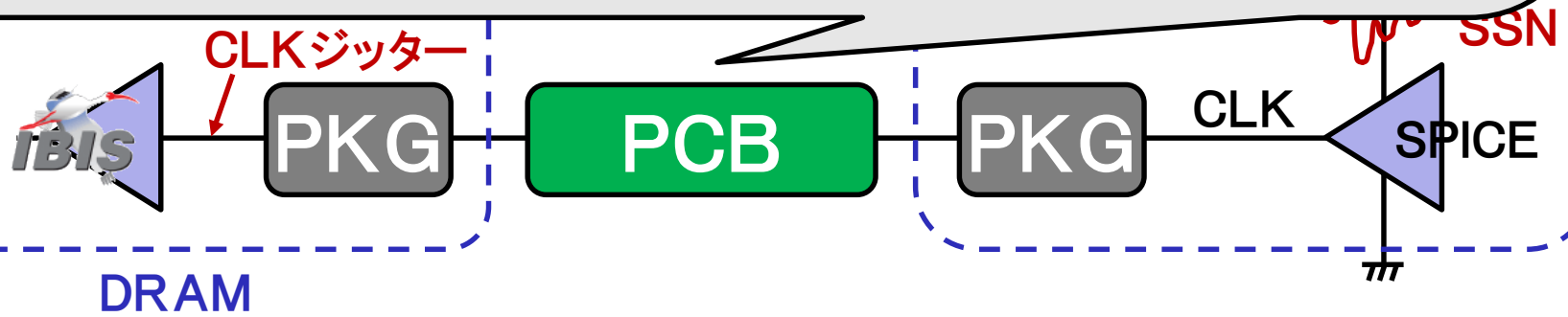
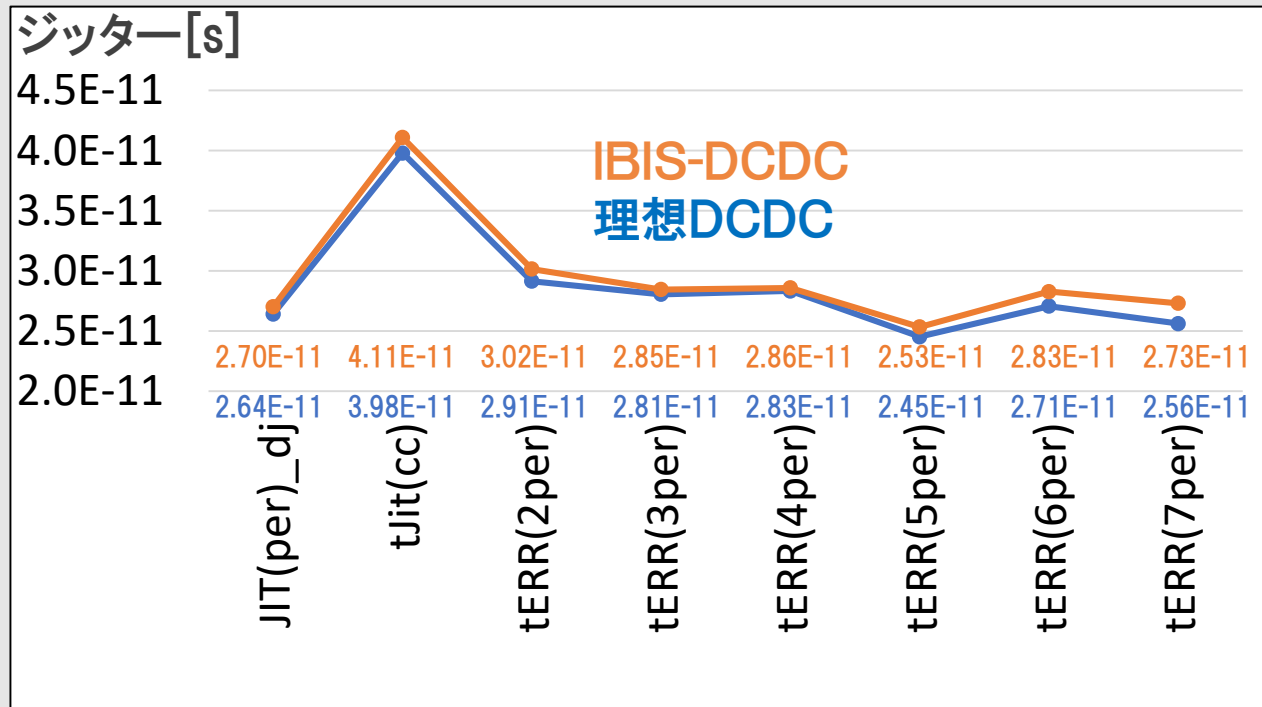
$L=0.2\mu\text{H}$, $C=44\mu\text{F}$



Sim. 結果:CLKジッター

DDR4-1600
JEDEC規格
JIT(per)_dj=31ps

IBIS-DCDCにより
0.6psジッター増



まとめと今後

まとめ

■ 現状のIBISモデルで表現できた基本的特性

- リプルノイズ
- 消費電流波形
- 入力Duty比と出力電圧の関係

} **SPICEより
圧倒的に高速**

■ 現状のIBISモデルで表現できなかった基本的特性

- フィードバック制御
- **GND電流波形**

■ 現状のIBISモデルが使用できた応用解析事例

- DCDCコンバータのリプルノイズを考慮したPower Aware SI
 - **現状では時期尚早でも、今後は利用価値あり**

■ 現状のIBISモデルは適さなかった応用解析事例

- EMI解析

MDL WG 今後の活動

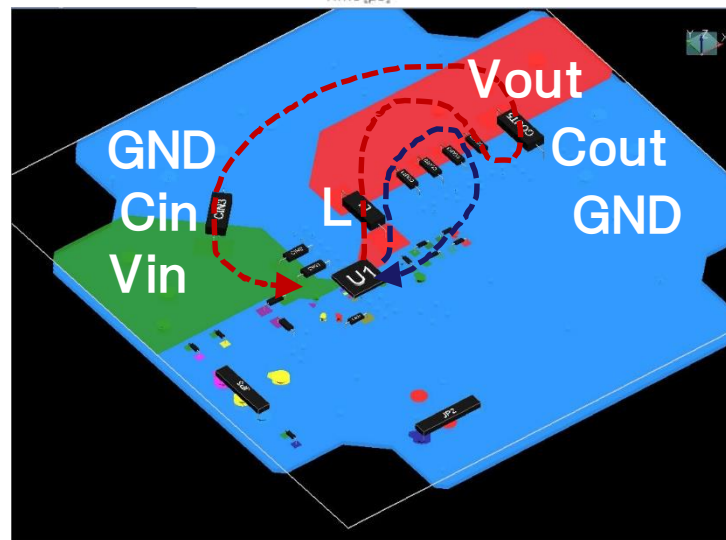
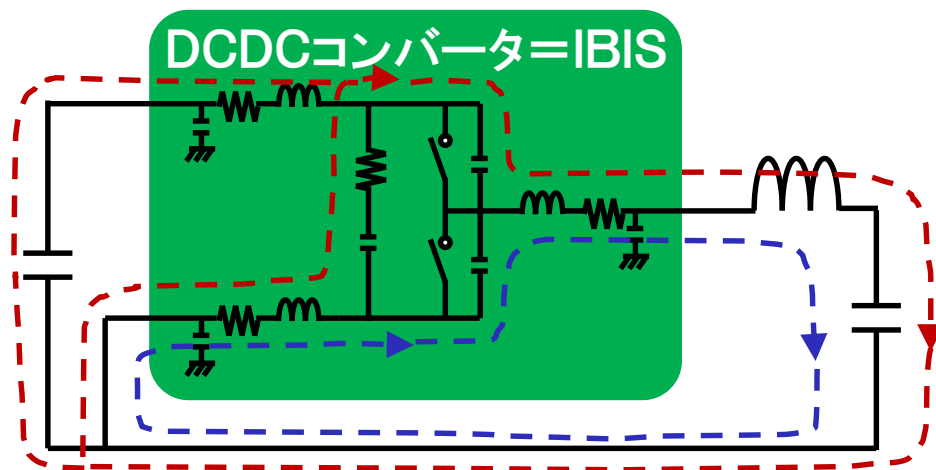
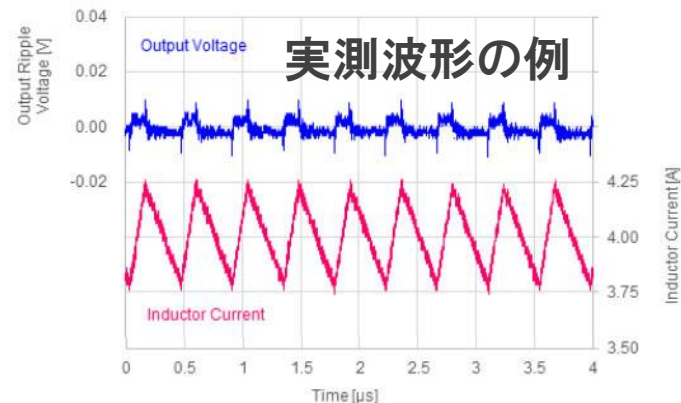
- IBIS Open Forum へ PDN Model のBIRD提出
- 簡易的なインピーダンス実測方法の確立
- EMI解析結果と実測結果との誤差について考察
 - IBISモデリング手法を見直し
- そのほか、来年度の活動テーマを検討中
 - キーワード（これに限らず、積極的に様々なテーマに取り組みます）
 - IBIS関連
 - チップ実測モデリング関連
 - EMI & SI & PI 解析
 - DCDCコンバータモデル
 - LPBフォーマット などなど

ご清聴ありがとうございました

DCDC-IBISで表現できそうな現象

■ 過渡応答が短TATで再現できる

- 入出力の電圧波形の例
 - 入力 : スパイクノイズ
 - 出力 : リプルノイズ
- 入出力の電流波形の例
 - 入力 : 消費電流
 - 出力 : L電流



IBISに含まれている主な特性

- Pullup、Pulldown、ISSOPU、ISSOPD の例
 - 例) Pulldown

| Variable | typ | min | max |
|---------------------|----------------|----------------|----------------|
| [Voltage range] | 3.6 | 3.2 | 4.0 |
| [Temperature Range] | 25 | 125 | -40 |
| [Pulldown] | | | |
| voltage | I (typ) | I (min) | I (max) |
| -3.60000000e+00 | -1.2496162e+02 | -9.4457392e+01 | -1.4325277e+02 |
| -3.49090909e+00 | -1.2128536e+02 | -9.1566238e+01 | -1.3907247e+02 |
| -3.38181818e+00 | -1.1760061e+02 | -8.8675194e+01 | -1.3488152e+02 |
| -3.27272727e+00 | -1.1390734e+02 | -8.5784076e+01 | -1.3067992e+02 |
| -3.16363636e+00 | -1.1020554e+02 | -8.2892728e+01 | -1.2646768e+02 |
| -3.05454545e+00 | -1.0649521e+02 | -8.0001031e+01 | -1.2224480e+02 |
| -2.94545455e+00 | -1.0277640e+02 | -7.7108898e+01 | -1.1801132e+02 |
| -2.83636364e+00 | -9.9049192e+01 | -7.4216282e+01 | -1.1376730e+02 |
| -2.72727273e+00 | -9.5313695e+01 | -7.1323178e+01 | -1.0951283e+02 |
| -2.61818182e+00 | -9.1570075e+01 | -6.8429616e+01 | -1.0524809e+02 |
| -2.50909091e+00 | -8.7818538e+01 | -6.5535662e+01 | -1.0097336e+02 |
| -2.40000000e+00 | -8.4059265e+01 | -6.2641414e+01 | -9.6688887e+01 |
| -2.29090909e+00 | -8.0292334e+01 | -5.9747003e+01 | -9.2394503e+01 |
| -2.18181818e+00 | -7.6517785e+01 | -5.6852606e+01 | -8.8089915e+01 |

